Untersuchungen zur Belastung von Schweinen
bei langen Transporten

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Agrarwissenschaften
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von
Karin Steinkamp
geboren in Rotenburg / Wümme

Göttingen, Mai 2012

D7

1. Referent: Herr Prof. Dr. Dr. Matthias Gauly

2. Korreferent: Herr Prof. Dr. Christoph Knorr

Tag der mündlichen Prüfung: 26. Juli 2012

Wissenschaftliche Betreuung: Dr. M. Marahrens (Friedrich-Loeffler-Institut)

Diese Arbeit wurde von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Innovationsförderungsprogramms finanziert.

Veröffentlichungen

Teile der vorliegenden Dissertation wurden bereits als **Bericht** für die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) erstellt:

Steinkamp, K.; Kipke, J.; Looienga, A.; Gerlach, G.; Hartung, J.; Marahrens, M. (2011): Kontinuierliche Erfassung, Aufbereitung und Weiterleitung von Daten zum Mikroklima in Straßenfahrzeugen für lange Transporte von Schweinen mit praxistauglichen Sensorsystemen. Abschlussbericht.

Des Weiteren wurden auf folgenden Veranstaltungen bereits Teile der vorliegenden Daten veröffentlicht:

Steinkamp, K.; Kipke, J.; Hartung, J.; Marahrens, M. (2008): Mikroklima in Fahrzeugen beim langen Transport von Schweinen. Poster im Rahmen der EuroTier, Hannover.

Marahrens, M.; Steinkamp, K.; Kipke, J.; Hartung, J. (2009): Mikroklimatische Bedingungen beim langen Transport von Rindern und Schweinen. Vortrag im Rahmen der Innovationstage, Bonn.

Steinkamp, K.; Kipke, J.; Hartung, J.; Marahrens, M. (2010): Mikroklima in Fahrzeugen beim langen Transport von Schweinen. Poster im Rahmen der Innovationstage, Bonn.

Steinkamp, K.; Kipke, J.; Hartung, J.; Marahrens, M. (2009): Vortrag auf dem Workshop „Livestock in Transport“, 19. – 20. Oktober 2009, Joint Research Centre der Europäischen Kommission in Ispra.

Steinkamp, K.; Kipke, J.; Hartung, J.; Marahrens, M. (2011): Mikroklimatische Bedingungen bei langen Transporten von Schweinen. Vortrag Arbeitsgemeinschaft Schweinehaltung Schleswig Holstein, Rendsburg.

Marahrens, M.; Steinkamp, K.; Kipke, J.; Looienga, A.; Gerlach, G.; Hartung, J. (2011): Mikroklima bei langen Transporten von Rindern und Schweinen. Vortrag Deutsche Gesellschaft für Züchtungskunde e.V..

Marahrens, M.; Steinkamp, K.; Kipke, J.; Hartung, J. (2011): Der „Kopfraum“ bei Transporten von Rind und Schwein. Vortrag Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V..

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1 Einleitung.....	1
2 Literaturübersicht.....	2
2.1 Tiertransporte.....	2
2.2 Gesetzliche Bestimmungen und wissenschaftliche Empfehlungen.....	3
2.3 Belastungen beim Tiertransport.....	5
2.3.1 Die Belastungsreaktion.....	5
2.3.2 Belastungen durch Faktoren der Vorbereitung und Durchführung des Transportes.....	6
2.3.3 Belastungen durch den Umgang mit den Tieren.....	9
2.3.4 Belastungen durch das Klima.....	13
2.4 Parameter zur Beurteilung der Belastung beim Schwein.....	21
2.4.1 Die Körpertemperatur als Belastungsindikator beim Schwein.....	21
2.4.2 Die Herzfrequenz als Belastungsindikator beim Schwein.....	21
2.4.3 Blutgetragene Belastungsindikatoren.....	22
2.4.3.1 Energiestoffwechsel.....	22
2.4.3.2 Flüssigkeitshaushalt.....	25
2.4.3.3 Allgemeine und physische Belastung.....	27
3 Material und Methoden.....	30
3.1 Ort und Zeit der untersuchten Transporte.....	30
3.2 Untersuchte Tiere.....	31
3.3 Untersuchungsfahrzeug.....	31
3.4 Datenerhebung.....	32
3.4.1 Blutuntersuchungen.....	32
3.4.2 Herzfrequenzmessungen.....	33
3.4.3 Körpertemperaturmessungen.....	34
3.4.4 Klimauntersuchungen.....	35
3.5 Auswertung.....	39
4 Ergebnisse.....	42
4.1 Durchführung der Transporte.....	42
4.2 Belastungsfaktoren für Schweine beim langen Transport.....	46
4.2.1 Klimatische Gegebenheiten während der Transporte.....	46
4.2.1.1 Temperatur.....	46
4.2.1.2 Relative Luftfeuchte.....	51
4.2.1.3 Luftströmung und Windstärke.....	53
4.2.1.4 Indices zur Bewertung der kombinierten Einwirkung von Klimafaktoren	55
4.2.2 Wasserversorgung auf dem Transport.....	60
4.2.3 Fahrzeugbewegungen.....	62
4.3 Belastungsreaktionen der transportierten Tiere.....	63
4.3.1 Die Körpertemperatur.....	63

4.3.2 Die Herzfrequenz.....	66
4.3.3 Belastungen des Energiestoffwechsels.....	67
4.3.4 Belastungen des Flüssigkeitshaushalt.....	71
4.3.5 Weitere Untersuchungen zur allgemeinen und physischen Belastung der Tiere	78
4.4 Positionierung der Klimasensoren während des Tiertransports.....	85
4.5 Art der benötigten Sensoren auf einem Schweinetransporter	91
5 Diskussion	95
5.1 Methodenkritik.....	95
5.2 Belastungsfaktoren für Schweine beim langen Transport	96
5.2.1 Klimatische Gegebenheiten während der Transporte.....	96
5.2.2 Wasserversorgung auf dem Transport	100
5.2.3 Fahrzeugbewegungen.....	101
5.3 Belastungsreaktionen der transportierten Tiere.....	103
5.4 Positionierung der Klimasensoren während des Tiertransports.....	112
5.4.1 Temperatur	112
5.4.2 Luftfeuchte	115
5.4.3 Luftströmung	115
5.4.4 Indices um die Auswirkung des Klimas auf das Tier zu bewerten.....	115
5.5 Art der benötigten Sensoren auf einem Schweinetransporter	116
6 Schlussfolgerungen.....	117
7 Zusammenfassung	119
8 Summary	121
9 Literaturverzeichnis.....	IX
ANHANG.....	XIX

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Das Thermoneutralzonenkonzept (BIANCA 1976).....	15
Abb. 2: Skizze eines Sensorkanals.....	36
Abb. 3: Verteilung der Sensoren im LKW.....	37
Abb. 4: Zeitlicher Ablauf der durchgeführten Untersuchungen.....	38
Abb. 5: Vergleich zwischen Verlauf der Außentemperatur und der Innentemperatur unter Angabe der Fahrtgeschwindigkeit.....	48
Abb. 6: Verlauf der Innentemperatur getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Außentemperatur und der Fahrtgeschwindigkeit bei einem Transport der Temperaturklasse 2 (mittlere Außentemperaturen zwischen 15 und 20 °C).	49
Abb. 7: Verlauf der Innentemperatur getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Außentemperatur und der Fahrtgeschwindigkeit bei einem Transport der Temperaturklasse 1 (mittlere Außentemperaturen unter 15 °C).	50
Abb. 8: Verlauf der Innenluftfeuchte getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Außenluftfeuchte und der Fahrtgeschwindigkeit bei einem Transport der Temperaturklasse 1 (mittlere Außentemperaturen unter 15 °C).	52
Abb. 9: Verlauf der Luftströmung im Fahrzeug getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit und in den Fahrtunterbrechungen im Vergleich zur Windstärke außerhalb des Fahrzeugs bei einem Transport der Temperaturklasse 2 (mittlere Außentemperaturen zwischen 15 und 20 °C).....	55
Abb. 10: Verlauf des THI getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit bei einem Transport der Temperaturklasse 2 (mittlere Außentemperaturen zwischen 15 und 20 °C).....	56
Abb. 11: Verlauf der Enthalpie getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit und Markierung von 55 und 65 kJ/kg.....	57
Abb. 12: Verlauf des WD getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit.	58
Abb. 13: Verlauf der WCT getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit.	59
Abb. 14: Verlauf der Abkühlungsgröße getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit.	60
Abb. 15: Verlauf des Wasserdurchflusses im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit.....	61
Abb. 16: Verlauf der Fahrzeugbeschleunigung getrennt in die drei Messorte im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit.	62
Abb. 17: Verteilung der Messwerte für die Körpertemperatur während der verschiedenen Transportabschnitte.	64
Abb. 18: Verlauf der Herzfrequenz eines Tieres im Stall und während des Transportes.	66
Abb. 19: Glukose (mmol/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere (n=208).	68
Abb. 20: Laktat (mmol/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere (n=208).	70
Abb. 21: Protein (g/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere (n=208).	72
Abb. 22: Albumin (g/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere (n=208).	73
Abb. 23: Hämatokrit (%) im Blutplasma der untersuchten Tiere (n=208).	75
Abb. 24: Natrium (mmol/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere (n=208).	76
Abb. 25: Cortisol (g/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere (n=208).	78
Abb. 26: Kreatinkinase (U/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere (n=208).....	80
Abb. 27: ASAT (U/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere (n=208).	82
Abb. 28: LDH (U/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere (n=208).....	84
Abb. 29: Orte der höchsten Temperaturen im Fahrzeug.	86
Abb. 30: Orte der niedrigsten Temperaturen im Fahrzeug.	87

Abb. 31: Orte der höchsten Luftfeuchtigkeit im Fahrzeug.	88
Abb. 32: Orte der höchsten Luftströmung im Fahrzeug.	89
Abb. 33: Orte der höchsten Enthalpie im Fahrzeug.	89
Abb. 34: Anpassungs- und Vorhersagefehler verschiedener Parameter zur Voraussage der Körpertemperatur bei Temperaturen unter 10 °C im Fahrzeug.	91
Abb. 35: Anpassungs- und Vorhersagefehler verschiedener Parameter zur Voraussage der Körpertemperatur bei Temperaturen von 10 bis 25 °C im Fahrzeug.	92
Abb. 36: Anpassungs- und Vorhersagefehler verschiedener Parameter zur Voraussage der Körpertemperatur bei Temperaturen über 25 °C im Fahrzeug.	93

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Empfehlungen zum Platzangebot beim Schweinetransport.....	12
Tab. 2: Angaben zur Temperatur auf dem Transport von Schweinen und zur Behaglichkeitszone.....	17
Tab. 3: Zusammenfassung der Transporte unter Angabe von Transportnummer, Verladedatum, Beförderungsdauer in Stunden, Fahrerregelung und Zielnummer	30
Tab. 4: Abmessungen der Böden im Schweinetransporter	31
Tab. 5: Ladedichte dargestellt als Anzahl Tiere/m ² und Fläche in m ² /Tier	32
Tab. 6: Zeitliche Abhängigkeit der Blutprobenentnahmen A-D zum Beladen und Abladen des Transportfahrzeugs (in Stunden)	43
Tab. 7: Überblick über die erfassten Daten pro Transport	45
Tab. 8: Messwerte für die Außentemperatur (°C) während der auswertbaren Transporte (n=12).....	46
Tab. 9: Messwerte für die Innentemperatur (°C) während der auswertbaren Transporte (n=12).....	47
Tab. 10: Messwerte für die Außenluftfeuchte (%) während der auswertbaren Transporte (n=12).....	51
Tab. 11: Messwerte für die Luftfeuchte (%) im Tierbereich während der auswertbaren Transporte (n=12).....	53
Tab. 12: Messwerte für die Windstärke (m/s) während der auswertbaren Transporte (n=12)	54
Tab. 13: Wasserverbrauch in Litern (l) für das gesamte Fahrzeug während der auswertbaren Transporte (n=12).....	61
Tab. 14: Messwerte für die Fahrzeugbeschleunigung (m/s ²) getrennt nach Messort und Achse im Mittel der auswertbaren Transporte (n=12), dargestellt als Betrag um negative und positive Werte einer Achse mit einer Zahl abbilden zu können.....	63
Tab. 15: Messwerte der Körpertemperatur der Indikatortiere (n=148) (°C) während der auswertbaren Transporte (n=13)	65
Tab. 16: Ergebnisse der Varianzanalyse zu den Einflussfaktoren auf die Körpertemperatur (°C) der transportierten Schweine (n=148) der auswertbaren Transporte (n=12).....	66
Tab. 17: Messwerte für die Herzfrequenz (Schläge/Minute) während der auswertbaren Transporte (n=12).....	67
Tab. 18: Ergebnisse der Varianzanalyse zu den Einflussfaktoren auf die Veränderung der Glukosekonzentration (mmol/l) im Plasma der Indikatortiere (n=208) während der auswertbaren Transporte (n=12)	69
Tab. 19: Glukose (mmol/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n=13).....	69
Tab. 20: Laktat (mmol/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n=13).....	71
Tab. 21: Protein (g/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n=13).....	73
Tab. 22: Albumin (g/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n=13).....	74
Tab. 23: Hämatokrit (%) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n=13).....	76
Tab. 24: Natrium (mmol/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n=13).....	77
Tab. 25: Cortisol (ng/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n=13).....	79

Tab. 26: Kreatinkinaseaktivität (U/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n=13)	81
Tab. 27: ASAT-Aktivität (U/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n=13)	83
Tab. 28: LDH-Aktivität (U/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n=13)	85
Tab. 29: Spearman Rang-Korrelationen zwischen den erhobenen sowie den berechneten Klimaparametern am Fahrzeug und der Körpertemperatur (°C) der Tiere während der ausgewerteten Transporte (n=12)	94

Abkürzungsverzeichnis

A	Abkühlungsgröße
ADH	Antidiuretisches Hormon
ADP	Adenosindiphosphat
ASAT	Aspartat-Aminotransferase
ATP	Adenosintriphosphat
c	spezifische Wärmekapazität der Luft
CK	Kreatinkinase
Db	Dry bulb temperature
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
EFSA	European Food Safety Authority
EG	Europäische Gemeinschaft
ELISA	Enzyme-linked Immunosorbent Assay
h	Enthalpie
HHA	Hypothalamus-Hypophysen-Achse
IU	international unit
LDH	Laktatdehydrogenase
LWSI	Livestock Weather Safety Index
m	spezifische Masse der Luft
mcal	Millikalorie
n.e.	nicht erfasst
ng	Nanogramm
RH	relative Luftfeuchte
SCAHAW	Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare
SCARM	Standing Committee on Agriculture and Resource Management
ST	Schweinetransport
STVR	Straßenverkehrsrecht
T	Temperatur
THI	Temperature-Humidity-Index
TierSchTrV	Tierschutz-Transportverordnung
TiHo	Tierärztliche Hochschule
U	Unit
V	Luftgeschwindigkeit
Wb	Wet bulb temperature
WCT	Wind-Chill-Temperatur
WD	Wed bulb-Dry bulb-Index
ZMP	Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle

1 Einleitung

Im Jahre 2001 wurden auf deutschen Straßen etwa 6,35 Millionen (Mio.) Tonnen (t) Tiere lebend transportiert (STEDE 2001). Im Jahre 2009 hat vor allem der Lebendtierexport von Schweinen noch einmal sehr stark zugenommen (PÜTTKER UND BECKHOVE 2010). Mit fünf Mio. deutschen, dänischen und niederländischen Ferkeln, die in andere Länder exportiert wurden, lag dieser Anteil so hoch wie nie zuvor (BECKHOVE 2010). Jedes fünfzehnte in Deutschland erzeugte Schwein wurde ins Ausland verkauft.

Sowohl bei den Verbrauchern als auch in der Wissenschaft sind Tiertransporte ein kontrovers diskutiertes Thema. Der Verbraucher sorgt sich vorwiegend um das Wohlergehen des Tieres als Mitgeschöpf (HORGAN UND GAVINELLI 2006), und insbesondere lange Beförderungen werden hinsichtlich des Umgangs mit den Tieren auf dem Transport hinterfragt (FIKUART et al. 1995). Von der Wissenschaft werden dagegen diverse Teilaspekte wie Ladedichte, Mikroklima oder Pausenregelungen diskutiert (SCAHAW 1999, EFSA 2011).

Wissenschaftliche Ergebnisse bestätigen den Verbraucher dahingehend, dass der Transport für das beförderte Tier eine Belastung darstellt (KNOWLES UND WARRISS 2007). Als Gründe für die Belastung werden unter anderem das Mikroklima im Transportfahrzeug, der Fahrstil sowie der Umgang mit den Tieren angesehen (KETTLEWELL et al. 2001; BROOM 2008). Kritisiert wird die Diskrepanz zwischen den gesetzlichen Bestimmungen zum Klima bei langen Transporten und den wissenschaftlichen Empfehlungen (CHEVILLON et al. 2003; FIORE et al. 2009). Es wird diskutiert, ob die alleinige Messung der Temperatur für eine Einschätzung der Belastung der Tiere ausreicht und wie viele Sensoren benötigt werden. Dabei stellt sich die Frage, an welchen Positionen die Sensoren zur Erfassung der extremsten klimatischen Bedingungen im Fahrzeug platziert werden sollten.

In der vorliegenden Arbeit sollte das Ausmaß der Belastung bei über langen Strecken transportierten Schweinen erfasst und bewertet werden. Des Weiteren sollte diese Arbeit zur Beantwortung der Frage nach der Art und der idealen Positionierung der Klimasensoren im Transportfahrzeug beitragen. Hierzu wurden kommerzielle Ferntransporte von Schweinen begleitet und untersucht. Die klimatischen Bedingungen innerhalb und außerhalb des Transportfahrzeugs wurden erfasst. Zur Beurteilung des Wohlergehens wurden an einigen Schweinen die Herzfrequenz sowie die Körpertemperatur kontinuierlich erfasst und Blutproben entnommen.

2 Literaturübersicht

2.1 Tiertransporte

Die Gründe für den Transport lebender Tiere sind vielfältig. In der Bundesrepublik Deutschland und der Europäischen Union (EU) sind neben einem Wegfall der Zollhemmnisse an innergemeinschaftlichen Grenzen (FIKUART et al. 1995; KNIERIM UND JACKSON 1997; RAMBECK 2006) sowie einer weltweit steigenden Vorliebe für frisch geschlachtetes Fleisch (GRANDIN 2008) vorrangig die Zentralisierung der Schlachtbranche sowie die zunehmende Spezialisierung der Landwirtschaft als Hauptursachen für die stetig ansteigende Anzahl und Dauer von Transporten lebender Tiere zu nennen.

Dieser Trend zur Spezialisierung zeigt sich innerhalb der EU am stärksten in der Schweinehaltung. Hier entstanden drei eigenständige Hauptproduktionszweige: die Ferkelerzeugung, die Ferkelaufzucht und die Mast (SCHNIPPE 2002). Zwischen allen Produktionsstätten ist ein Transport der Tiere erforderlich, der auf nationaler Ebene oder - begünstigt durch den EU-Binnenmarkt - auch innerhalb Europas stattfindet. Die Ferkelerzeugung in Europa konzentriert sich vor allem auf die Niederlande, Deutschland und Dänemark, wohingegen in der Mast Belgien, Italien sowie Süd- und Osteuropa Spitzenplätze einnehmen (BECKHOVE 2010).

An den Transport zwischen den verschiedenen Gliedern der Produktionskette schließt sich der Transport zur Schlachtung an. Die Transporte zu den Schlachtstätten werden trotz der Regelungen der Verordnung (EG) Nr. 1/2005 (in der gültigen Fassung vom 22. Dezember 2004) und der deutschen Tierschutz-Transportverordnung (TierSchTrV vom 11. Februar 2009), die eine Begrenzung der Transportdauer für Schlachttiere auf acht Stunden vorsieht, aufgrund der Zentralisierung auch auf dem Schlachthofsektor immer länger. In Deutschland schlachten die drei größten Schlachtunternehmen mittlerweile die Hälfte der in Deutschland aufgezogenen Schweine (KOHLMÜLLER UND ALTER 2008). Dazu konzentriert sich die Schlachtbranche hinsichtlich der Anzahl ihrer Schlachtunternehmen auf die Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen (ZMP 2008).

Aufgrund hoher Kosten für Futtermittel in den Jahren 2007 und 2008 hat sich eine weitere Ursache für Exporte – und damit verbundenen längeren Transporten - ergeben. In den osteu-

ropäischen Ländern, in denen umfangreich in neue Schlachtkapazitäten investiert wurde, ging die nationale Schweineerzeugung aufgrund veränderter Marktlage zurück, und es mangelte an Tieren zur Schlachtung. Hieraus ergab sich ein steiler Anstieg des Exportes von Schlachtschweinen nach Osteuropa (BECKHOVE 2010; PÜTTKER UND BECKHOVE 2010). Auch Russland importiert große Mengen europäischer Schweine zur Schlachtung, da die eigenen Bestände aufgrund schlechter Rentabilität und/oder wiederkehrender Schweinepestfälle nicht ausreichen, um den im Land herrschenden Bedarf zu decken (PÜTTKER UND BECKHOVE 2010).

2.2 Gesetzliche Bestimmungen und wissenschaftliche Empfehlungen

Da Tiertransporte in großem Umfang im Rahmen des grenzüberschreitenden Handels stattfinden und damit ein Kerninteresse der Gemeinschaft betreffen, wurden auf der Ebene der Europäischen Gemeinschaft mehrere Rechtsnormen für Tiertransporte erlassen. Dazu gehören die Richtlinie 91/628/EWG vom 19. November 1991 über den Schutz von Tieren beim Transport sowie die Verordnung (EG) Nr. 1255/97 des Rates vom 25. Juni 1997 zur Festlegung gemeinschaftlicher Kriterien für Aufenthaltsorte. Die zum 5. Januar 2007 in Kraft getretene Verordnung (EG) Nr. 1/2005 vom 22. Dezember 2004 zum Schutz von Tieren beim Transport und damit zusammenhängenden Vorgängen stellt eine Neufassung und Erweiterung der bis dahin entstandenen Gemeinschaftsvorschriften zum Tiertransport dar. Diese Verordnung gilt für den Transport lebender Wirbeltiere innerhalb der Gemeinschaft, wenn er mit einer wirtschaftlichen Tätigkeit verbunden ist. Es werden Begriffe definiert und Angaben zu allgemeinen Bedingungen für den Transport von Tieren zu Wasser, in der Luft und auf dem Landwege gemacht. Allgemein wird gefordert, die Beförderungsdauer so kurz wie möglich zu halten und den Tieren Verletzungen und Leiden zu ersparen. In der Verordnung werden auch die Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten aller am Beförderungsvorgang beteiligten Akteure festgelegt. Schulungsmaßnahmen für Fahrer von Tiertransportern und für die mit den Tieren umgehenden Personen sind vorgeschrieben. Außerdem werden spezielle Bereiche, wie z. B. das Platzangebot tierartspezifisch geregelt und es gibt spezielle Vorgaben für lange Transporte. Lange Beförderungen sind laut diesem Gesetzestext Transporte, bei denen ab der Bewegung des ersten Tieres der Sendung acht Stunden überschritten werden.

Bezüglich des Klimas im Fahrzeug heißt es in der Verordnung (EG) Nr. 1/2005, dass die Tiere vor Wetterunbilden, Extremtemperaturen und Klimaschwankungen geschützt sein müssen, d.h. die Fahrzeuge müssen stets überdacht sein. Für die beförderten Tiere ist eine angemessene und ausreichende Frischluftzufuhr zu gewährleisten. Eine entsprechende Luftzirkulation über den stehenden Tieren wird gefordert, wobei die Bewegungsfreiheit jedoch nicht eingeschränkt werden darf. Des Weiteren enthält der Anhang der Verordnung (EG) Nr. 1/2005 für lange Beförderungen das Kapitel „Belüftung von Straßentransportmitteln und Temperaturüberwachung“. Für diese Transporte gilt, dass Temperaturen in einem Bereich von 5 bis 30 °C mit einer Toleranz von ± 5 °C, eine gleichmäßige Luftzirkulation mit einer Minimaluftfrate von 60 m³/h pro kN Nutzlast und einer Ventilatorlaufzeit unabhängig vom Fahrzeugmotor von mindestens vier Stunden gewährleistet werden müssen. Zudem wird das Anbringen von Sensoren zur Temperaturüberwachung gefordert.

Auf nationaler Ebene wird die Verordnung (EG) Nr. 1/2005 in Deutschland von der TierSchTrV umgesetzt und teilweise ergänzt. Hier werden, gegenüber der EU-Verordnung, keine weiteren Vorgaben zum Klima im Fahrzeug gemacht. Beim Transport von Tieren müssen jedoch nicht nur tierschutzrechtliche Auflagen berücksichtigt werden, sondern auch das Frachtrecht (HGB), das Straßenverkehrsrecht (StVR) und die Vorschriften über Lenk- und Ruhezeiten der Fahrer (VO (EG) Nr. 561/2006). Neben den bindenden gesetzlichen Regelungen auf europäischer und nationaler Ebene bleibt hier noch das „Handbuch Tiertransporte“ zu erwähnen, das z. B. in Niedersachsen per Erlass bindend für die Abfertigung von Tiertransporten durch die zuständigen Behörden ist und für einen bundesweit einheitlichen Vollzug Auslegungshinweise zur VO (EG) Nr. 1/2005 enthält.

Als wichtige Empfehlungen für den Tiertransport sind zudem vier wissenschaftliche Berichte von EU-Organisationen über das Wohlergehen von Tieren beim Transport zu nennen. Dies sind zum einen die Berichte des Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare (SCAHAW) der EU-Kommission aus den Jahren 1999 und 2002 und zum anderen die Berichte der European Food Safety Authority (EFSA) aus den Jahren 2004 und 2011.

Im Jahre 1999 wurde ein Bericht des SCAHAW zum Thema Mikroklima in Tiertransportfahrzeugen für den Straßentransport veröffentlicht (SCAHAW 1999). Hier wird ein allgemeiner Überblick über das Transportgeschehen und die daraus resultierenden Belastungen für die Tiere gegeben. Außerdem wird erläutert, welche Rolle Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Gaskonzentrationen und Temperatur für verschiedene Tierarten und -kategorien spielen,

und es werden verschiedene Ventilationssysteme erläutert. Ebenfalls von der SCAHAW wurde im Jahre 2002 ein Bericht zum Wohlbefinden von Tieren während des Transportes veröffentlicht. Dieser stellt einen umfassenden Überblick zum Thema Transport und Tierwohlbefinden bzw. Tierschutz dar und gibt Empfehlungen zu Fahr- und Pausenzeiten sowie zum Platzangebot und legt nahe, die Gesetzgebung in diesen Punkten zu ändern (SCAHAW 2002). Im März 2004 veröffentlichte die EFSA als Nachfolgeinstitution des SCAHAW einen Bericht über das Wohlergehen von Tieren beim Transport. Hierbei ging es um Geflügel, Kaninchen, Hunde, Katzen und einige weitere Tierarten (EFSA 2004a). Im Oktober 2004 folgte ein Bericht über Standards des Mikroklimas auf Tiertransportern, wobei sich dieser Bericht nun auch auf Schweine, Rinder, Schafe und Ziegen bezieht. Hier wird ebenfalls ein Überblick über die wissenschaftliche Literatur zum Thema gegeben sowie für die genannten Tierarten Temperaturgrenzen empfohlen. Beispielsweise wurde für Schweine mit einem Gewicht von mehr als 30 kg ein Temperaturbereich von 10 bis 25 °C angegeben (EFSA 2004b). Im Januar 2011 folgte ein dritter Bericht der EFSA zum Thema des Wohlergehens von Tieren beim Transport, wobei verschiedene Empfehlungen zur Änderung der gesetzlichen Regelungen gemacht werden, z. B. dass für den langen Transport von Schweinen eine Verfügbarkeit von Wasser während der Pausen ausreichend ist (EFSA 2011).

2.3 Belastungen beim Tiertransport

2.3.1 Die Belastungsreaktion

Das Wohlbefinden von Nutztieren wird durch eine Vielzahl von Faktoren aus der Haltungsumwelt in unterschiedlichem Maße beeinflusst oder gestört. Der Organismus ist jedoch bestrebt, ein konstantes „inneres Milieu“ aufrecht zu erhalten, wodurch ein ständiges Anpassen physiologischer und ethologischer Regelsysteme an die jeweils vorliegenden Umstände erforderlich ist. Beim Eintreffen eines Reizes und dessen Wahrnehmung werden unterschiedliche Anpassungsmechanismen eingeleitet (IBEN 2006). Zunächst geht das Regelsystem des Körpers in eine „Alarmphase“ über, um eine schnelle Reaktion zu ermöglichen (Kampf oder Flucht) (STAMP DAWKINS 1980). Reichen diese Mechanismen nicht aus, werden Vorgänge für

eine länger anhaltende Abwehr in Gang gesetzt. Der Körper befindet sich jetzt in der Anpassungsphase (LOEFFLER 2002).

Solange der Ausgleich des Reizes bzw. eine Anpassung noch nicht gelungen ist, gilt der Organismus als „gestresst“. Die einwirkenden Reize und Belastungen werden deshalb auch als Stressoren bezeichnet (MOBERG 2000). Während des Straßentransportes sind die Tiere einer ganzen Reihe von potentiellen Stressoren (SCAHAW 1999) wie Geräuschen, unbekannten Gerüchen, Vibrationen, Temperaturveränderungen und dem Zusammenbruch von Sozialgruppen ausgesetzt (WARRISS et al. 1992).

2.3.2 Belastungen durch Faktoren der Vorbereitung und Durchführung des Transportes

Ein schonender belastungsarmer Tiertransport beginnt bereits mit der Planung. Viele mögliche Belastungen lassen sich durch eine gute Planung vermeiden oder vermindern (BROOM 2005). Der erste Punkt ist dabei die Verladezeit. Schweine werden weniger belastet, wenn sie nicht zu den Uhrzeiten verladen werden, zu denen sie normalerweise gefüttert werden (HONKAVAARA 1991). Auch sollte die Verladezeit nicht in der Mittagshitze liegen, da während der Verladung allein durch die ungewohnte motorische Belastung Ansprüche an das Thermoregulationsvermögen der Tiere gestellt werden. Hohe Umgebungstemperaturen können hier zu einer zusätzlichen Belastung führen.

Ein weiterer sorgfältig einzuplanender Punkt ist die Transportentfernung bzw. die Transportdauer. Die Auswirkung der Transportdauer bzw. -entfernung auf den Tierorganismus wird allerdings von verschiedenen Autoren unterschiedlich bewertet. Laut BERRY UND LEWIS (2001) ist ein längerer Transport belastender für die Tiere als ein kurzer. Gründe dafür sind das zunehmende Risiko von Ermüdung sowie Futter- und Wassermangel. Auch können die Schweine bei langen Transporten erheblich stärker unterschiedlichen Wetterbedingungen ausgesetzt sein als bei kurzen Beförderungen über wenige Stunden (LAMBOOIJ 2000). MANTECA (2008) führt bei Transporten von unter 75 km eine Verlustrate von 0,12 % an, die bei Transporten von über 150 km um 50 % ansteigt. SCHÜTZ (1975) berichtet dagegen von geringeren Transportverlusten bei Transporten über 100 km als bei geringeren Entfernungen.

Forderungen nach einer möglichst kurzer Transportdauer entspringen laut verschiedener Autoren der Vermutung, dass „kurz“ auch gleichzeitig „belastungsarm“ ist. Aber die meisten Schweine zeigen mit zunehmender Länge des Transportes Anpassungserscheinungen (GÖLLNITZ 2004) und haben länger Zeit, sich von der Belastung des Beladens zu erholen (AUGUSTINI 1976). CHEVILLON et al. (2003) berichten, dass die Schweine mit zunehmender Transportdauer vermehrt liegen oder sitzen und führen das auf ein Ausruhverhalten und nicht auf Erschöpfung zurück. LEACH (1977) konnte anhand von Blutwerten feststellen, dass Tiere nach einem 15 Meilen-Transport stärkere Belastungsreaktionen zeigten als Tiere, die über 150 Meilen transportiert wurden. Mittels Bestimmung des Harn-Proteingehaltes bei unterschiedlich lang und weit transportierten Schweinen fanden KREUTZER UND STEHLE (1985) Hinweise auf eine relativ höhere Belastung für Schweine bei kürzeren Transporten. BRADSHAW et al. (1995) halten längere Transporte ebenso für weniger belastend, da eine Gewöhnung der Tiere an die neue Umgebung eintritt. Sie berichten davon, dass ein Transport über acht Stunden zwar sehr belastend ist, aber insgesamt weniger anstrengend als nach den ersten fünf Stunden. Auch BENCH et al. (2008) sprechen bei langen Transporten von einer Gewöhnung und halten kürzere Transporte für belastender.

Laut VO (EG) Nr. 1/2005 ist für Schweine eine durchgängige Transportzeit von 24 Stunden möglich. Nach dieser Zeit müssen die Tiere für 24 Stunden abgeladen, getränkt und gefüttert werden, bevor ein weiterer Transport über weitere 24 Stunden erlaubt ist. Es steht den Mitgliedsstaaten jedoch frei, nationale Schlachttiertransporte zeitlich enger zu begrenzen. Deutschland hat diese auf eine maximale Dauer von acht Stunden reduziert (TierSchTrV 2009).

Die Transportstrecke hat nicht nur durch die Transportdauer einen Einfluss auf die Tiere, da auch die Straßenverhältnisse und die Art der Straßen bedacht werden sollten. Wichtige Ursachen für eine Belastung von Schweinen während eines Transports sind die Vibrationen und Beschleunigungen des Fahrzeugs (MARÌA 2008). Der Boden des Transportfahrzeuges gerät in Abhängigkeit von Beladungszustand, Ladungsverteilung, Fahrtgeschwindigkeit, Straßenoberfläche, Unwucht der Räder sowie Kurvenreichtum oder Unebenheit der Straßen als auch allgemein durch den Fahrstil in Schwingungen (STEFFENS 1999; GÖLLNITZ 2004; PEETERS et al. 2008). In einem durch schlechten Fahrstil oder schlechte Straßen schwankenden Fahrzeug würden Menschen sich für eine bessere Balance setzen, Tiere jedoch bleiben stehen (BROOM 2005). Stehend können Schwingungen und Kurven ebenso wie plötzliches Bremsen jedoch viel schlechter ausbalanciert werden (BROOM 2005). Schwankungen, Schwingungen und Be-

schleunigungen des Fahrzeugs können längs zur Fahrzeugachse, seitlich oder vertikal ausfallen (PEETERS et al. 2008) und durch entsprechende Planung der Strecke und einen angepassten Fahrstil vermindert werden.

Beim Menschen lösen niederfrequente Vibrationen mit einem Maximum bei 0,2 Hertz Übelkeit und Müdigkeit aus (STEFFENS 1999; VON RICHTHOFEN 2003) und führen zu einer Zunahme der Herzfrequenz und des Blutdrucks (PEETERS 2008). Dieses Modell der menschlichen Reisekrankheit stimmt mit den Reaktionen von Schweinen auf Vibrationen überein (PEREMANNS et al. 1995). Bei vollem Magen müssen sich reisekranke Schweine unter Umständen übergeben, wobei es in Folge des Schocks oder durch Inhalation des Erbrochenen zu Todesfällen kommen kann (LAMBOOIJ 2000).

GROTH (1987) betont, dass insbesondere die Fahrweise der Fahrer einen großen Einfluss auf das Vorkommen und die Anzahl von Todesfällen während des Transportes hat. Durch die gezielte Weiterbildung der Fahrer von Schweinetransportern hat sich in Frankreich seit 1990 die Anzahl von Hautverletzungen, die auf den Schlachthöfen erhoben wurden, reduziert (PEETERS et al. 2008).

Von verschiedenen Autoren wird das Verladen der Tiere als die entscheidende Belastungssituation beim Transport gesehen (ROESER 1995; LINDNER 1998; BROOM 2008). LINDNER (1998) nennt das Beladen als eine Belastung, die zu Transportverlusten führen und auch durch besonders schonenden Transport nicht mehr ausgeglichen werden kann. Grund für diese Annahme ist, dass beim Verladen der Tiere in kürzester Zeit viele Stressoren auf die Tiere einwirken (BROOM 2008). Zum Beispiel erfolgt das Aufladen über oft zu steile Rampen (GÖLLNITZ 2004). Das Überwinden einer Rampe stellt einerseits eine völlig neue Situation für die Tiere dar, bedeutet andererseits aber auch eine ungewohnte physische Anstrengung (BROOM 2008). GRANDIN (2000) macht deutlich, dass ein trittsicherer Boden wichtig für die Verladung ist, dass die Rampe nicht mehr als 20 ° ansteigen sollte und dass der Abstand der an der Rampe montierten Querstreben das Betreten der Rampe nur dann vereinfacht, wenn er auch zur Schrittlänge des Tieres passt. SCHÜTTE et al. (1995) empfehlen einen Lift oder eine ebene Rampe, um die Belastung durch das Beladen zu reduzieren. Und auch BOCKISCH (1995) kam nach der Untersuchung von 203 Transporten mit rund 10000 Mastschweinen zu dem Schluss, dass eine möglichst waagerechte Beschickung des Fahrzeuges erforderlich ist.

2.3.3 Belastungen durch den Umgang mit den Tieren

Der Umgang mit dem Tier trägt entscheidend zum Wohlergehen vor und während des Transports bei. Hierbei spielen vor allem die Erfahrung und das Fachwissen des Personals eine große Rolle. BROOM (2005) merkt an, dass eine Schulung des Personals den Umgang mit den Tieren positiv beeinflusst. Er gibt als Beispiel an, dass erfahrene Tierbetreuer Rinder einfach nur durch das Betreten der „Fluchtzone“ von Ort zu Ort bewegen können. Als geeignetes Hilfsmittel zum Treiben von Schweinen hat sich ein Treibebrett erwiesen (WALTON 1994). Der Einsatz von Stöcken oder Elektrotreibern zum Treiben kann dagegen zu Belastungen der Tiere führen (BROOM 2005). Der Einsatz von Elektrotreibern ist in der Transportverordnung geregelt und darf nur mit eingeschränkter Dauer an bestimmten Stellen an ausgewachsenen Tieren eingesetzt werden, sofern diese ausweichen können (TierSchTrV 2009).

Zusätzlich spielt auch die Vorerfahrung der Tiere eine große Rolle bei Belastungen. Die Tiere sind in der Regel schlecht auf den Transport vorbereitet (GROTH 1987). Der plötzlich enge Kontakt zu Menschen ist neu und verängstigt sie (GRANDIN 1997; BROOM 2008). Die meist einzigen Kontakte, die Schweine während ihrer Aufzucht zu Menschen haben, bringen in der Regel unangenehme Erfahrungen für die Tiere mit sich (Kastrieren, Schwänze kupieren etc.) (GEVERINK et al. 1998).

BROOM (2008) stellt fest, dass der Umgang mit Schweinen, die den Kontakt zu Menschen gewohnt sind, leichter fällt. Auch GEVERINK et al. (1998) berichten von Erfahrungen, dass ein Umtreiben während der Aufzuchtphase später zu leichterem Treiben führt. Laut GREGORY (2008) hat auch die Haltungsform während der Aufzucht einen Einfluss auf das Handling von Schweinen. Tiere aus einer Haltung mit Spaltenboden waren schwieriger vorwärts zu bewegen, rutschten dafür aber weniger aus.

Beim Umgang mit Schweinen ist zu beachten, dass die Vereinzelung aus der Gruppe einen starken Stressor darstellt (GRANDIN 1997). Die Belastung ist für die Tiere deshalb deutlich geringer, wenn sie in der Gruppe getrieben werden. Als optimal zum Beladen von Tiertransportern bzw. generell für das Treiben von Schweinen werden Gruppengrößen von fünf bis sechs Tieren empfohlen (LEWIS UND MCGLONE 2007). Das Treiben der Schweine in dieser kleineren Gruppengröße führt laut den Untersuchungen von AVEROS et al. (2008) zu einer ebenso schnellen Beladung des Fahrzeugs wie ein Treiben der Tiere in 10er Gruppen, wirkt

sich dabei jedoch weitaus weniger stark auf die Herzfrequenz der Tiere aus. Zudem sinkt das Risiko von Transportverlusten bei reduzierter Beladezeit (AVEROS et al. 2008).

Neben dem Umgang mit den Tieren kommt auch ihrer Fütterung eine große Bedeutung als Belastungsursache während der Beförderung zu. Als ein wichtiger Belastungsfaktor kann das Fasten und vor allem der Wasserentzug angesehen werden (MANTECA 2008). Auf Langstreckentransporten erhalten Schweine in den seltensten Fällen eine bedarfsgerechte Futtermittellversorgung. Eine unzureichende Bedarfsdeckung kommt häufig dann zustande, wenn während des langen Transportes nicht genügend Futter mitgeführt wird oder die Tiere aufgrund von Symptomen der Reisekrankheit nicht fressen (BROOM 1994). Auch ungewohnte Futtermittel oder ein unbekanntes Tränkesystem können eine bedarfsgerechte Versorgung erschweren (SCHMEIDUCH 2002). Bei einem Transport über 24 Stunden liegt der Futterbedarf bei ca. 1,5 % des Körpergewichtes der Tiere (CHEVILLON et al. 2003).

Aber nicht nur die Fütterung während des Transportes, sondern auch die Fütterung vor dem Transport hat einen Einfluss auf das Wohlbefinden der Tiere beim Transport. Denn für übermäßig gesättigte Schweine ist das Risiko eines Transporttodes besonders hoch (VON HOLLEBEN UND GRAUVOGEL 1998). Je nach Länge des Transportes sollte die Fütterung schon in der Nacht vor dem Transport eingestellt werden (LAMBOOIJ 2000). Bei Schweinen, die kurz vor dem Transport gefüttert wurden, kommt es durch transportbedingte Belastungen zu einer vorübergehenden Verlangsamung der Magen-Darmmotorik (SCHÜTZ 1975). Als Folge behindert der gefüllte Magen mechanisch die Atmung und den Kreislauf (GROTH 1987; ROESER 1995). Durch einen vollen Magen erfolgt eine reflektorisch bedingte Verengung der Herzkranzgefäße bei einer gleichzeitig erhöhten Wärmeproduktion durch belastungsbedingte und ungewohnte Muskelanspannung und mit der einhergehenden Gefahr des Hitzestaus (GROTH 1987). Diese Vorgänge können während des Transportes eine Unterbrechung der Verdauungstätigkeit bedingen, die zu einer Autointoxikation führt (GROTH 1987; ROESER 1995).

Das in der Regel 12 Stunden andauernde Fasten vor dem Transport soll auch dem Unwohlsein und der Reisekrankheit von Schweinen beim Transport entgegenwirken (GÖLLNITZ 2004). Je länger die Fütterung vor dem Transport zurückliegt, desto geringer ist die hieraus resultierende Belastung (SCHÜTZ 1975). Das Fasten vor dem Transport stellt aber auch eine ungewohnte Situation für die sonst reichlich gefütterten Schweine dar (GÖLLNITZ 2004). Die Möglichkeit zur Trinkwasseraufnahme sollte bis unmittelbar vor der Verladung bestehen (VON HOLLEBEN UND GRAUVOGEL 1998). Die ausreichende Wasseraufnahme ist wichtig, da bei langen Trans-

porten Gewichtsverluste auftreten (LAMBOOIJ 2000; MARÍA 2008), die hauptsächlich durch Wasserverluste (SCHÜTZ 1975) aufgrund von vermehrtem Harnen und der Wärmeabgabe entstehen (VON HOLLEBEN UND GRAUVOGEL 1998).

Ein ausreichendes Platzangebot spielt beim Transport eine wichtige Rolle, da es das Wohlergehen der Tiere entscheidend beeinflusst (BROOM 2008). Die Fläche pro Tier sollte so bemessen sein, dass sich alle Tiere gleichzeitig niederlegen können (SCHÜTZ 1975; ROESER 1995; LAMBOOIJ 2000). Zu hohe Ladedichten führen zu rascherem Ermüden der Tiere. Zudem steigen mit größerem Abstand zwischen den einzelnen Tieren die Flieh- und Aufprallkräfte mit möglichen Verletzungsfolgen im Falle einer Notbremsung (VON RICHTHOFEN 2003). ROESER (1995) schließt sich dieser Aussage an und folgert, dass zuviel Platz nicht nur unökonomisch sei, sondern auch eine erhöhte Verletzungsgefahr mit sich bringe, da die Tiere durch wechselnde Beschleunigungen, Schub- und Fliehkräfte keinen Halt finden und gegen Wände oder gegeneinander geschleudert werden.

BENCH et al. (2008) merken an, dass der verfügbare Platz zum Stehen und Ablegen der Tiere ausreichen muss und dass ausreichend Luftvolumen vorhanden sein sollte. Bei einem nicht ausreichenden Platzangebot kommt es zum Aufreiten und daraus resultierenden Hautverletzungen sowie Aggressionen zwischen liegenden Tieren, und Tieren, die keinen Liegeplatz haben. Ist das Platzangebot jedoch zu hoch, ergeben sich ebenfalls häufiger aggressive Interaktionen zwischen den Tieren. GRANDIN (2000) fordert ausreichend Fläche für die Schweine zum Abliegen, ohne dass diese aufeinander liegen. Das SCARM (1999) merkt an, dass das Platzangebot danach bemessen werden sollte, dass möglichst wenige oder besser keine Verletzungen entstehen, aber gefallene Tiere die Möglichkeit haben, wieder aufzustehen. Nach BROOM (2008) ist es wichtig, dass den Tieren dabei Tränkeplätze in ausreichender Zahl zur Verfügung stehen, um möglichst einer größeren Tiergruppe den gleichzeitigen Zugang zu Wasser zu ermöglichen.

Neben der Bodenfläche besteht das Raumangebot während des Transportes noch aus einer zweiten Komponente, der Höhe (BROOM 2008). Die Tiere müssen während des Transportes in der Lage sein in ihrer natürlichen Position zu stehen und den Kopf in einer natürlichen Position zu halten (LAMBOOIJ 2000).

Auch erwartete Wetterbedingungen sollten bei der Planung von Tiertransporten Beachtung finden (KNOWLES UND WARRISS 2007). Bei niedrigen Temperaturen scheinen höhere Belegungsichten dem natürlichen Verhalten der Schweine zur Verringerung der Wärmeabgabe

entgegenzukommen (ROESER 1995). Es kann jedoch auch zu Erfrierungen der Tiere kommen, wenn die Ladedichte zu hoch ist und die Tiere den Metallteilen des LKWs oder dem Luftstrom aus Lüftungsöffnungen nicht ausweichen können (STEFFENS 1999). Zudem verschlechtern sich bei enger Verladung die Luftverhältnisse durch Sauerstoffmangel (ROESER 1995) sowie Ammoniak- und Schwefelwasserstoffanreicherung, und es entsteht die Möglichkeit eines Wärmestaus (GROTH 1987). Bei schwülem Wetter und bei langen Transporten sollte den Tieren daher mehr Platz zugedacht werden (GROTH 1987; GRANDIN 2000).

Im Sommer oder in heißen Witterungslagen können schlecht isolierte eventuell noch dunkel lackierte Fahrzeuge zu einer enormen Aufheizung des Innenraums führen (STEFFENS 1999). Die Tiere vermeiden den Kontakt zu den Außen- und Trennwänden, so dass sie sich in der Mitte drängen und es hier zu einer relativen Überladung kommt. Die Beladungsdichte sollte daher bereits bei Temperaturen über 20°C reduziert werden, sonst kommt es zu höheren Verlusten und verringertem Wohlbefinden bei den transportierten Tieren (BROOM 2008). Sowohl die Verordnung (EG) Nr. 1/2005 als auch die TierSchTrV schreiben eine Vergrößerung der Flächenzumessung je nach Wetterlage und Transportdauer vor. In der TierSchTrV wird aber auch darauf hingewiesen, dass die Fläche aufgrund der Verletzungsgefahr nicht zu stark vergrößert werden darf.

Die Angaben für die Platzbemessung können sich auf das Alter oder das Gewicht der Tiere beziehen, so ergeben sich entweder Angaben in Quadratmeter pro Tier oder in Kilogramm pro Quadratmeter (VON RICHTHOFEN 2003). Tabelle 1 stellt die Empfehlungen zum Platzangebot für den Schweinetransport verschiedener Autoren zusammen.

Tab. 1: Empfehlungen zum Platzangebot beim Schweinetransport

Autor (Jahreszahl)	Empfehlung
KLAWITTER (1971)	0,5 m ² / 100 kg
VON MICKWITZ (1971)	0,5 m ² / 100 kg
LINDNER (1998)	0,5 m ² bis 110 kg
CHEVILLON et al. (2003)	0,42 m ² / 100 bis 110 kg
	0,5 m ² / 120 bis 130 kg
Verordnung (EG) Nr. 1/2005	≤ 235 kg/m ² bis 100 kg
Tierschutztransportverordnung	0,45 m ² / 100 kg
	Mit zunehmendem Körpergewicht steigt der Flächenbedarf um 0,05 m ² /10 kg
	0,7 m ² bei > 120 kg

Auch das Sozialverhalten der Schweine kann sich während des Transports als Stressor erweisen. Beim Schwein besteht eine große Aggressivität gegenüber Artgenossen aus anderen Gruppen (GROTH 1987). Hinzukommende fremde Schweine im Stall oder auf Transportfahrzeugen stören die Gruppenhierarchie, die über Rankämpfe neu festgelegt werden muss (MEYER 1971; ROESER 1995). Auch BROOM (2008) stellt fest, dass ein Transport von Schweinen in gemischten Gruppen zu einem Anstieg des Aggressionspotentials führt, bei Transporten einander bekannter Tiere tritt dies jedoch nicht auf. Die Rangordnungskämpfe führen zu Verletzungen, die das Eindringen von Infektionserregern erleichtern und das Wohlbefinden der Tiere reduzieren (MANTECA 2008). Somit können Krankheiten durch das Unterlassen des Mischens von Tiergruppen vermieden werden (BROOM 2005). Außerdem resultiert aus den Rankämpfen eine starke Verminderung des Gehaltes an Glykogen im Muskel. Dem Muskel fehlt also sein wichtigster Energiespeicher (VON RICHTHOFEN 2003). Dies führt zur Ermüdung beim Tier, nach der Schlachtung jedoch auch zu Fleischqualitätsmängeln bei der Fleischreifung. Dies bestätigt auch die Feststellung von BRAATHEN UND JOHANSEN (1984). In ihren Versuchen zeigten ruhigere Tiere, die weniger kämpften, einen geringeren PSE-Anteil. Als einfachste Möglichkeit zur Vermeidung von Rankämpfen wird der Transport der Tiere unter Beibehaltung der Stallgruppe angesehen (VON RICHTHOFEN 2003). LEACH (1977) empfiehlt, die Tiergruppen einige Tage vor dem Transport zusammenzustellen, so dass sich eine neue Sozialstruktur vor dem Transport ausbilden kann, um spätere Rankämpfe und mögliche Verletzungen während der Belastungssituation des Transportes zu vermeiden.

2.3.4 Belastungen durch das Klima

Der Begriff „Mikroklima“ stellt eine Zusammenfassung für die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Konzentration verschiedener Gase und auch die Windgeschwindigkeit bezogen auf eine bestimmte Lokalisation (z. B. das Fahrzeuginnere) dar (VOERMANS 1997; KETTLEWELL et al. 2001).

Die Temperatur als Belastungsfaktor

MARIA (2008) nennt Hyperthermien als Hauptgrund für Tierverluste beim Transport. Auch KNOWLES UND WARRISS (2007) benennen hohe Umgebungstemperaturen als einen Hauptfaktor, der zum Tod von Schweinen während der Beförderung führt. Die Belastung transportierter Schweine durch hohe Temperaturen zeigt sich auch darin, dass ein eindeutiger jahreszeitlicher Einfluss auf die Transportverlustquote festgestellt wurde. Die Verluste liegen in den Monaten Oktober bis März relativ niedrig, während sie in den Sommermonaten ansteigen (SCAHAW 1999; CHRISTENSEN UND JONSSON 2007). Des Weiteren wurde bei Transporten in der wärmeren Tageshälfte eine höhere Todesrate festgestellt (ABBOTT et al. 1995), und insgesamt wird von verschiedenen Autoren ein Zusammenhang zwischen Tagesmitteltemperaturen und Transportverlusten hergestellt (LINDNER 1998; KNOWLES UND WARRISS 2007). COLLEU UND CHEVILLON (1999) geben für Temperaturen von unter 5 °C Verluste von 0,07 % und für Temperaturen von über 15 °C von bereits 0,11 % an.

Die hohe Anfälligkeit von Schweinen gegenüber hohen Umgebungstemperaturen liegt darin begründet, dass das Schwein in Hinblick auf die Thermoregulation gegenüber anderen Tierarten benachteiligt ist. Zum einen hat es eine mit zunehmendem Alter wachsende Unterhautfett-schicht, die aufgrund ihrer wärmeisolierenden Eigenschaft die Wärmeabgabe erschwert. Zum anderen verfügen Schweine über nur wenige Schweißdrüsen für die evaporative Wärmeabgabe (WITTKE 1972; KOLB 1974). Eine Kühlung durch Evaporation erfolgt bei Schweinen durch vermehrtes Atmen im Totraumbereich (PENZLIN 2005). Beim Ausatmen verdampft Wasser in den oberen Atemwegen und über die Zunge, wodurch eine Wärmeabfuhr durch die entstehende Verdunstung erreicht wird (RATSCHOW UND SCHULTE-SUTRUM 2003). Der Grund für die belastenden Auswirkungen sowohl hoher als auch niedriger Umgebungstemperaturen auf transportierte Nutztiere liegt darin, dass es sich bei ihnen wie bei allen Säugetieren um homoiotherme Tiere handelt (PENZLIN 2005). Im Gegensatz zu poikilothermen Tieren halten homoiotherme Organismen ihre Körpertemperatur auch bei wechselnden Umgebungstemperaturen innerhalb bestimmter Grenzen konstant (JESSEN 2000).

Das Aufrechterhalten einer konstanten Körpertemperatur bzw. die dazugehörigen Mechanismen werden als Thermoregulation bezeichnet (Abb. 1). Man spricht von einer Behaglichkeitszone (Bereich A – A' in Abb. 1), die einen tierart- und altersabhängig spezifischen Bereich der Umwelttemperatur kennzeichnet und in dem der energetische Grundumsatz des Tie-

res für die Erhaltung seiner Körpertemperatur in ihren Sollwertgrenzen ausreicht. Als obere (B') und untere (B) kritische Temperatur sind die Grenzen der thermoneutralen Zone bezeichnet, ab denen erste thermoregulatorische Maßnahmen unter Energieaufwand erforderlich werden, aber noch keine Wärme gebildet wird (BIANCA 1976).

Abb. 1: Das Thermoneutralzonenkonzept (BIANCA 1976).

Fällt die Umgebungstemperatur unter die untere kritische Temperatur (B), sind vom Tier Mechanismen zur Wärmebildung gefordert. Dies geschieht einerseits durch Verhaltensänderungen wie das Aufeinanderliegen von mehreren Tieren oder eine zusammengekauerte Haltung des Einzeltieres. Zum anderen werden Mechanismen innerhalb des Körpers ausgelöst, wie beispielsweise Kältezittern oder die Verengung des Gefäßdurchmessers (JESSEN 2000). Eine weitere Möglichkeit zur Wärmeproduktion besteht in der vermehrten Futteraufnahme, denn unmittelbar danach wird vom Organismus mehr Wärme produziert (PENZLIN 2005). Diese Möglichkeit steht allerdings den Tieren auf dem Transport nicht oder nicht ausreichend zur Verfügung. Bei Überforderung der Anpassungsfähigkeit des Tierorganismus durch tiefer fallende Umgebungstemperaturen, (unter C, Abb. 1) tritt infolge mangelnder Wärmeproduktion und fortschreitender Unterkühlung (D in Abb. 1) der Kältetod ein (HÖRNICKE 1976). Bei KOLB (1974) heißt es jedoch, dass Schweine gegenüber tiefen Temperaturen relativ unempfindlich sind, da die Unterhautfettgewebsschicht vor Auskühlung schützt.

Ein größeres Problem im Zusammenhang mit dem Transport von Tieren stellt die Überschreitung der thermoneutralen Zone dar. Auch hier erfolgt eine stoffwechselabhängige Gegenregulierung des Organismus (Abschnitt B' bis D' in Abb. 1). Das Tier kann zur Kühlung durch sein Verhalten beitragen, wenn es z. B. Schattenplätze oder feuchte Bereiche (Suhlen) aufsucht. Langfristig wird auch durch die Reduktion der Futteraufnahme die körpereigene Wärmeproduktion gesenkt, bis auf die letztere stehen den Tieren auf dem Transport diese Möglichkeiten jedoch nicht zur Verfügung. Es bleibt die Weitstellung der Blutgefäße in der Körperperipherie und eine dadurch gesteigerte Wärmeabgabe (PENZLIN 2005).

Als Richtwerte für die Temperatur im Fahrzeug oder als Werte für die Behaglichkeitszone von Schweinen finden sich in der Literatur unterschiedliche Angaben, diese sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tab. 2: Angaben zur Temperatur auf dem Transport von Schweinen und zur Behaglichkeitszone

Autor (Jahreszahl)	Temperatur (°C)	Gültigkeit
KOLB (1974)	18 bis 23	Thermische Behaglichkeitszone für Mast-schweine im Stall
	über 30	Überschreitung der thermoregulatorischen Kapazität im Stall
	über 35	Vermehrter Hitzetod bei Mastschweinen im Stall
SCAHAW (1999)	18 bis 22	Behaglichkeitszone Mastschweine mit 100 kg Körpergewicht
	23	Untere kritische Temperatur bei Fütterung auf Erhaltungsbedarf
	14	Untere kritische Temperatur bei normaler Fütterung
	32	Obere kritische Temperatur
CHEVILLON et al. (2002)	10 bis 25	Auf dem Transport keinen Thermoregulationsstress
EFSA (2004b)	unter 10	Keinen Einfluss auf das Wohlbefinden
	10 bis 25	Empfehlung für Schweine über 30 kg Körpergewicht im Fahrzeug
	maximal 30	Empfehlung für Schweine über 30 kg Körpergewicht im Fahrzeug bei mechanischer Ventilation
HUYNH et al. (2005a)	21,3 bis 27,1	Obere kritische Temperatur bei 60 kg schweren Schweinen in Gruppenhaltung unter ad libitum Fütterung
Verordnung (EG) 1/2005	5 bis 30 ± 5	Im Fahrzeug (alle Tierarten und Kategorien)
CHRISTENSEN et al. (2007)	unter 5	Kein Problem für Schweine verschiedener Kategorien bei Transportversuchen
CHRISTENSEN UND JONSSON (2007)	bis zu -5	keine thermoregulatorischen Probleme

Die Luftfeuchte als Belastungsfaktor

Die Thermoregulation der Tiere wird auch durch die Luftfeuchtigkeit erheblich beeinflusst. Ein Anzeichen für die Belastung von Schweinen durch die Luftfeuchtigkeit sind oftmals steigende Verlustraten bei Zunahme des so genannten „Schwülefaktors“ (Temperatur + zweifacher Dampfdruck) (GROTH 1987), da hier die Tiere ihre Wärme insbesondere nach motorischer Belastung (Umtrieb und Beladen des Fahrzeuges) sowohl sensibel als auch evaporativ (latent) nur unzureichend abgeben können. Bei hohen Umgebungstemperaturen sind die Möglichkeiten der Wärmeabgabe durch Radiation, Konvektion und Konduktion ebenfalls, man-

gels ausreichender Temperaturgradienten zur Umgebung zunehmend eingeschränkt und die Wärmeabgabe durch Evaporation wird immer wichtiger (KOLB 1974).

Aber auch bei niedrigeren Temperaturen können hohe Werte der Luftfeuchte Probleme bereiten. Eine Theorie für die Belastung von Tieren ist, dass zu hohe Luftfeuchten bei kühleren Temperaturen zu einer steigenden Wärmeleitfähigkeit der Luft und somit zu einer erhöhten konvektiven Auskühlung der Tiere führen (FERCH 1964). BRESK (1988) dagegen vermutet, dass kleinste Wassertröpfchen und deren Verdunstung Ursache für ein erhöhtes Kälteempfinden in feuchtkalter Luft sind. Unbestritten ist, dass bei niedrigen Temperaturen eine steigende Luftfeuchtigkeit zu einer zunehmenden Belastung der Tiere führt. Neben der direkten Belastung der Tiere erhöht eine hohe Luftfeuchte die Lebensfähigkeit von Mikroorganismen mit der Folge einer erhöhten Infektionsgefahr über die Atemwege (MÜLLER UND SCHLENKER 2007). Aber auch trockene Luft kann problematisch werden, da das Austrocknen der Schleimhäute bei einer erhöhten Staubbildung zur weiteren Reizung führt (HILLIGER 1990; MÜLLER UND SCHLENKER 2007).

Die Empfehlungen zur relativen Luftfeuchte werden nach Temperaturen klassifiziert. Bei optimalen Temperaturen wird der Toleranzbereich mit 50 bis 90 % angegeben (HILLIGER 1990). Eine Luftfeuchte von 40 % wird als zu gering eingestuft (RUDOVSKY UND PRANGE 2004).

Die Luftbewegung als Belastungsfaktor

Eine Luftbewegung zwischen den Tieren transportiert Wärme und Luftfeuchte aus dem Tierbereich heraus (KETTLEWELL et al. 2010) und vereinfacht so die Thermoregulation der Tiere. Eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit senkt zwar die radiative Wärmeabgabe infolge eines Herabsetzens der Oberflächentemperatur, sie erhöht jedoch die konvektive und die evaporative Wärmeabgabe (SCAHAW 1999). Falsche Lüftungseinstellungen können in einer punktuellen oder auch generalisierten Ab- oder Unterkühlung der Tiere resultieren, die wiederum zu Erfrierungen unterschiedlichen Grades führen kann (ROESER 1995). BÜSCHER (2002) geben für Schweine bei der Stallhaltung an, dass eine Luftgeschwindigkeit von 0,2 m/s nur bei sommerlichen Temperaturen überschritten werden sollte, diese aber lediglich auf bis zu 0,6 m/s erhöht werden darf.

Indices zur Bewertung der kombinierten Wirkung von Klimafaktoren auf die Tiere

Zur Bewertung der kombinierten Wirkung von Klimaparametern auf Tiere wurden verschiedene Modelle entwickelt. Bei hoher Wärmebelastung wird vor allem die Umgebungstemperatur in Verbindung mit der Luftfeuchte als entscheidender Belastungsfaktor für die Thermoregulation der Tiere angesehen. Temperatur-Feuchte-Indices wurden von Wissenschaftlern für verschiedene Tierarten (Schweine, Milchkühe, Legehennen und Puten) entwickelt, um die gemeinsamen Effekte von Temperatur und Luftfeuchte zu bewerten (BROWN-BRANDL et al. 1997). Für Rinder in „Feedlots“ wurde der 1959 von THOM eingeführte Temperature-Humidity-Index (THI) 1970 im Rahmen des LIVESTOCK WEATHER SAFETY INDEXES (LWSI) in Gefährdungsklassen bzw. Stresslevels eingeteilt (BRÜSER-PIEPER 2006). Der THI setzt die relative Luftfeuchte (RH) und die Temperatur (T) ins Verhältnis. Er berechnet sich nach der folgenden Formel:

$$\text{THI} = 0,8 T + \text{RH} * (T - 14,4) + 46,4$$

Im LWSI werden THI-Werte bis zu 75 als stressfrei für die betroffenen Rinder klassifiziert, zwischen 75 und 78 ergibt sich ein leichter Stress, darüber bis zu Ergebnissen von 83 eine moderate Belastung. Zwischen 83 und 84 ist das Klima als ernstzunehmender Stressor einzustufen, darüber hinaus folgt der Tod des Tieres.

Für das Schwein wird hingegen der Wet bulb-Dry bulb-Index (WD) benutzt, um die Toleranzzeit im feuchtheißen Klima zu bestimmen (ROLLER und GOLDMANN 1969). Um die effektive Temperatur für junge Schweine zu ermitteln, wurde von INGRAM (1965) folgende Formel für den WD aus Feucht- (Wb) und Trockentemperatur (Db) erstellt:

$$\text{WD} = 0,65 \text{ Db} + 0,35 \text{ Wb}$$

ROLLER und GOLDMAN (1969) dagegen postulieren für 80 bis 90 kg schwere Schweine die folgende Formel als die beste Möglichkeit zur Voraussage:

$$\text{WD} = 0,75 \text{ Db} + 0,25 \text{ Wb}$$

Beiden Bewertungssystemen (THI sowie WD) liegt die Enthalpie (der Wärmehalt der Luft) zugrunde, sie wird in kJ/kg angegeben. Luft mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 62 % und einer Temperatur von 28 °C hat danach beispielsweise für Schweine dieselben Konsequenzen

für die Thermoregulation wie Luft einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80 % und einer Temperatur von 24,5 °C (BÜSCHER 2002). Die Enthalpie (h) berechnet sich aus der spezifischen Wärmekapazität der Luft (c), der Temperatur und der Masse der Luft (m) wie folgt:

$$h = c * m * T$$

Bei geringeren Lufttemperaturen (unter 10° C) sollte eher die Luftströmung als die Luftfeuchte als Maßstab für Effekte des Klimas auf die Thermoregulation herangezogen werden, denn die Luftfeuchte trägt in diesem Temperaturbereich weniger als 1 % zur Wärmeleitfähigkeit und –kapazität bei. Als Beispiel für ein Modell kann hier die Wind-Chill-Temperatur genannt werden. Diesem Index liegt die Tatsache zugrunde, dass Erfrierungen jederzeit vorkommen können, wenn die Temperatur unter 0 °C fällt. Die Wahrscheinlichkeit eines tatsächlichen Auftretens von derartigen Verletzungen beim Menschen und ihr Schweregrad hängen von der Länge der Exposition gegenüber der kalten Temperatur aber auch von der Windgeschwindigkeit ab (NELSON et al. 2002). Die erneuerte Formel zur Berechnung der Wind-Chill-Temperatur lautet für metrische Einheiten wie folgt:

$$WCT = 13,12 + 0,6215 T - 11,37 V^{0.16} + 0,3965 T * V^{0.16}$$

Auch die Abkühlungsgröße (A) setzt Windgeschwindigkeit (V) und Temperatur in ein Verhältnis. Über

$$A = (36,5 - T) * (0,26 + 0,34 * V^{0,622})$$

lässt sich die Abkühlungsgröße in mcal/cm²s berechnen. Diese Größe gibt den Unterschied zwischen der Temperatur eines normalen Thermometers und dem subjektiven Wärmeempfinden an (STEINHÄUSSER 1979).

2.4 Parameter zur Beurteilung der Belastung beim Schwein

2.4.1 Die Körpertemperatur als Belastungsindikator beim Schwein

Die physiologische Regulation der Innentemperatur des Körpers, der sog. Kerntemperatur, erfolgt über einen Abgleich zwischen Istwert und Sollwert (JESSEN 2000). Faktoren mit Einfluss auf die Wärmeproduktion des Tieres und damit auch auf die Körpertemperatur sind unter anderem physische Aktivität und Stressbelastung (LAMBOOIJ 2000). Da physische und/oder psychische Belastungen die Körpertemperatur relativ schnell ansteigen lassen (MONIN et al. 1995), wird die Körpertemperatur als physiologischer Parameter zur Einschätzung von Belastungen herangezogen (AUGUSTINI 1976; GEERS et al. 1992; SCHÜTTE et al. 1995).

Die mittlere Körpertemperatur eines Schweins wird von SCHEUNERT (1957) mit 39,5 °C und einem Schwankungsbereich von 38 bis 40 °C angegeben. AUGUSTINI (1976) gibt die durchschnittliche Körpertemperatur von Schweinen mit einem Gewicht von 90-110 kg mit 39 °C an. Auf dem Transport von Schweinen kommt es im Allgemeinen zu einer Erhöhung der Körpertemperatur um 1 °C (BROOM 1995). Von GEERS et al. (1997) wird die Rektaltemperatur von Sauen mit 38,5 °C $\pm$ 0,5 °C angegeben. Die Autoren stellen bei einem Transport von 20 kg schweren Schweinen fest, dass die Ohrtemperatur, die vor dem Transport bei 36,9 bis 37,8 °C lag, auf 37,6 bis 38,3 °C ansteigt.

2.4.2 Die Herzfrequenz als Belastungsindikator beim Schwein

Ein zentraler Parameter zur Untersuchung von motorischen und emotionalen Belastungen bei Tieren ist die Herzfrequenz (PAUL 2001; MANTECA 2008). BROOM (2000) sieht die Herzfrequenz vor allem für kurzfristige Belastungen, wie sie beim Handling, Beladen eines Fahrzeugs und während des Transports auftreten, als einen sinnvollen Indikator für das Wohlbefinden der Tiere an.

Als Herzfrequenz werden die Herzschläge pro Minute bezeichnet. Sie ist vor allem von der Tierart und der Größe der Tiere abhängig (SCHEUNERT et al. 1957). Außerdem spielen Geschlecht, Alter und Trächtigkeitsstadium eine Rolle, aber auch Arbeitsleistung (motorische Aktivität) oder andere Stoffwechselsteigerungen führen zu Änderungen der Herzfrequenz (SCHEUNERT et al. 1957; BROOM 1994; PAUL 2001). So steigt motorisch bedingt die Herzfrequenz des Einzeltieres beim Erklimmen steiler Rampen oder beim Einsatz elektrischer Treibhilfen. Auch eine rein emotionale Belastung wird durch eine Erhöhung der Herzfrequenz angezeigt, wenn Schweine z. B. den Blickkontakt zueinander verlieren (GROTH 1987; FIKUART et al. 1995). Mit der höheren Arbeitsfrequenz des Herzens wird vermehrt Sauerstoff an den Ort des Verbrauchs (Gehirn und Muskulatur) transportiert und die vermehrt anfallenden Stoffwechselprodukte werden schneller abtransportiert (SCHÜTZ 1975).

Der Ruhewert für die Herzfrequenz eines ausgewachsenen Schweins wird von SCHEUNERT et al. (1957) mit 60 bis 80 Schlägen/Minute angegeben. STEFFENS (1999) fasst den Ruhewertbereich etwas weiter und beziffert ihn mit 65 bis 90 Schlägen/Minute. LOEFFLER (2002) nennt 80 bis 100 Schläge/Minute als mittlere Herzfrequenz für Schweine. AUGUSTINI (1976) gibt 93 Schläge/Minute als mittleren Normalwert für weibliche Schweine im Stall mit einem Gewicht von 90 bis 110 kg an und 99 Schläge/Minute für männliche Tiere. FIKUART et al. (1995) berichten, dass dieser Wert sich in Belastungssituationen um ein Vielfaches erhöhen kann. Auch STEFFENS (1999) berichtet z. B. von einer Herzfrequenz von 146 Schlägen/Minute während der Ausübung von Erkundungsverhalten in einer neuen Umgebung ohne Anwesenheit von Artgenossen. Nach einer Stunde erfolgte eine Absenkung auf im Mittel 129 Schläge/Minute.

2.4.3 Blutgetragene Belastungsindikatoren

2.4.3.1 Energiestoffwechsel

Jeder Organismus ist auf die ständige Zufuhr von Energie angewiesen (PENZLIN 2005). Selbst im Ruhezustand wird Energie benötigt, z. B. von den Muskeln, die sich stets in einem geringen Kontraktionszustand befinden (LOEFFLER 2002). Die benötigte Energie bezieht die Mus-

kulatur dabei aus der Spaltung organischer Phosphate (WITTKE UND PFEFFER 1984). Letztlich liefert neben der Spaltung von Kreatinphosphat für kurzzeitige Höchstleistungen vor allem die Glykolyse die notwendige Energie (BICKHARDT 1992; GREGORY 1996). Hierbei handelt es sich um die Abspaltung eines Phosphatrestes vom ATP (Adenosintriphosphat) zu ADP (Adenosindiphosphat) in der Muskelzelle (LOEFFLER 2002).

Die Glykolyse umfasst eine Folge von insgesamt neun Reaktionsschritten, wobei jeder Schritt durch ein besonderes Enzym katalysiert wird (PENZLIN 2005). Als Ausgangsstoff für die Glykolyse benötigt der Organismus **Glukose**, die somit das wichtigste Kohlenhydrat für die Erhaltung der Homöostase und der Lebensfunktionen darstellt (SCHEUNERT 1957; BICKHARDT 1992). Quellen für Glukose sind die Zuckerresorption im Dünndarm, die Glykogenolyse in der Leber und den Muskeln sowie die Glukoneogenese aus Eiweiß und Fett, die vorwiegend in der Leber stattfindet (PENZLIN 2005). Abgebaut wird die Glukose in der Glykolyse in Muskeln und Nerven, in der Glykogensynthese in Leber und Muskeln und bei der Fettbildung, die vorwiegend in der Leber stattfindet (PENZLIN 2005).

Änderungen in der Plasmakonzentration der Glukose ergeben sich unter anderem infolge eines erhöhten Verbrauchs bei gesteigerten Stoffwechselanforderungen (BÜNGER et al. 1974). Wird z. B. zur Erhaltung der Balance beim Transport oder bei Rangkämpfen viel Muskularbeit verrichtet, ist dies als Störgröße für die Homöostase der Glukosekonzentration aufzufassen (BICKHARDT 1992). Kommt es nun zu einem vorübergehenden Abfall der Plasmaglukosekonzentration, so werden Glykogenspaltung und Glukoneogenese in der Leber stimuliert und die Lipolyse im Fettgewebe aktiviert. Dies führt zum einen zu einem raschen Anstieg der Glukosekonzentration im Blutplasma, zum anderen wird durch den Einsatz von Fettsäuren als energieliefernde Substrate Glukose eingespart (BICKHARDT 1992). Bei schwerer körperlicher oder auch emotionaler Belastung können durch hormonelle Einwirkung von Adrenalin und Cortisol die Glykogenolyse, Glukoneogenese und Lipolyse aktiviert sein. In diesem Fall übertrifft die Glukosebereitstellung den Bedarf, und es resultiert eine milde Hyperglykämie.

Beim Schwein liegt der Blutglukosegehalt bei 60 bis 90 mg/dl (3,33 bis 4,995 mmol/l), zudem ist er unmittelbar nach der Nahrungsaufnahme höher als in den Zeiträumen zwischen den Mahlzeiten (LOEFFLER 2002). Von BÜNGER et al. (1975a) wird der mittlere Glukosegehalt im Plasma bei standardisierter Laufaktivität im Winter mit 72 mg/100 ml angegeben (3,996 mmol/l). STEINHARDT et al. (1977) geben den Glukosewert bei Fixation mittels Nasenschlinge in der Bucht mit 73,06 mg/100 ml (4,95 mmol/l) an und mit 50,87 mg/100 ml (2,82 mmol/l)

nach einem Transport über 60 bis 70 Minuten mit anschließender Ruhepause von 10 bis 100 Minuten. Bei den Versuchen von BÜNGER (1974) lagen die Glukosewerte bei Belastung der verschiedenen Versuchstiere zwischen 44,3 und 119,1 mg/100 ml (2,46 bis 6,61 mmol/l). STEINHARDT et al. (1974) führen bei Versuchen mit Schweinen auf einem Laufband an, dass bei Arbeitsbeginn zunächst ein Absinken der Plasmaglukosekonzentration zu beobachten ist, die dann aber während der Laufaktivität wieder ansteigt. Die Anfangswerte wurden in diesem Versuch 20 Minuten nach Belastungsende noch nicht wieder erreicht. Laut BICKHARDT (1992) ist eine Glukosekonzentration im Blutplasma von Schweinen von 4 bis 6,4 mmol/l (72,06 bis 115,30 mg/dl) als Referenzwert anzusehen. Eine hohe Glukosekonzentration kann unter anderem als Anzeichen für Stressbelastung gewertet werden, wohingegen eine verringerte Konzentration zum Beispiel auf eine Nahrungskarenz hinweisen kann. LINDNER (1998) beobachtete bei Untersuchungen zur Belastungsreaktion von Schweinen auf dem Transport einen Abfall des Glukosespiegels im Blut der Tiere nachdem dieser während der Verladung von 4,71 auf 5,50 mmol/l angestiegen war.

Der Abbau von Kohlenhydraten zu **Laktat** (Milchsäure) stellt eine Sackgasse des Energiestoffwechsels dar. Entstehen bei ausreichend Sauerstoff aus Glukose noch ATP, Wasser und Kohlendioxid, so ergeben sich bei ungewohnten Belastungen und in der Initialphase von Muskelarbeit unterhalb der Dauerleistungsgrenze, wenn im Skelettmuskel anaerobe Bedingungen vorherrschen, ATP und Milchsäure. Anfallendes Laktat muss unter erhöhtem Sauerstoffverbrauch in der auf eine Belastung folgenden Ruhephase in Leber und Herz abgebaut werden (KIRSCH 1996).

Ungewohnte Belastungen, die einen verstärkten anaeroben Abbau der Muskelglukose bedingen, sind beim Schwein zum Beispiel der Deckakt und Geburten (PLONAIT UND BICKHARDT 1988), der Transport (BECKER et al. 1989), Rangordnungskämpfe (WARRIS UND BROWN 1985; BARTON GADE 1997) und die mit der Schlachtung in Zusammenhang stehenden Vorgänge (VAN DER WAL 1985; TROEGER 1990). Somit wird Laktat im Plasma beim Schwein hauptsächlich als ein Indikator für motorische Belastungen angesehen (BROOM 1996; GRANDIN 1997).

BÜNGER et al. (1975b) geben einen Anstieg der Milchsäure bei motorischer Belastung von 1,152 auf 2,463 mmol/l für gesunde Kontrolltiere und einen Anstieg von 1,652 auf 8,478 mmol/l für anämische Versuchstiere an. Der Maximalwert der Milchsäurekonzentration wurde hier 10 Minuten nach der Belastung erreicht. STEINHARDT et al. (1977) geben für die

Fixation mittels Nasenschlinge in der Bucht einen Laktatwert von 7,86 mmol/l an, nach einem 60- bis 70-minütigen Transport mit anschließender Ruhepause von 10 bis 100 Minuten werden hier Laktatwerte von 10,93 mmol/l angegeben. Eine erhöhte Laktatkonzentration im Blutplasma spiegelt laut BICKHARDT (1992) eine länger anhaltende metabolische Wirkung von Stressbelastungen auf die Muskulatur wider (anaerobe Glykolyse). Als Richtwert für Schweine werden von ihm 0,5 bis 11 mmol/l angegeben. Nach KRAFT UND DÜRR (2005) lässt eine hohe Laktatkonzentration eine vorübergehende Belastung erkennen.

2.4.3.2 Flüssigkeitshaushalt

Der Säugetierorganismus besteht zu 70 bis 80 % aus Wasser. Es ist für ihn als Träger der humoralen Lebensfunktionen überlebenswichtig. Durch Austrocknung kommen alle Körperfunktionen zum Erliegen (WITTKKE 1972; LOEFFLER 2002). Wasser wird dem Organismus über Trinkwasser, mit der Nahrung und durch interne Wasserbildung bei der Verbrennung von Fetten, Eiweißen und Kohlehydraten zur Verfügung gestellt. Verluste treten über den Kot- und Harnabsatz sowie durch die Atmung und Transpiration auf (LOEFFLER 2002). Als Maßstab für den Hydrationsstatus des Organismus werden die Parameter Hämatokrit, Proteinkonzentration und Natrium genutzt (BICKHARDT 1992).

Der **Hämatokritwert** gibt Aufschluss über das Volumenverhältnis vom Plasma zu den korpuskulären Bestandteilen des Blutes, deren größten Anteil die Erythrozyten ausmachen (LÖSCH et al. 2000; LOEFFLER 2002). Der Hämatokritwert steigt durch Blutplasma- und damit Flüssigkeitsverlust im Organismus an, der durch andauerndes Erbrechen, Durchfall oder auch Wassermangel verursacht sein kann. Aber auch durch größere Blutverluste oder Bildungsstörungen der Blutkörperchen kann der Hämatokrit ansteigen (LOEFFLER 2002; LANG UND LANG 2007). Neben der Information zum Hydrationsstatus des untersuchten Tieres gibt der Hämatokrit auch Auskunft über eine vorangegangene Stressbelastung des Probanden. Unter Stress kommt es durch die so genannte Milzentspeicherung mit einer Erythrozytenfreisetzung zu einem erhöhten Hämatokrit im Blut (BICKHARDT 1992). Beim Schwein liegt der mittlere Hämatokritwert laut LOEFFLER (2002) bei 41,5 %. STEINHARDT et al. (1977) geben bei der Fixation des Tieres in der Bucht mittels Nasenschlinge einen durchschnittlichen Belastungs-Hämatokritwert von 48,36 % an. LÖSCH et al. (2000) geben für das Schwein einen Hämato-

kritwert von 0,33 – 0,45 l/l (entspricht 33 bis 45 %) an und auch bei KRAFT UND DÜRR (2005) wird ein Referenzwert von 33 bis 45 % genannt.

Eine zentrale Aufgabe der **Plasmaproteine**, zu denen vor allem Albumine, Globuline und Fibrinogen zu zählen sind, liegt in der Aufrechterhaltung des kolloidosmotischen Drucks des Blutes. Hierdurch wird der Rücktritt der Interzellularflüssigkeit in den venösen Schenkel der Kapillargefäße gegen den Blutdruck ermöglicht und aufrechterhalten (BICKHARDT 1992; LOEFFLER 2000). Für die Plasmaproteine besteht eine Homöostase, die von Leber und lymphatischem Gewebe geregelt wird (BICKHARDT 1992). Eine Erhöhung des Gesamtproteingehaltes im Blut weist unter anderem auf Entzündungen oder auf eine Dehydration als Folge von Wassermangel oder einer Durchfallerkrankung hin. Eine Absenkung ist hingegen unter anderem auf Unter- oder Fehlernährung oder exzessive Flüssigkeitszufuhr zurückzuführen (KRAFT UND DÜRR 2005). Als Referenzbereich werden beim Schwein Plasmaproteinkonzentrationen bis zu 86 g/l angegeben (BICKHARDT 1992). Eine parallele Erhöhung von Hämatokrit und Protein ist als ein Anzeichen für eine Dehydration zu werten. Ein Absinken beider Parameter zeigt eine Hyperhydration an (BICKHARDT 1992).

Den Hauptanteil am Gesamtprotein im Blut stellen die Albumine (KOLB 1974). Daher eignet sich diese Untergruppe der Proteine zu Rückschlüssen auf den Hydrationsstatus bei Tieren. Der Organismus nutzt Albumine vor allem zur Bildung organspezifischer Proteine (LOEFFLER 2002). Ihr Anteil sinkt zum Beispiel bei langen Hungerzuständen oder bei Hyperhydration, er steigt dagegen bei Dehydration, akuten Entzündungen und akuten Infektionskrankheiten (KRAFT UND DÜRR 2005). Beim Schwein wird der Gehalt an Albumin mit 18 – 31 g/l angegeben, wobei eine ausgeprägte Altersabhängigkeit besteht (BICKHARDT 1992; KRAFT UND DÜRR 2005).

Natrium wird ebenfalls als ein Indikator für die Versorgungslage der Tiere angesehen, denn der Elektrolythaushalt - und hier insbesondere Natrium, Kalium und die Chloride - stehen in enger Verbindung zum Wasserhaushalt (KRAFT UND DÜRR 2005). Natrium ist unter anderem wichtig als Indikator für das Plasmavolumen (LANG UND LANG 2007; BICKHARDT 1992). Für einen konstanten Bestand an Körperwasser ist ein Gleichgewicht zwischen Wasseraufnahme bzw. -produktion auf der einen sowie Ausscheidung und latenter Wärmeabgabe (Evaporation) auf der anderen Seite erforderlich. Ist dieses Gleichgewicht in Richtung der Wasserabgabe verschoben, wird die Ausschüttung des Antidiuretischen Hormones (ADH) stimuliert und die renale Ausscheidung von Wasser herabgesetzt. Damit sinkt auch die Natriumausscheidung,

und die Natriumkonzentration im Plasma steigt. Durch den hierdurch hervorgerufenen osmotischen Druck steigt in der Folge auch das Plasmavolumen an. Somit ermöglicht auch die Bestimmung der Natriumkonzentration im Blut einen Rückschluss auf den Flüssigkeitshaushalt der Tiere. Als Referenzwerte werden hier 140 bis 160 mmol/l genannt (BICKHARDT 1992; KRAFT UND DÜRR 2005).

2.4.3.3 Allgemeine und physische Belastung

Die Ausschüttung von Corticosteroiden wie dem **Cortisol** aus der Nebennierenrinde bildet den letzten Schritt einer neuroendokrinen Kaskade der Hypothalamus-Hypophysen-Achse (HHA). Dem Parameter Cortisol kommt somit auch ein Aussagewert hinsichtlich einer emotionalen Beteiligung in der Belastungsreaktion zu, womit er als ein genereller Parameter der Stressbelastung angesehen wird (LADEWIG 1994; LOEFFLER 2002). Bei akuter oder auch chronischer physischer oder psychischer Belastung vermitteln Glukokortikoide die Mobilisierung von Körperreserven für die Adaptation an die Belastungssituation (LANG UND LANG 2007). Bei der Verwendung des Cortisolblutspiegels als Belastungsparameter ergeben sich jedoch nicht immer überzeugende Korrelationen zwischen den vermutlichen Belastungen und der Höhe der Cortisolkonzentration. GRANDIN (1997) merkt an, dass Cortisol eine Ausschüttungslatenz von 10 bis 20 Minuten nach Eintreffen der Belastung aufweist, d. h. dass der Höchstwert erst verzögert erreicht wird. Bei ungeeigneter Wahl des Blutentahmezeitpunktes besteht somit die Gefahr einer falsch-negativen Aussage bezüglich der Auswirkung einer Belastungssituation.

BREINEKOVA et al. (2007) fanden beim Transport von Schweinen einen signifikanten Anstieg des Plasmacortisols von $273,54 \pm 66,17$ nmol/l auf $355,69 \pm 89,13$ nmol/l. LINDNER (1998) stellte bei Untersuchungen zur Belastung von Mastschweinen beim Transport einen Ausgangswert von 28 bis 68 nmol/l im Blut der Tiere fest. Während des Transportes stieg der Cortisolspiegel an, um dann nach einer Plateauphase wieder zu sinken, ein signifikanter Abfall ergab sich hierbei erst ab der zweiten bis zur vierten Fahrtstunde. Nach dem Transport lagen die Cortisolwerte der Untersuchungstiere noch signifikant höher als die Ausgangswerte. Bei ähnlichen Untersuchungen wurde von STEFFENS (1999) nach dem Transport maximale Blutplasmakonzentrationen von 186 bzw. 253 ng/ml als Maximalwerte und 20 bis 90 ng/ml

als Minimalwerte je nach Rasse für den Cortisolgehalt angegeben. Nach dem Transport ergab sich im Mittel der untersuchten Rassen ein Anstieg im Blutcortisolgehalt um bis zu 30 % im Vergleich zum jeweiligen Ausgangswert.

Neben Cortisol wird auch die **Kreatinkinase (CK)** als Parameter zur Beurteilung der Belastung herangezogen. CK ist ein Enzym, das die reversible Phosphorylierung von Kreatin zu Kreatinphosphat katalysiert (KRAFT UND DÜRR 2005). Kreatinphosphat gilt als die wichtigste Speicherform der hochenergetischen Phosphate im Zytosol der quergestreiften Muskulatur (BICKHARDT 1992). Unter physiologischen Bedingungen findet sich CK nur aufgrund der natürlichen Zellerneuerung im Blut. Wenn aber Situationen wie mangelnde Sauerstoffversorgung, motorische Überbeanspruchung oder Lähmungen auftreten, können Störungen im Zell- und Gewebsstoffwechsel auftreten und die Funktionen der Zellmembranen gestört werden (BICKHARDT 1992). So gelangt die CK ins Blut, wo es eine Halbwertszeit von 1,5 bis 3 Stunden aufweist. KRAFT UND DÜRR (2005) dagegen sprechen beim Schwein von einer Halbwertszeit von 4 Stunden. SKOLL et al. (1998) merken an, dass die CK beim Menschen innerhalb von 5 Minuten nach Beendigung eines Marathons ansteigt und zelluläre Verletzungen anzeigt.

GRANDIN (1997) führt die CK als einen nützlichen Parameter zur Bewertung von „Handling-Stress“ bei Schweinen an. Bei ihren Untersuchungen korrelierte der von Schweinen durch Lautäußerungen verursachte Geräuschpegel im Wartestall eines kommerziellen Schlachthofes stark mit der Plasmakreatinkinaseaktivität der Tiere. KRAFT UND DÜRR (2005) geben beim Schwein einen Referenzbereich von bis zu 2000 U/l an, verweisen aber darauf, dass die Referenzwerte stark laborabhängig sind und die Referenzwerte des untersuchenden Labors zugrunde gelegt werden sollten. Von der Klinik für kleine Klauentiere der Tierärztlichen Hochschule Hannover wird ein Normbereich der Enzymaktivität von 50 bis 999 U/l angegeben (STIFTUNG TIERÄRZTLICHE HOCHSCHULE 2010).

Zur Abklärung von Muskelschäden, wie sie bei einer Überbeanspruchung entstehen können, wird auch die **Aspartat-Aminotransferase (ASAT)** herangezogen. Die Plasmaaktivität dieses Enzyms nimmt vor allem bei Muskelschäden zu, daher gilt es als guter Indikator für motorische Belastungen. Als Referenzwert gelten bis zu 35 U/l mit einer starken Abhängigkeit von Rasse, Alter und Reproduktionsstatus (KRAFT UND DÜRR 2005). BICKHARDT (1992) gibt als Referenzwert 8 bis 25 U/l und eine Halbwertszeit von vier Stunden beim Schwein an. LINDNER (1998) fand beim Schwein mittels Verweilkathetern einen Ruhewert für die ASAT-

Aktivität von 858 ± 92 bis hin zu 604 ± 38 U/l, wobei er einen signifikanten Unterschied zwischen Tag und Nacht feststellte.

Beim Schwein kann das **Verhältnis von CK zu ASAT** zur Unterscheidung zwischen belastungs- und ernährungsbedingten Myopathien einerseits und Muskelrissen und Leberzellendegeneration andererseits genutzt werden (KRAFT UND DÜRR 2005). Die CK liegt zu etwa gleichen Teilen in den roten und den weißen Muskelfasern vor, ASAT hingegen vorwiegend in den roten. Beträgt das Verhältnis der beiden Muskelenzyme weniger als 50, liegt vor allem eine Schädigung der roten, bei einem Verhältnis von über 100 der weißen Muskelfasern vor (KRAFT UND DÜRR 2005). Bei Leberzelldegeneration liegt der CK/ASAT-Quotient meist unter 20 (KRAFT UND DÜRR 2005).

Ein weiteres als Belastungsindikator nutzbares Enzym ist die **Laktatdehydrogenase (LDH)** (BICKHARDT 1992; KRAFT UND DÜRR 2005). Dieses Enzym ist gewebsunspezifisch und weist bei Entzündungsreaktionen sowie bei degenerativen Prozessen eine erhöhte Aktivität auf (KRAFT UND DÜRR 2005). Als Referenzwerte werden hier 0 bis 1,2 U/l angegeben (BICKHARDT 1992). GERBER (1984) fand bei Untersuchungen zum Schweinetransport eine unterschiedliche Reaktion der Enzymaktivität zwischen den verschiedenen Transportgruppen, insgesamt jedoch eine Erhöhung nach dem Transport. Im Mittel aller Tiere wurden hier 718 U/l vor dem Transport und 991 U/l nach dem Transport gemessen.

3 Material und Methoden

3.1 Ort und Zeit der untersuchten Transporte

Es wurden 14 kommerzielle Ferntransporte untersucht. Für eine hohe Vergleichbarkeit der Beförderungen untereinander sollten diese auf einer möglichst ähnlichen Strecke durchgeführt werden. Dabei sollte mindestens das Kriterium einer langen Beförderung vorliegen, d.h. zwischen der Bewegung des ersten Tieres beim Aufladen bis zum Abladen des letzten Tieres liegen mehr als acht Stunden. Zur Bewertung der Untersuchungen über einen weiten Temperaturbereich wurden die Transporte über das gesamte Jahr verteilt durchgeführt mit besonderem Augenmerk auf Temperaturextreme (hohe und niedrige Temperaturen). Aufgrund einer Verschiebung der Preislage auf dem europäischen Schweinemarkt konnten nicht alle Transporte zum gleichen Zielort durchgeführt werden. Es ergaben sich insgesamt drei Ziele, die Fahrt zu den drei Zielen wurde aber (falls nötig) immer auf eine ähnliche Transportlänge ausgeweitet. Tabelle 3 fasst die durchgeführten Transporte mit Verladedatum und Transportdauer sowie Zielort und Fahrerregelung zusammen.

Tab. 3: Zusammenfassung der Transporte unter Angabe von Transportnummer, Verladedatum, Beförderungsdauer in Stunden, Fahrerregelung und Zielnummer (1 = Kiskunfelegyhaza, Ungarn; 2 und 3 = Deutschland inklusive Rundkurs zur Verlängerung)

Transport	Datum	Dauer (h)	Fahrerregelung	Ziel
ST01	18.02.2009	24	2-Fahrer-Regelung	2
ST02	29.04.2009	25	2-Fahrer-Regelung	1
ST03	04.06.2009	25	2-Fahrer-Regelung	1
ST04	08.07.2009	26	2-Fahrer-Regelung	1
ST05	17.08.2009	24	2-Fahrer-Regelung	1
ST06	31.08.2009	25	2-Fahrer-Regelung	1
ST07	13.01.2010	30	1-Fahrer-Regelung + Fahrertausch	2
ST08	03.02.2010	28	1-Fahrer-Regelung + Fahrertausch	2
ST09	10.02.2010	27	1-Fahrer-Regelung + Fahrertausch	2
ST10	03.03.2010	26	1-Fahrer-Regelung + Fahrertausch	2
ST11	10.03.2010	27	1-Fahrer-Regelung + Fahrertausch	2
ST12	24.03.2010	27	1-Fahrer-Regelung + Fahrertausch	2
ST13	04.08.2010	26	1-Fahrer-Regelung + Fahrertausch	3
ST14	11.08.2010	25,5	1-Fahrer-Regelung + Fahrertausch	3

3.2 Untersuchte Tiere

Pro Transport wurden 190 Schweine befördert, wobei männliche Kastraten und weibliche Schlachtschweine zu etwa gleichen Teilen einbezogen wurden. Die Tiere waren Drei-Rassen-Kreuzungen ((Landrasse x Yorkshire) x Duroc). Sämtliche Schweine des Versuches entstammen demselben Mastbetrieb, wurden jedoch für die Transporte aus verschiedenen Abteilen eines Stalles zusammengestellt. Zur Untersuchung der Belastungsreaktionen wurden pro Transport bei 16 Tieren Blutproben entnommen sowie Herzfrequenz- und Körpertemperaturmessungen durchgeführt. Da die Messung der Körpertemperatur intravaginal erfolgte, konnten ausschließlich weibliche Tiere für die physiologischen Untersuchungen herangezogen werden. Diese Tiere wurden zufällig in Gruppen zu jeweils vier Tieren auf die Untersuchungsbuchten im Fahrzeug (Bucht 1 bis 4, siehe Abbildung 3) verteilt.

3.3 Untersuchungsfahrzeug

Bei dem für die Untersuchungen genutzten Transportfahrzeug handelte es sich um einen Sattelaufleger mit drei Ladeetagen, von denen die beiden oberen hydraulisch angehoben und abgesenkt werden können. Die Tiere betreten den jeweiligen Boden über eine Laderampe, wobei der oberste Boden zuerst beladen und anschließend hochgefahren wird. Jeder Boden ist durch Schwenktüren in 5 Buchten aufgeteilt (pro Ladeetage 5 Buchten, insgesamt 15 Buchten im Fahrzeug). Räumlich abgegrenzt werden die einzelnen Buchten durch Aluminiumtüren, die nahezu vollständig geschlossen sind und nur im oberen Viertel über eine Aussparung verfügen, über die Luft von einer Bucht in die nächste strömen kann. Die Abmessungen der verschiedenen Böden sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tab. 4: Abmessungen der Böden im Schweinetransporter

Boden	Höhe (m)	Breite (m)	Länge (m)	Fläche (m ²)
Oben	0,88	2,35	13,44	31,60
Mitte	0,90	2,40	13,46	32,30
Unten	0,90	2,45	13,47	33,00

Auf dem oberen Boden wurden 12 Schweine pro Bucht, auf den beiden darunterliegenden Böden jeweils 13 Schweine pro Bucht geladen. Grund für diese Aufteilung war zum einen die geringere Fläche des oberen Ladedecks, zum anderen sollte der Schwerpunkt des Transportfahrzeugs nicht im oberen Bereich liegen. Hieraus ergaben sich die in Tabelle 5 dargestellten Ladedichten.

Tab. 5: Ladedichte dargestellt als Anzahl Tiere/m² und Fläche in m²/Tier

	Ladedichte (Tiere/m ²)	Ladedichte (m ² /Tier)	Anzahl Tiere
Oberer Boden	1,90	0,53	60
Mittlerer Boden	2,01	0,50	65
Unterer Boden	1,97	0,51	65
LKW gesamt	1,96	0,51	190

Die Einstreu der drei Ladeetagen erfolgte vor dem Beladen des Fahrzeugs mit Sägespänen, die gleichmäßig über den gesamten Boden verteilt wurden. Die auf dem Fahrzeug befindlichen Tränkeeinrichtungen befanden sich auf der rechten Fahrzeugseite. Es handelte sich hierbei um zwei Sprühnippel je Bucht, die über vier Tanks zu je 200 l versorgt wurden (2 Nippel pro Bucht bei insgesamt 15 Buchten, insgesamt 30 Nippel im Fahrzeug). Auf der linken Seite des Sattelauflegers waren 15 Axialventilatoren (5 Ventilatoren pro Boden) in die Seitenwand eingebaut. Diese dienten der Ventilation des Innenraums und verfügten über eine Gruppenschaltung, so dass die Ventilatoren eines jeden Bodens gesondert an- und abzuschalten waren.

3.4 Datenerhebung

3.4.1 Blutuntersuchungen

Bei jedem begleiteten Transport wurde bei 16 Versuchstieren Blut aus der *Vena cava cranialis* per Venenpunktion entnommen. Diese Blutentnahmen erfolgten, während die Tiere mittels Oberkieferschlinge fixiert wurden (BAUMGARTNER 2005). Die erste Blutentnahme (A) erfolgte bevor andere Manipulationen an den Tieren oder ihrer Umgebung vorgenommen wurden. Die zweite Entnahme (B) erfolgte unmittelbar vor dem Verladen. Am Zielort wurde je eine

Blutprobe (C) unmittelbar nach dem Abladen und nach einer Pause von mehreren Stunden (D) entnommen.

Die Blutnahme erfolgte in 9 ml Monovetten mit Kalium (K)-Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) als Gerinnungshemmer (S-Monovette® 9 ml, 92 x 16 mm, mit 1,6 mg EDTA/ml Blut; Sarstedt AG & Co., Nümbrecht). Nach der Entnahme wurde die Blutprobe unmittelbar auf Eis gekühlt aufbewahrt bis der Hämatokrit in einer Doppelbestimmung ermittelt wurde. Hierfür wurden zwei Mikro-Hämatokrit-Kapillaren mit Blut gefüllt (Mikro-Hämatokrit-Kapillaren, $d = 1,15 \pm 0,05$ mm, ISO 12772) und mit Mikrohämatokrit-Versiegelungswachs (beides Firma Brand GmbH + Co KG, Wertheim) verschlossen. Die Kapillaren wurden für fünf Minuten bei 13000 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert bevor mit Hilfe einer Hämatokrit-Ableseharfe mit Prozenteinteilung der Hämatokritwert bestimmt wurde.

Nach dieser Bestimmung wurde das verbleibende Blut bei 4000 Umdrehungen pro Minute für 10 Minuten zentrifugiert und anschließend jeweils 1 ml Plasma in 1,5 ml-Reaktionsgefäße (Firma Roth, Karlsruhe) pipettiert. Diese wurden zunächst bis zum Abschluss der Arbeiten auf Eis gelagert und dann in flüssigem Stickstoff eingefroren. Die Analyse dieser Plasmaproben erfolgte in der Klinik für kleine Klautiere der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover mittels eines Analyseautomaten COBAS®-Mira S (Firma Hoffmann-LaRoche, Basel). Folgende Parameter wurden auf diese Weise bestimmt: Gesamtprotein, Kreatinkinase (CK), Aspartat-Aminotransferase (ASAT), Glukose, L-Laktat, Albumin, und Laktatdehydrogenase (LDH). Der Parameter Natrium wurde am Flammenphotometer bestimmt. Im Labor des Friedrich-Loeffler-Instituts Celle wurde der Cortisolgehalt der Plasmaproben mittels Enzyme-linked Immunosorbent Assay (ELISA) bestimmt (Cortisol ELISA RE52611 und RE52061, IBL International GmbH, Hamburg).

3.4.2 Herzfrequenzmessungen

Die Bestimmung und kontinuierliche Aufzeichnung der Herzfrequenz der Tiere vor, während und nach dem Transport erfolgte nicht-invasiv mittels Herzfrequenzsensoren (Polar T31) und –loggern (Polar Accurex Plus™, beides Firma Polar® Electro Oy, Kempele, Finnland). Die Sensoren bestehen jeweils aus zwei ovalen Kontaktelektroden und einem Sender, der die nach dem EKG-Prinzip erfassten Messsignale telemetrisch und frequenzmoduliert an einen Emp-

fänger überträgt. Die eingehenden Messimpulse werden im Intervall von 60 Sekunden vom Empfänger gespeichert. Die beiden Kontaktelektroden haben eine Fläche von circa 7,7 x 1,5 cm mit einem Abstand von 10 cm zueinander. Die Sensoren wurden mittels Knöpfen an einem gekürzten elastischen Pferdedeckengurt befestigt. Der Empfänger wurde in einer aufgenähten Tasche an diesem Gurt untergebracht. Um die Uhr zusätzlich vor dem Zerkauen durch die Schweine zu schützen, wurde sie zusätzlich durch ein mit Klebeband verschlossenes Metallgehäuse in der Tasche geschützt. Die Sensoren wurden bei den Schweinen entsprechend der Anbringung beim Menschen um den Brustkorb gelegt. Sie wurden allerdings nicht ganz mittig auf dem Brustkorb platziert, sondern geringgradig zur linken Körperseite verzogen. Zur Verbesserung des Kontaktes zwischen Sensor und Haut wurden die Sensoren im Bereich der Elektroden mit Elektrodengel (Signa Gel[®], Firma Parker Laboratories Inc., Fairfield, New Jersey) bestrichen.

Da Schweine von Natur aus sehr neugierig sind, waren die Sensorgurte durch einen zusätzlichen Übergurt zu schützen. Diese Übergurte bestanden aus hautfarbenem Bandagenbreitgummi von ca. 30 cm Breite und wurden mittels Klettverschluss befestigt. Um das gegenseitige Abreißen der Gurte zu verhindern, wurden die Gurte zusätzlich mit Sattlerzwirn zugenäht. Zur Befestigung der Gurte mussten die Tiere erneut mittels Oberkieferschlinge fixiert werden.

3.4.3 Körpertemperaturmessungen

Die Körpertemperaturmessung erfolgte mittels intravaginal applizierter Sensoren, so genannter I-Buttons[®] (Firma Maxim, Dallas). Der verwendete I-Button[®] (DS1921H-F5) hatte einen Messbereich von +15 bis +46 °C mit einer Auflösung von 0,125 °C und einer vom Hersteller angegebenen Messabweichung von ± 1 °C (die sich bei Vorversuchen im Wasserbad nicht bestätigte).

Der I-Button[®] speichert die Körpertemperatur in einem Zwei-Minuten-Intervall. Vor der Applikation wurde die Scheide des Schweins mit einem Tuch trocken gereinigt und der Temperaturlogger mit einer verdünnten Vet-Sept[®]-Lösung (2%ig) (Firma Albrecht GmbH, Aulendorf) desinfiziert. Die Applikation erfolgte unter Einsatz einer modifizierten 20 ml Spritze, die am vorderen Ende aufgeschnitten und mit Gleitgel versehen wurde. Zur intravaginalen Fixierung des I-Button[®] wurde dieser an einem O-Ring befestigt (Gummi, Stärke 0,5 cm,

Durchmesser 6 cm). In der Scheide der Tiere entfaltete sich der O-Ring zu seiner normalen Form und fixierte so den Temperaturlogger.

3.4.4 Klimauntersuchungen

Zur Bestimmung des Außenklimas wurden die Temperatur und Luftfeuchte außerhalb des LKW im vorderen und hinteren Fahrzeugbereich gemessen. Die Messung erfolgte im hinteren Bereich des Fahrzeugs mittels kapazitivem Feuchte- (FH 9108-15, Rösler + CIE Instruments GmbH) und Temperatursensors (Pt 100, Rösler + CIE Instruments GmbH). Der Messbereich des Feuchtesensors liegt bei 0 bis 100% relativer Luftfeuchte mit einer Messgenauigkeit von $\pm 2 \%$ bei einer Nenntemperatur von $25 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Für den Temperatursensor wird firmenseitig ein Messbereich von -40 bis $+125 \text{ }^{\circ}\text{C}$ mit einem Temperaturfehler von $\pm 0,3 \text{ }^{\circ}\text{C} + 0,005 \text{ T}$ angegeben. Beide Sensoren wurden mittels eines Allwetter- und Strahlenschutzgehäuses (ZB 161 für FH 9108-15, Rösler + CIE Instruments GmbH) vor Niederschlag und Sonnenstrahlung geschützt. Vorne am Fahrzeug erfolgt die Messung von Temperatur und Feuchte mittels eines Hygrolog Datenloggers (Rotronic AG, Bassersdorf, Schweiz) mit integriertem Speicher. Des Weiteren wurden die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung mit einer Blattwindfahne und einem Drei-armigen Schalenstern erfasst (Wind-Sensoren-Paar „Economy“, Firma Lambrecht). Diese Messungen waren jedoch nur in den Fahrtpausen möglich. Hierzu wurde das Wind-Sensoren-Paar an einer Teleskopstange ausgefahren, so dass die Messung ca. 1,5 m über dem Fahrzeug ohne Einfluss von Turbulenzen auf Fahrzeughöhe erfolgen konnte, um Turbulenzen um das Fahrzeug herum nicht aufzuzeichnen. Mittels triaxialer Beschleunigungssensoren (vertikal, lateral und longitudinal, DA 3102-002, disynet GmbH) wurde die „Beschleunigung des LKW“ an insgesamt drei Messorten am Auflieger, in dessen vorderen Bereich oben und unten sowie im hinteren Bereich unten, aufgezeichnet. Die Messorte sind in Abbildung 3 dargestellt.

Innerhalb des LKW wurden an 10 Messorten pro Etage (insgesamt 30 Messorte) die Luftfeuchte und die Temperatur erfasst. Die Erfassung der Luftströmung erfolgte an 24 Messorten (Abbildung 3). Die Sensoren zur Temperatur-, Feuchte- und Strömungsmessung im LKW wurden zum Schutz vor Einwirkungen durch die Tiere in maßangefertigten Kanälen von 2,20 m Länge, 0,08 m Höhe und 0,10 m Tiefe befestigt. An drei Stellen (rechts, mittig und

links) wurden vergitterte Öffnungen angebracht, hinter denen die Sensoren befestigt wurden. Hinter der in Fahrtrichtung liegenden rechten und mittleren Öffnung befinden sich je ein Feuchte-, Temperatur- (wie außen) und Strömungssensor (SS 20.502 der Firma Schmidt Technology GmbH, Georgen/Schwarzwald; Messbereich 0 bis 20 m/s, Messgenauigkeit $\pm 0,15$ m/s + 6 % vom Messwert). Hinter der jeweils linken vergitterten Öffnung befindet sich bei den jeweils zwei mittleren Kanälen der Ladeetagen ein Hygrolog-Datenlogger zur Messung und internen Aufzeichnung von Feuchte und Temperatur. Die Sensorbalken wurden mittels Bügeln an die Buchtentrenntüren angeschraubt. Die Abbildung 2 zeigt eine Skizze eines solchen Sensorkanals.

Abb. 2: Skizze eines Sensorkanals.

Die Speicherung der bisher beschriebenen Daten sowie die Daten zur Laufzeit der Ventilatoren, der Fahrtgeschwindigkeit und des Wasserdurchflusses an den Tränken erfolgte in einer im Staukasten des Fahrzeuges installierten Speichereinheit. Diese besteht aus einer Kombination aus e.bloxx® und e.reader® (Fa. Gantner Electronic GmbH, Schruns, Österreich). Nach Beendigung der Aufzeichnungen zu einem Transport können die Daten mittels der Herstellersoftware von der Speichereinheit heruntergeladen und in Excel® (Microsoft Corporation, Redmond, USA) überführt werden.

Der Wasserdurchfluss der Tränkeleitung wurde mittels Durchflussmesser (FHKU G1/2“ 100 Arnite, Digmesa AG, Ipsach, Schweiz, Durchfluss 3-30 l/min, Messgenauigkeit $\pm 2\%$) aufgezeichnet und in Litern pro Minute (für den gesamten Laderaum) angegeben. Des Weiteren wurde handschriftlich neben Besonderheiten im Transportablauf (z. B. schlecht fließender Verkehr, Starkregen) der jeweilige Öffnungsgrad der Lüftungsklappen aufgezeichnet. Außerdem wurden die Straßenverhältnisse über eine Kamera im Fahrerhaus des LKW aufgezeichnet. Die Positionen der beschriebenen Messeinrichtungen sind in Abbildung 3 zusammenfassend dargestellt. Abbildung 4 stellt eine Zusammenfassung des Versuchsablaufs dar.

Ansicht Seite (Nummerierung Kameras, Beschleunigungs- & Außensensoren)

Aufsicht oberer Boden (Nummerierung der Innenklimasensoren und Buchten)

Aufsicht mittlerer Boden (Nummerierung Innenklimasensoren)

Aufsicht unterer Boden (Nummerierung Innenklimasensoren und Buchten)

- Temperatur, Feuchte (1 bis 24 auch Luftströmung) ● Kameras ● Tacho
- Beschleunigung ● Wasserdurchfluss ● Außentemperatur und -feuchte
- Windgeschwindigkeit ● Windrichtung (relativ zur Fahrzeugs-Längsachse)

Abb. 3: Verteilung der Sensoren im LKW (Ansicht von der Seite und von oben).

Abb. 4: Zeitlicher Ablauf der durchgeführten Untersuchungen.

3.5 Auswertung

Alle verwendeten Geräte wurden auf die mitteleuropäische Zeit (MEZ) eingestellt und synchronisiert, so dass die gesammelten Daten nach jedem Transport aus den verschiedenen Herstellersoftware zusammengeführt werden konnten. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistical Analysis System Programmpaket des SAS-Institutes, Cary NC, USA und der Programmierungsumgebung R.

Aus den erhobenen Klimaparametern wurden verschiedene Indices berechnet, um die Temperatur und die Luftfeuchte bzw. die Temperatur und die Luftströmung ins Verhältnis zu setzen. Diese Indices waren der Temperature-Humidity-Index (THI), der Wet bulb-Dry bulb-Index (WD), die Enthalpie (h), die Wind-Chill-Temperatur (WCT) und die Abkühlungsgröße (A); die Berechnung erfolgte nach den folgenden Formeln:

$$\text{THI} = 0,8T + \text{RH} \cdot (T - 14,4) + 46,4 \quad (\text{BRÜSER-PIEPER 2006})$$

$$\text{WD} = 0,75\text{Db} + 0,25\text{Wb} \quad (\text{ROLLER UND GOLDMAN 1969})$$

$$h = \frac{((288,68 \cdot ((1,098 + (T/100))^{8,2})) \cdot ((\text{RH}/100) \cdot 0,622))}{((1,098 + (T/100))^{8,2}))} \quad (\text{SIEMENS 2012})$$

$$\text{WCT} = 13,12 + 0,6215T - 11,37V^{0,16} + 0,3965T \cdot V^{0,16} \quad (\text{NELSON et al. 2002})$$

$$A = (36,5 - T) \cdot (0,26 + 0,34 \cdot V^{0,622}) \quad (\text{STEINHÄUSSER 1979})$$

Über SAS wurde eine beschreibende Statistik für die erhobenen und errechneten Werte erstellt. Um die räumliche Verteilung der Extremwerte von erhobenen und berechneten Klimaparametern im Fahrzeug zu untersuchen, wurde unter Einbeziehung eines jeden Sensors für die entsprechenden Parameter auf minütlicher Basis die Verteilung des jeweiligen höchsten oder niedrigsten Wertes mittels der Programmierungsumgebung R analysiert. Um nur relevante Werte einzubeziehen, erfolgte eine Berechnung des Ortes der extremsten Bedingungen jeweils unter Einbeziehung einer Auswahl von Daten. So wurden bei der Berechnung der Lokalisation der höchsten Temperatur im Fahrzeug nur Beobachtungszeitpunkte einbezogen, zu denen die maximale Temperatur im Fahrzeug über 25 °C lag und bei der Berechnung des Ortes der geringsten Temperatur nur Zeitpunkte mit einer Minimaltemperatur unter 10 °C. Für die Berechnung des Ortes der höchsten Luftfeuchte wurden nur Beobachtungszeitpunkte mit einer Feuchtigkeit von mindestens 80 % einbezogen. Für die Berechnung der Lokalisation des extremsten THI wurden nur Zeiträume berücksichtigt, in denen der THI im Fahrzeug bei mindestens 75 lag. Für die Enthalpie wurde diese Grenze bei 55 kJ/kg gesetzt.

Für die Untersuchung des Einflusses verschiedener Belastungsfaktoren auf die Belastungsindikatoren der Fokustiere wurden Korrelations- und Varianzanalysen durchgeführt. Zur varianzanalytischen Auswertung der Auswirkungen des Transportes auf die Parameter des Flüssigkeitshaushalts (Protein, Albumin, Natrium, Hämatokrit) wurde folgendes statistisches Modell verwendet (SAS-Prozedur GLIMMIX):

$$Y_{ijk} = \mu + \text{Bucht}_i + T_j + \text{H2O}_k + e_{ijk}$$

Y = Beobachtungswert des Merkmals

μ = Gesamtmittel

Bucht_i = fester Effekt des Standortes im Fahrzeug, ($i = 1 \dots 4$)

T_j = fester Effekt der Temperaturklasse des Transportes ($j = 1 \dots 3$)

H2O_k = fester Effekt des Wasserverbrauchs des jeweiligen Transportes

e_{ijk} = zufälliger Effekt der Umwelt

Zur Auswertung der Einflüsse auf den Energiehaushalt sowie die allgemeine und physische Belastung wurde das Modell bei der Varianzanalyse der Veränderung in der Faktoren Glukose, Laktat, Cortisol, CK, ASAT, Verhältnis von CK zu ASAT sowie LDH dahingehend geändert, dass anstatt des Wasserverbrauchs die maximale Fahrtgeschwindigkeit und die maximale Beschleunigung ins Modell aufgenommen worden.

$$Y_{ijkl} = \mu + \text{Bucht}_i + T_j + \text{Bsg}_k + \text{KM}_l + e_{ijkl}$$

Y = Beobachtungswert des Merkmals

μ = Gesamtmittel

Bucht_i = fester Effekt des Standortes im Fahrzeug, ($i = 1 \dots 4$)

T_j = fester Effekt der Temperaturklasse des Transportes ($j = 1 \dots 3$)

Bsg_k = fester Effekt der maximalen Fahrzeugbeschleunigung ($k = 0 \dots 11$)

KM_l = fester Effekt der maximalen Fahrtgeschwindigkeit ($l = \dots 95$)

e_{ijkl} = zufälliger Effekt der Umwelt

Für die Analyse von Herzfrequenz und Körpertemperatur wurden außerdem die Faktoren Transportabschnitt, Uhrzeit, Innentemperatur, Innenfeuchte, Luftströmung und Fahrzeit ergänzt.

$$Y_{ijklm} = \mu + \text{Bucht}_i + T_j + \text{HR}_k + \text{KM}_l + \text{Bsg}_m + e_{ijklm}$$

Y = Beobachtungswert des Merkmals

μ = Gesamtmittel

Bucht_i = fester Effekt des Standortes im Fahrzeug, ($i = 1 \dots 4$)

T_j = fester Effekt der Temperatur ($j = 1 \dots 32$)

HR_k = fester Effekt der Uhrzeit ($k = 1 \dots 24$)

KM_l = fester Effekt der Fahrtgeschwindigkeit ($l = \dots 90$)

Bsg_m = fester Effekt der Fahrzeugbeschleunigung ($m = 0 \dots 11$)

e_{ijklm} = zufälliger Effekt der Umwelt

Die Residuen der Varianzanalyse wurden mittels grafischer Verfahren auf Normalverteilung geprüft.

Um zu bestimmen, welcher der berechneten und erhobenen Klimaparameter sich am besten eignet, um eine Aussage über die Thermoregulation der Tiere zu treffen und somit die Art des besten Sensors für den Schweinetransport zu bestimmen, wurde in R ein lineares Vorhersagemodell für die Körpertemperatur erstellt. Die Daten wurden in zwei Hälften geteilt. An einer Hälfte der Daten wurde ein lineares Modell zur Errechnung der Körpertemperatur erstellt, hieraus ergab sich der Anpassungsfehler. An der zweiten Hälfte der Daten wurde dann der Vorhersagefehler errechnet, der bei der Vorhersage der Körpertemperatur aus dieser zweiten Hälfte der Datenmenge entsteht. Die verschiedenen Klimafaktoren wurden durch ihre Anpassungs- und Vorhersagefehler im Bezug auf die Körpertemperatur der Tiere verglichen.

$$Y = \mu + K$$

Y = Gesamtmittel

μ = Gesamtmittel

K = der jeweils eingesetzte Klimafaktor (Temperatur, Feuchte, Luftströmung, THI, WD, Enthalpie, WCT oder Abkühlungsgröße)

4 Ergebnisse

4.1 Durchführung der Transporte

Zur Untersuchung der Auswirkung klimatischer und physischer Belastungsfaktoren auf Schweine bei langen Beförderungen wurde ein praxisübliches kommerziell eingesetztes Fahrzeug mit Sensoren zur Messung der hierfür erforderlichen Parameter ausgestattet. Die Versuchsanordnung sieht zudem vor, die Messorte der „extremsten klimatischen Bedingungen“ zu bestimmen. Insgesamt wurden in den Jahren 2009 und 2010 vierzehn Untersuchungsfahrten mit einer Dauer von mindestens 24 Stunden durchgeführt.

Aufgrund technischer Ausfälle können die Daten des ersten Transportes im Februar 2009 nicht zur Auswertung herangezogen werden. Die folgenden fünf Beförderungen (ST02 bis ST06), die zwischen April und August 2009 stattfanden, können dagegen vollständig für die Beurteilung der am Tier erhobenen Parameter genutzt werden. Da bei der fünften Fahrt (ST05) die Speicherung der am LKW aufgezeichneten Daten (Klimadaten etc.) etwa drei Stunden nach der Verladung ausfiel, werden die bis dahin gespeicherten Werte von der Analyse der Klimakennwerte ausgeschlossen.

Im Jahr 2010 wurden weitere acht Untersuchungsfahrten durchgeführt, wobei es sich um sechs Erhebungen zwischen Januar und März (ST07 bis ST12) und zwei im August (ST13 und ST14) handelte. Bei den Transporten ST09 und ST13 gab es Probleme mit der Erfassung der Fahrtgeschwindigkeit. Hier ist nur bekannt, ob das Fahrzeug fuhr oder Stand.

Die autarken Sensoren zur Erfassung der Temperatur und Luftfeuchte (Hygrolog) wurden aufgrund häufiger Ausfälle bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Der Durchfluss der Tränkeleitung konnte nur bei den Transporten ST02 bis ST04, ST06, ST13 und ST14 ermittelt werden, bei den übrigen Beförderungen gab es anhaltende Probleme mit der Verbrauchsmessung. So kann auch der Wasserverbrauch der Tiere in Litern pro Transport nicht für alle durchgeführten Beförderungen angegeben werden. Für die Transporte ST09, ST10 und ST12 wurde der Flüssigkeitsumsatz der Tiere im Fahrzeug mittels Ablesen des Füllstandsanzeigers ermittelt. Für die Transporte ST05, ST07, ST08 sowie ST11 stehen keine Informationen zum Wasserverbrauch zur Verfügung.

Bei den Transporten ST02 bis ST04 war es nicht möglich, eine zweite Blutprobe nach dem Transport zu erhalten. Des Weiteren ergaben sich durch das Abladeregime der angefahrenen Bestimmungsorte für den Entnahmezeitpunkt C Unterschiede. Am zweiten Zielort wurde die Probe C den Tieren unmittelbar nach dem Verlassen des Transportfahrzeugs entnommen, da sich der beste Zugriff auf das Tier nach dem Abladen beim Wiegen anbot. An allen anderen Schlachthöfen wurden zunächst alle Tiere abgeladen, bevor mit der Blutentnahme begonnen wurde.

Die Tabelle 6 stellt die Zeitspanne zwischen den Blutentnahmen und dem Beladen (erstes Tier betritt LKW) bzw. Abladen (letztes Tier verlässt den LKW) für die verschiedenen Transporte dar.

Tab. 6: Zeitliche Abhängigkeit der Blutprobenentnahmen A-D zum Beladen und Abladen des Transportfahrzeugs (in Stunden)

Transportnummer	Stunden vor Beladung		Stunden nach Abladung	
	Blutprobe A	Blutprobe B	Blutprobe C	Blutprobe D
ST02	18,00	1,00	0,00	-- ^a
ST03	18,25	1,25	0,00	-- ^a
ST04	16,75	1,75	0,00	-- ^a
ST05	13,00	1,75	0,00	8,25
ST06	11,75	1,50	0,00	6,00
ST07	13,25	3,00	0,25	4,00
ST08	11,75	1,50	0,50	6,50
ST09	12,25	1,25	0,25	7,75
ST10	13,50	2,00	0,25	6,75
ST11	10,75	1,75	0,25	7,50
ST12	10,50	2,00	0,00	8,00
ST13	11,25	1,00	0,00	8,50
ST14	10,75	2,25	0,25	10,25
∅	13,21	1,69	0,13	7,35

^a Blutentnahme war nicht möglich

Die Messung der Herzfrequenz lieferte nicht immer plausible Ergebnisse. Es ergaben sich zeitweise Phasen von Herzfrequenzplateauwerten auf einem Niveau des dreifachen des Ruhewertes, diese Plateauphasen hielten für mehrere Minuten an. Des Weiteren ergaben sich teilweise extreme Schwankungen der Herzfrequenz zwischen Werten, die auf eine Ruhefrequenz der Tiere hindeuten, und Werten, die mehr als das Dreifache der Ruhewerte betrugen. Da zudem bekannt ist, dass die Herzfrequenzmessung mit den verwendeten Sensoren von Hochspannungsleitungen, Ampeln, Oberleitungen von elektrisch betriebenen Zügen, Buslinien oder Straßenbahnen, Fernsehgeräten, Automotoren, Radcomputern, motorisierten Trai-

ningsgeräten, Mobiltelefonen sowie beim Passieren von elektronischen Sicherheitsschleusen gestört werden können (POLAR USER'S MANUAL), wurden die Messwerte der Herzfrequenzmessung bereinigt. Hierfür wurden alle Herzfrequenzkurven entfernt, die mehr als 5 % der Messwerte oberhalb von 180 Schlägen pro Minute aufwiesen. Dieser Filter wurde nach dem Austesten verschiedener Korrekturfaktoren selbst entwickelt.

Nach der Messung und kontinuierlichen Aufzeichnung der Körpertemperatur der Tiere wurden nicht bei jedem Transport alle applizierten I-Buttons[®] im Schwein gefunden, die Verlustquote lag im Mittel der Transporte bei etwa 30 %. Infolge eines Programmierungsproblems konnten die Aufzeichnungen bei ST06 nicht verwendet werden, womit am Ende der Untersuchungen Körpertemperaturmessungen von insgesamt 148 der 208 Fokustiere zur Verfügung standen. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die erfassten Daten je Transport.

Tab. 7: Überblick über die erfassten Daten pro Transport

Transport	Klimadaten	Blutproben	Körper- temperatur	Wasser- durchfluss	Fahrt- geschwindigkeit	Fahrzeug- beschleunigung	Herzfrequenz
ST01	n.e. ^b	n.e. ^b	n.e. ^b	n.e. ^b	n.e. ^b	n.e. ^b	n.e. ^b
ST02	Ja	A bis C	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
ST03	Ja	A bis C	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
ST04	Ja	A bis C	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
ST05	n.e. ^b	A bis D	Ja	n.e. ^b	n.e. ^b	n.e. ^b	Ja
ST06	Ja	A bis D	n.e. ^b	Ja	Ja	Ja	Ja
ST07	Ja	A bis D	Ja	n.e. ^b	Ja	Ja	Ja
ST08	Ja	A bis D	Ja	n.e. ^b	Ja	Ja	Ja
ST09	Ja	A bis D	Ja	Ja	n.e. ^b	Ja	n.e. ^b
ST10	Ja	A bis D	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
ST11	Ja	A bis D	Ja	n.e. ^b	Ja	Ja	Ja
ST12	Ja	A bis D	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
ST13	Ja	A bis D	Ja	Ja	n.e. ^b	Ja	Ja
ST14	Ja	A bis D	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

^b n.e. = nicht erfasst

4.2 Belastungsfaktoren für Schweine beim langen Transport

4.2.1 Klimatische Gegebenheiten während der Transporte

4.2.1.1 Temperatur

Betrachtet man die Messwerte der Außentemperatur für die Gesamtheit aller Transporte, ergibt sich ein Wertebereich von -5,39 °C bis 31,62 °C, wobei der Höchstwert der Außentemperatur bei ST06, der kälteste Messwert bei ST09 gemessen wird. Der Verlauf der Außentemperatur zeigt einen Tagesrhythmus mit höheren Temperaturen am Tag und geringeren in der Nacht. Tabelle 8 fasst die Messwerte für die Außentemperatur der einzelnen Transporte in ihren statistischen Parametern arithmetisches Mittel, Standardabweichung, Minimum und Maximum zusammen.

Tab. 8: Messwerte für die Außentemperatur (°C) während der auswertbaren Transporte (n=12)

Transport	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
ST02	14,82	4,50	8,24	24,02
ST03	13,00	2,53	6,98	17,35
ST04	18,43	2,62	13,31	23,52
ST06	22,10	5,49	14,47	31,62
ST07	-0,04	0,86	-1,29	6,39
ST08	1,31	2,06	-1,71	10,36
ST09	-1,83	1,55	-5,39	4,76
ST10	1,47	2,46	-2,07	10,20
ST11	1,38	1,35	-1,90	9,43
ST12	13,55	5,69	5,62	23,65
ST13	20,16	5,16	14,02	29,62
ST14	18,10	4,21	12,60	29,44

Auf Grundlage der erfassten Außentemperaturen werden die Transporte in drei Klassen eingeteilt. Mit einer durchschnittlichen Außentemperatur von unter 5 °C bilden die Transporte ST07 bis ST11 die Klasse 1, die Transporte ST02, ST03 und ST12 bilden mit > 5 °C bis < 15

15 °C die Klasse 2 und die Transporte ST04, ST06 sowie ST13 und ST14 die Klasse 3 mit jeweils mehr als 15 °C für die durchschnittliche Außentemperatur.

Die Innentemperatur im Tierbereich des Transporters liegt während der begleiteten Beförderungen zwischen -3,01 °C und 31,95 °C. Während ST07 wird der höchste Wert für die Temperatur im Tierbereich des Fahrzeugs gemessen. Der geringste Messwert für die Innentemperatur ergibt sich während ST09. Somit wird sowohl die höchste als auch die geringste Temperatur im Laderaum bei einem Transport der Temperaturklasse 1 erfasst. Die höchste Durchschnittstemperatur im Fahrzeug wird während ST06 ermittelt (Temperaturklasse 3). Tabelle 9 fasst die Messwerte für die Innentemperatur der einzelnen Transporte in ihren statistischen Parametern arithmetisches Mittel, Standardabweichung, Minimum und Maximum zusammen.

Tab. 9: Messwerte für die Innentemperatur (°C) während der auswertbaren Transporte (n=12)

Transport	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
ST02	18,03	3,95	8,20	27,94
ST03	15,06	2,29	8,01	24,11
ST04	19,94	2,18	14,07	25,98
ST06	22,23	4,73	13,52	31,42
ST07	13,52	5,39	-1,23	31,95
ST08	13,51	4,02	4,47	29,11
ST09	9,34	4,78	-3,01	24,80
ST10	11,08	4,28	0,45	29,13
ST11	9,02	4,59	-1,35	27,16
ST12	17,42	5,04	6,42	31,82
ST13	21,75	4,20	13,82	31,38
ST14	19,85	3,80	12,01	29,10

Der Verlauf der Innentemperatur folgt dem Verlauf der Außentemperatur wobei die Innentemperatur bei Fahrzeugstillstand unabhängig von der Außentemperatur ansteigt. Abbildung 5 stellt, als Beispiel für den Verlauf der Temperatur, den Mittelwert der Innentemperatur, die Außentemperatur und die Fahrtgeschwindigkeit während ST02 dar.

Abb. 5: Vergleich zwischen Verlauf der Außentemperatur und der Innentemperatur unter Angabe der Fahrgeschwindigkeit.

Dargestellt ist der Verlauf der Außentemperatur (°C, dicke Linie) und des arithmetischen mittels der Messwerte der Sensoren ($n=24$) der Innentemperatur (°C, dünne Linie) inklusive der Fahrgeschwindigkeit (km/h, grau) während ST02.

Neben dem klaren Zusammenhang zwischen Außentemperatur und Innentemperatur sieht man in Abbildung 5 auch ein Ansteigen der Innentemperatur bei der Beladung (Beginn des Diagramms zwischen 7:33 und 8:25 Uhr), in der Fahrtpause (20:00 bis 21:00 Uhr (weißer Hintergrund, da das Fahrzeug steht)) und nach Beenden der Fahrt (ab 6:00 Uhr). Ab dem Zeitpunkt der ersten Temperaturmessung im Fahrzeug (7:33 Uhr, Sensor 24 = 17,4 °C) erwärmt sich die Temperatur im Fahrzeug stetig. So wird zum Ende des Beladevorganges (8:25 Uhr, Sensor 24 = 27,6 °C) eine Erhöhung der Temperatur an demselben Messort um 10,2 °C in 52 Minuten festgestellt. Im Durchschnitt der Transporte beträgt die Erwärmung im Fahrzeug bei der Beladung 9 °C. In den Fahrtunterbrechungen ergibt sich eine Erwärmung von durchschnittlich 0,06 °C pro Minute. Daraus ergibt sich in einer gewöhnlichen Sozialpause von 45 Minuten eine Erwärmung von 2,7 °C.

Betrachtet man die Temperatur im Fahrzeug nicht anhand des Mittelwertes über alle Sensoren ($n = 24$) sondern mittelt die Temperatur für jedes Ladedeck separat, erhält man für jede Lade- etage eine mittlere Temperatur aus Messwerten von 8 Sensoren. In Abbildung 6 zeigt sich wie

sich die Temperaturen auf den verschiedenen Böden während ST02 (Temperaturklasse 2) voneinander unterscheiden. Auf dem oberen Boden (blau) ist es am kühlgsten, auf dem mittleren (grün) am wärmsten.

Abb. 6: Verlauf der Innentemperatur getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Außentemperatur und der Fahrtgeschwindigkeit bei einem Transport der Temperaturklasse 2 (mittlere Außentemperaturen zwischen 15 und 20 °C).

Dargestellt ist der Verlauf der Innentemperatur (°C) als arithmetisches Mittel der Sensoren des oberen (n = 8, blau), des mittleren (n = 8, grün) und des unteren Bodens (n = 8, orange) inklusive der Fahrtgeschwindigkeit (km/h, grau) und der Außentemperatur (°C, schwarz) während ST02.

Betrachtet man in Abbildung 7 dieselbe Darstellung für ST11 (Temperaturklasse 1), ergibt sich ein anderes Bild. Während der Fahrt ist hier ebenfalls der mittlere Ladeboden die Etage mit der höchsten Temperatur und die oberste die Etage mit der kühlgsten Temperatur. In den Pausen jedoch ändert sich die Temperaturverteilung. Der obere Boden zeigt nun den höchsten Mittelwert für die Innentemperatur, der untere den geringsten (das Ansteigen der Außentemperatur im Diagramm (Abb. 7) jeweils ab 20:30 Uhr liegt daran, dass das Fahrzeug zum einen nach dem Beladen kurz in einer Halle stand und zum anderen am Zielort in einer Halle abgeladen wurde.)

Abb. 7: Verlauf der Innentemperatur getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Außentemperatur und der Fahrtgeschwindigkeit bei einem Transport der Temperaturklasse 1 (mittlere Außentemperaturen unter 15 °C).

Dargestellt ist der Verlauf der Innentemperatur (°C) als arithmetisches Mittel der Sensoren des oberen ($n = 8$, blau), des mittleren ($n = 8$, grün) und des unteren Bodens ($n = 8$, orange) inklusive der Fahrtgeschwindigkeit (km/h, grau) und der Außentemperatur (°C, schwarz) während ST11.

Auch innerhalb der einzelnen Ladeetagen ist die Temperatur nicht gleich verteilt. In der Fahrzeugmitte ist es wärmer als an der Außenseite des Fahrzeugs. Von den aufgezeichneten Messwerten für die Temperatur im Fahrzeug liegen 82,15 % in einem Bereich zwischen 5 und 30 °C (Vorgabe für die Temperatur im Tiertransporter laut VO (EG) Nr. 1/2005). Oberhalb dieses Bereiches finden sich 0,82 % der Werte wobei diese zu etwa gleichen Teilen bei der Fahrt, in den Pausen und beim Abladen ermittelt wurden. Unterhalb des angegebenen Bereichs sind 17,03 % der Messwerte angesiedelt, die sich vor allem auf den Bereich zwischen 0 und 5 °C konzentrierten. Nur 2,18 % der Werte liegen unterhalb von 0 °C. Derart geringe Temperaturen werden vorwiegend (zu 93,03 %) während der Fahrt gemessen. Des Weiteren werden bei 16,9 % der Messungen niedrigere Innentemperaturen im Vergleich zu den Außentemperaturen festgestellt.

4.1.1.2 Relative Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte außerhalb des Fahrzeugs, die während der beobachteten Transporte gemessen wurde, liegt zwischen 25,37 % und 100 % wobei die maximal mögliche Feuchte von 100 % während ST03, ST06, ST07 und ST12 nicht erreicht wurde. Der Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit weist einen Tagesrhythmus auf wobei Höchstwerte in der Nacht auftreten. Des Weiteren werden bei den Transporten der Temperaturklasse 1 höhere Werte für die Außenfeuchte ermittelt als für die übrigen Transporte mit Ausnahme von Transport ST14. Tabelle 10 fasst die Messwerte für die Luftfeuchte in ihren statistischen Parametern arithmetisches Mittel, Standardabweichung, Minimum und Maximum zusammen.

Tab. 10: Messwerte für die Außenluftfeuchte (%) während der auswertbaren Transporte (n = 12)

Transport	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
ST02	71,52	19,31	28,64	100,00
ST03	65,86	14,27	40,77	91,52
ST04	71,82	10,55	45,50	100,00
ST06	54,92	17,35	25,37	99,49
ST07	87,26	3,46	76,36	95,51
ST08	96,08	4,07	82,80	100,00
ST09	91,98	5,14	79,66	100,00
ST10	80,83	19,08	34,82	100,00
ST11	89,51	4,48	76,76	100,00
ST12	69,56	17,59	32,44	93,96
ST13	76,92	23,77	36,05	100,00
ST14	82,14	12,53	49,30	100,00

Die relative Luftfeuchte innerhalb des Fahrzeugs lag zwischen 29 % und 100 %. In Abbildung 8 sind für ST07 die arithmetischen Mittelwerte für die Innenfeuchte auf den drei Böden im Vergleich zur Außenfeuchte sowie der Bezug zur Fahrtgeschwindigkeit dargestellt. Es zeigt sich, dass der obere Boden die höchsten Werte für die Luftfeuchte im Fahrzeug aufweist, diese liegen zum Teil sogar oberhalb der Werte Außerhalb des Fahrzeugs. Die geringsten Werte für die Luftfeuchte im Fahrzeug zeigen sich auf dem mittleren Ladeboden.

Abb. 8: Verlauf der Innenluftfeuchte getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Außenluftfeuchte und der Fahrtgeschwindigkeit bei einem Transport der Temperaturklasse 1 (mittlere Außentemperaturen unter 15 °C).

Dargestellt ist der Verlauf der relativen Luftfeuchte im Fahrzeug (%) als arithmetisches Mittel der Sensoren des oberen (n = 8, blau), des mittleren (n = 8, grün) und des unteren Bodens (n = 8, orange) inklusive der Fahrtgeschwindigkeit (km/h, grau) und der Außenluftfeuchte (% , schwarz) während ST07.

Auch innerhalb der einzelnen Ladeetagen ist die Luftfeuchte nicht gleich verteilt. In der Fahrzeugmitte finden sich geringere Messwerte als an der Außenseite des Fahrzeugs. Tabelle 11 fasst die Messwerte für die Luftfeuchtigkeit im Tierbereich während der Transporte in die statistischen Parameter arithmetisches Mittel, Standardabweichung, Minimum und Maximum zusammen.

Tab. 11: Messwerte für die Luftfeuchte (%) im Tierbereich während der auswertbaren Transporte (n = 12)

Transport	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
ST02	68,15	12,69	34,14	100,00
ST03	64,63	10,45	41,73	99,37
ST04	71,01	6,82	51,08	97,02
ST06	59,12	15,77	30,06	100,00
ST07	67,73	7,36	49,05	97,57
ST08	71,43	9,04	49,52	100,00
ST09	68,60	8,97	43,86	100,00
ST10	69,69	12,18	35,00	100,00
ST11	73,86	7,20	53,83	100,00
ST12	63,82	12,10	37,12	98,03
ST13	72,76	17,73	40,52	99,87
ST14	78,04	9,60	48,85	97,93

Im Mittel liegt die Differenz der Außenfeuchte zur Innenfeuchte bei 6,2 Prozentpunkten. Während der Fahrt ergeben sich geringere Unterschiede als im Stand. Eine Innenfeuchte oberhalb der Außenfeuchte ergibt sich vor allem auf dem oberen Boden, wie auch die Verlaufsdarstellung der Feuchtemesswerte in Abbildung 8 zeigt. Die mittleren und die unteren Sensoren zeigen vor allem Messwerte unter den Werten der Außenfeuchte.

4.2.1.3 Luftströmung und Windstärke

Die Messwerte für die Windstärke lagen während der zwölf Untersuchungsfahrten zwischen 0 m/s und 12,52 m/s, was auf der Beaufortskala (HÄCKEL 1985) einer Spannweite von Windstille bis hin zu starkem Wind entspricht. Der Mittelwert wird mit 1,29 m/s angegeben. Tabelle 12 fasst die Messwerte für die Windstärke auf Basis jedes einzelnen Transportes in die statistischen Parameter arithmetisches Mittel, Standardabweichung, Minimum und Maximum zusammen.

Tab. 12: Messwerte für die Windstärke (m/s) während der auswertbaren Transporte (n = 12)

Transport	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
ST02	1,25	0,84	0,01	2,95
ST03	1,15	0,86	0,02	3,01
ST04	2,88	2,06	0,02	7,64
ST06	0,68	0,63	0,01	2,71
ST07	1,22	1,92	0,00	12,52
ST08	0,89	0,91	0,00	4,06
ST09	2,24	1,44	0,08	7,97
ST10	0,89	0,98	0,01	4,90
ST11	0,98	0,87	0,01	3,83
ST12	1,52	0,92	0,00	4,80
ST13	0,97	0,82	0,00	5,52
ST14	1,80	2,50	0,00	11,67

Die Windstärke wurde nur während der Fahrtpausen erfasst. Während dieser Zeit lag die Luftströmung innerhalb des Fahrzeugs zwischen 0,02 und 12,84 m/s. Im Durchschnitt ergab sich während der Pause eine Luftströmungsgeschwindigkeit von 0,22 m/s im Fahrzeug.

Insgesamt wurden im Fahrzeug Messwerte von bis zu 20,84 m/s mit einem Durchschnitt von 1,13 m/s für die Luftströmung ermittelt. Die Luftströmung auf dem unteren Boden ist am höchsten, die Werte der mittleren Etage am geringsten. Beim neunten Transport ergeben sich auf dem mittleren Boden ungewöhnlich geringe Werte für die Luftströmungsmessung, die sich zwischen Fahrt und Stand des Fahrzeugs kaum veränderten; eine solche Abweichung vom sonst gängigen Luftströmungsmuster tritt nur bei diesem Transport auf. Vergleicht man die Luftströmung im Fahrzeug mit der Fahrtgeschwindigkeit bzw. Fahrtbewegung des Fahrzeugs, so ergibt sich ein klarer Zusammenhang ($r=0,62$) (siehe Abbildung 9).

Abb. 9: Verlauf der Luftströmung im Fahrzeug getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit und in den Fahrtunterbrechungen im Vergleich zur Windstärke außerhalb des Fahrzeugs bei einem Transport der Temperaturklasse 2 (mittlere Außentemperaturen zwischen 15 und 20 °C).

Dargestellt ist der Verlauf der Luftströmung im Fahrzeug (m/s) als arithmetisches Mittel der Sensoren des oberen ($n = 8$, blau), des mittleren ($n = 8$, grün) und des unteren Bodens ($n = 8$, orange) inklusive der Fahrtgeschwindigkeit (km/h, grau) und der Windstärke oberhalb des Fahrzeugs gemessen in den Fahrtunterbrechungen (m/s, schwarz) während ST02.

4.2.1.4 Indices zur Bewertung der kombinierten Einwirkung von Klimafaktoren

Der **THI** als dimensionsloser Index zeigte Werte zwischen 26,58 und 89,51 mit einem Mittelwert von 59,71. Die Abbildung 10 zeigt den Verlauf der mittleren THI auf den drei Etagen bei Transport ST03, die aus den an acht Positionen je Ladeetage ermittelten Klimadaten errechnet wurden.

Abb. 10: Verlauf des THI getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit bei einem Transport der Temperaturklasse 2 (mittlere Außentemperaturen zwischen 15 und 20 °C).

Dargestellt ist der Verlauf des THI als arithmetisches Mittel der Sensoren des oberen ($n = 8$, blau), des mittleren ($n = 8$, grün) und des unteren Bodens ($n = 8$, orange) inklusive der Fahrtgeschwindigkeit (km/h, grau) während ST02.

Die Transporte der Temperaturklasse 3 (Außentemperatur im Mittel über 15 °C) weisen bei der Verladung THIs von zwischen 62 und 71 auf. Bei Transport ST09 wurde nur eine durchschnittliche Außentemperatur von -1,83 °C erhoben. Hier zeigt sich während der Verladung ein THI von 33. Im Verlauf der Fahrt werden für die Transporte der Temperaturklassen 2 und 3 THIs von über 60 errechnet. Die Transporte der Temperaturklasse 1 dagegen ergeben hier THIs von 48 bis 55. In der Fahrtpause zeigt sich für den THI, wie schon für die Temperatur, ein deutliches Ansteigen der Werte. Hier werden bei keinem Transport THIs von unter 54 errechnet. Auch der Wechsel des Ortes mit den höchsten Ergebnissen beim Halten des Fahrzeugs zeigt sich beim THI wie bei der Temperatur (Abbildung 10).

Die **Enthalpie** im Fahrzeug liegt während der untersuchten Transporte zwischen 24,55 und 155,55 kJ/kg mit einem arithmetischen Mittelwert von 47,57 kJ/kg. Stellt man die Enthalpiewerte im Verlauf eines Transportes dar (Abbildung 11) so zeigt sich, dass die Enthalpie im Fahrzeug in den Pausen deutlich ansteigt.

Abb. 11: Verlauf der Enthalpie getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Fahrgeschwindigkeit und Markierung von 55 und 65 kJ/kg.

Dargestellt ist der Verlauf der Enthalpie im Fahrzeug als arithmetisches Mittel der Sensoren des oberen ($n = 8$, blau), des mittleren ($n = 8$, grün) und des unteren Bodens ($n = 8$, orange) inklusive der Fahrgeschwindigkeit (km/h, grau).

Des Weiteren zeigen sich Unterschiede zwischen den Ladeetagen. Der obere Boden weist die geringsten Enthalpiewerte auf, die untere Etage die höchsten, wobei die Enthalpiewerte des unteren und mittleren Bodens sich weniger unterscheiden als die Werte dieser beiden Etagen vom oberen Boden. Die Enthalpiewerte in der Fahrzeugmitte liegen höher als an der Außenseite. Im Mittel liegt die Enthalpie im Fahrzeug bei den Transporten der Temperaturklasse 1 bei 29,16 kJ/kg, bei den Transporten der Temperaturklasse 2 bei 38,66 kJ/kg und bei den Beförderungen der höchsten Temperaturklasse sogar bei durchschnittlich 50,20 kJ/kg.

Für den **WD** werden Werte zwischen -3,01 und 52,52 ermittelt. Hieraus ergibt sich ein Mittelwert von 34,91, wobei die höchsten Werte während des Abladens errechnet werden. Auch die Ergebnisse für diesen Index zeigen höhere Werte in den Fahrtunterbrechungen als während der Fahrt. Abbildung 12 stellt als Beispiel für den Verlauf dieses Indexes die ermittelten Werte für den WD auf den drei Ladeetagen während des Transports ST03 dar.

Abb. 12: Verlauf des WD getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit.

Dargestellt ist der Verlauf des WD als arithmetisches Mittel der Sensoren des oberen ($n = 8$, blau), des mittleren ($n = 8$, grün) und des unteren Bodens ($n = 8$, orange) inklusive der Fahrtgeschwindigkeit (km/h, grau).

Bei der Betrachtung der Verteilung der WD-Werte im Fahrzeug zeigt sich, dass sich zwischen Fahrt und Stand der Ort der höchsten Werte im Fahrzeug verschiebt. Während bei der Fahrt Höchstwerte auf dem unteren Boden ermittelt werden, gilt dies in den Pausen für den oberen Boden. Setzt man den WD ins Verhältnis zu den Temperaturklassen, so zeigen sich die geringsten Werte für den WD bei den Transporten der Temperaturklasse 1 mit einem Mittelwert von 25,64. Bei Beförderungen, die in Klasse 2 eingestuft wurden, sind es 30,16 und bei Fahrten in der höchsten Temperaturklasse ergibt sich ein mittlerer WD von 33,76.

Für die **WCT** ergibt sich ein Ergebnis von $9,19 \pm 3,23$ °C mit einer Spannweite von -4,54 bis 19,33 °C. In den Fahrtunterbrechungen wird eine höhere Temperatur ermittelt als während der Fahrt. Die geringsten Werte errechnen sich jedoch zu Beginn des Beladevorgangs. Abbildung 13 gibt einen Überblick über die Verteilung der WCT zwischen den Ladeetagen bei Transport ST07.

Abb. 13: Verlauf der WCT getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit.

Dargestellt ist der Verlauf der WCT (°C) als arithmetisches Mittel der Sensoren des oberen ($n = 8$, blau), des mittleren ($n = 8$, grün) und des unteren Bodens ($n = 8$, orange) inklusive der Fahrtgeschwindigkeit (km/h, grau). (Teilweise ist die WCT nicht zu errechnen, da sie nur für Temperaturen von unter 10 °C definiert ist.)

Für die Transporte der Temperaturklasse 1 ergibt sich eine mittlere WCT von 9,94 °C, in der nächst höheren Klasse sind es 10,66 °C. Für die Transporte der Temperaturklasse 3 konnte keine WCT berechnet werden, da diese nur für Temperaturen von unter 10 °C definiert ist.

Die Abkühlungsgröße weist eine Spannweite von 0,01 mcal/cm²s bis 0,26 mcal/cm²s mit einem Mittel von 0,05 mcal/cm²s auf. Maximalwerte ergeben sich hier vor allem bei der Fahrt und zu Beginn der Verladung. In den Fahrtunterbrechungen fällt die Abkühlungsgröße deutlich ab (Abbildung 14).

Abb. 14: Verlauf der Abkühlungsgröße getrennt in die drei Ladeetagen im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit.

Dargestellt ist der Verlauf der Abkühlungsgröße ($\text{mcal/cm}^2\text{s}$) als arithmetisches Mittel der Sensoren des oberen ($n = 8$, blau), des mittleren ($n = 8$, grün) und des unteren Bodens ($n = 8$, orange) inklusive der Fahrtgeschwindigkeit (km/h , grau).

Abbildung 14 zeigt die Verteilung der Abkühlungsgröße zwischen den drei Ladeetagen und das Verhältnis zur Fahrtgeschwindigkeit. Es wird ersichtlich, dass Höchstwerte vor allem auf dem unteren Boden ermittelt werden.

4.2.2 Wasserversorgung auf dem Transport

Während der Transporte, die eine kontinuierliche Durchflussmessung der Tränkeleitung ermöglichen, zeigten sich kleinere Spitzen des Wasserverbrauchs in besonders gleichmäßigen Fahrtabschnitten auf der Autobahn (Abbildung 15 10:30 Uhr oder 13:30 Uhr, jeweils um $0,7 \text{ l/Minute}$), bei extrem unruhiger Fahrt mit ständigem Bremsen und Beschleunigen (Abbildung 15 19:30 Uhr, ca. $0,5 \text{ l/Minute}$). Bei Stillstand des Fahrzeugs dagegen zeigte sich ein eher geringer Tränkwasserdurchfluss (Abbildung 15 20:45 Uhr, Wasserverbrauch gegen 0 l/Minute) Tabelle 13 gibt die erhobenen Werte für den Wasserverbrauch wieder.

Abb. 15: Verlauf des Wasserdurchflusses im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit.
Dargestellt ist der Wasserdurchfluss in den Tränkeleitungen des gesamten Fahrzeugs (l/min, blau) und die Fahrtgeschwindigkeit (km/h, grau) über die Länge des Transportes ST03.

Tab. 13: Wasserverbrauch in Litern (l) für das gesamte Fahrzeug während der auswertbaren Transporte (n=12)

Transp.	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	Maximum	Summe (l)
ST02	0,30	0,65	0,00	9,79	468,94
ST03	0,25	0,36	0,00	2,42	322,77
ST04	0,16	0,37	0,00	2,89	235,81
ST05	- ^c	- ^c	- ^c	- ^c	- ^c
ST06	0,18	0,87	0,00	16,80	265,29
ST07	- ^c	- ^c	- ^c	- ^c	- ^c
ST08	- ^c	- ^c	- ^c	- ^c	- ^c
ST09	- ^c	- ^c	- ^c	- ^c	200,00
ST10	- ^c	- ^c	- ^c	- ^c	175,00
ST11	- ^c	- ^c	- ^c	- ^c	- ^c
ST12	- ^c	- ^c	- ^c	- ^c	275,00
ST13	0,29	0,34	0,00	2,71	403,51
ST14	0,06	0,17	0,00	1,69	83,96

^c Wert konnte nicht ermittelt werden

4.2.3 Fahrzeugbewegungen

Die Beschleunigung lässt auf allen drei Achsen eine Abhängigkeit von der Fahrtbewegung des Transporters erkennen. Es werden auch während der Pausen Fahrzeugbewegungen angezeigt, diese fallen aber deutlich geringer aus als die Ausschläge während der Fahrt (Abbildung 16).

Abb. 16: Verlauf der Fahrzeugbeschleunigung getrennt in die drei Messorte im Vergleich zur Fahrtgeschwindigkeit.

Dargestellt ist der Verlauf der positiven und negativen Beschleunigung (m/s^2) auf der x-Achse als arithmetisches Mittel der drei Messorte (oben am Auflieger = blau, vorne unten = grün, hinten unten = orange) inklusive der Fahrtgeschwindigkeit (km/h , grau) während ST03.

Auffällig ist die Zunahme der Beschleunigung an allen drei Sensoren auf jeder der drei Achsen bei den Transporten ST02 bis ST06 nach 13 Stunden Fahrt. Die Messung der triaxialen Beschleunigung des Untersuchungsfahrzeugs ergab die in Tabelle 14 dargestellten Werte.

Tab. 14: Messwerte für die Fahrzeugbeschleunigung (m/s²) getrennt nach Messort und Achse im Mittel der auswertbaren Transporte (n=12), dargestellt als Betrag um negative und positive Werte einer Achse mit einer Zahl abbilden zu können

Sensor	Achse	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
1 (hinten)	x	1,15	0,68	0,03	9,81
	y	1,45	1,05	0,04	9,82
	z	3,61	2,78	0,05	11,25
2 (vorne unten)	x	1,13	0,60	0,05	13,66
	y	1,98	1,54	0,05	10,86
	z	2,12	1,56	0,11	11,00
3 (vorne oben)	x	1,97	1,34	0,10	11,09
	y	3,81	2,41	0,16	10,84
	z	3,86	2,50	0,12	10,99

Die höchste Beschleunigung wird an jedem der drei Sensoren auf der z-Achse (vertikal) aufgezeichnet, im Vergleich der Sensoren werden die stärksten Beschleunigungen auf jeder Achse am Sensor 3 (vorne oben) ermittelt.

Die Fahrtgeschwindigkeit während der begleiteten Transporte betrug bis zu 94,48 km/h. Bei den durchgeführten Transporten kam es selten zu Verkehrsstörungen, so dass das Fahrzeug in der Regel in Abhängigkeit von den Straßenverhältnissen bei konstanter Geschwindigkeit fuhr. Die Korrelation von Fahrtgeschwindigkeit zur Beschleunigung des Fahrzeugs beträgt 0,67 ($p < 0,0001$).

4.3 Belastungsreaktionen der transportierten Tiere

4.3.1 Die Körpertemperatur

Die kontinuierlich aufgezeichneten Werte für die Körpertemperatur von 16 Indikatortieren je Transport liegen im Verlauf der Untersuchung zwischen 36,0 °C und 40,5 °C. Betrachtet man die Verteilung der Körpertemperaturwerte in den einzelnen Transportabschnitten, so werden während des Beladens und der Wartezeit vor der Abfahrt die höchsten Werte im gesamten Transportverlaufs gemessen ($p < 0,0001$, $n = 148$ Tiere). 71,09 % der in diesem Zeitraum auf-

gezeichneten Daten liegen in einem Temperaturbereich von 38,0 bis 39,0 °C. Während der Fahrt werden vor allem Messwerte zwischen 37,5 und 38,5 °C ermittelt (66,11 %). Auch während der Pausen liegen die Körpertemperaturen vorwiegend in diesem Bereich (63,14 %). Zum Zeitpunkt der Entladung am Zielort befinden sich 70,20 % der erhobenen Werte zwischen 38,0 und 39,0 °C. Nur 5 % aller ermittelten Körpertemperaturwerte sind geringer als 37,0 °C und nur 0,1 % über 40,0 °C. In Abbildung 17 sind die Messwerte der Körpertemperatur der Schweine in den einzelnen Abschnitten der Untersuchungsfahrten dargestellt.

Abb. 17: Verteilung der Messwerte für die Körpertemperatur während der verschiedenen Transportabschnitte.

Dargestellt ist die Körpertemperatur (°C) der Indikatortiere ($n = 148$) in jedem der definierten Transportabschnitte (Verladen, Warten vor der Abfahrt, Fahrt, Pause, Warten vor dem Abladen und Abladen) als Boxplot wobei die Box 50 % der Werte beinhaltet, die Whisker dem Mittelwert plus zwei Standardabweichungen entsprechen, der Median durch – gekennzeichnet ist und der Mittelwert durch +.

Tabelle 15 stellt die ermittelten Werte für diesen Parameter auf Basis der einzelnen Transporte dar. Vergleicht man die hier angegebenen Mittelwerte der Körpertemperatur mit den Mittelwerten der Innentemperatur im Fahrzeug, so weist der Transport mit der höchsten durch-

schnittlichen Innentemperatur (ST06) auch den höchsten Mittelwert für die Körpertemperatur auf.

Tab. 15: Messwerte der Körpertemperatur der Indikatortiere (n = 148) (°C) während der auswertbaren Transporte (n = 13)

Transport	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
ST02	38,08	0,67	36,00	40,00
ST03	38,02	0,60	36,00	39,38
ST04	38,18	0,62	36,13	40,50
ST05	38,02	0,59	36,13	39,63
ST06	38,27	0,64	36,00	40,50
ST07	37,85	0,51	36,13	39,38
ST08	37,95	0,53	36,13	39,38
ST09	37,83	0,59	36,13	39,38
ST10	37,84	0,67	36,13	39,88
ST11	37,88	0,58	36,00	39,63
ST12	37,95	0,66	36,00	40,00
ST13	38,07	0,49	36,00	39,88
ST14	37,90	0,51	36,00	40,00

Betrachtet man die Verteilung der Körpertemperaturwerte getrennt für die drei Temperaturklassen so ergeben sich für die Transporte mit den geringsten Außentemperaturen bei den transportierten Tieren Messwerte von $37,87 \pm 0,58$ °C für die Körpertemperatur. Bei Beförderungen der Temperaturklasse 2 liegen die Messwerte der Vaginaltemperatur bei $38,02 \pm 0,65$ °C und bei den Untersuchungen mit den höchsten Außentemperaturen ergeben sich Körpertemperaturwerte von $38,09 \pm 0,57$ °C. Errechnet man allerdings die Korrelation zwischen Temperatur im Laderaum des Fahrzeugs und der Körpertemperatur der Tiere so liegt diese nur bei 0,2 ($p < 0,0001$, $n = 148$ Tiere). Die Varianzanalyse für die Körpertemperatur zeigt, dass weitere Faktoren einen signifikanten Einfluss auf die Körpertemperatur der Tiere hatten. Diese waren die Tageszeit, der Standort des Tieres im Fahrzeug sowie Beschleunigung und Fahrtgeschwindigkeit des Fahrzeugs (Tab. 16).

Tab. 16: Ergebnisse der Varianzanalyse zu den Einflussfaktoren auf die Körpertemperatur (°C) der transportierten Schweine (n=148) der auswertbaren Transporte (n=12)

Effekt	p-Wert
Tageszeit (Stunden)	<0,0001
Innentemperatur (°C)	<0,0001
Ladebucht (1-4)	0,0013
Beschleunigung des Fahrzeugs (m/s ²)	<0,0001
Fahrtgeschwindigkeit (km/h)	<0,0001

4.3.2 Die Herzfrequenz

Die Herzfrequenz der Schweine zeigte einen mehr oder weniger wellenförmigen Verlauf mit den höchsten Werten während der Verladung (Abbildung 18). Im Mittel der 13 auswertbaren Transporte liegen die Messwerte zwischen 61 Schlägen/Minute und 235 Schlägen/Minute.

Abb. 18: Verlauf der Herzfrequenz eines Tieres im Stall und während des Transportes. Dargestellt ist der Verlauf der Herzfrequenz (Schläge/Minute) eines Indikatortieres im Stall (Verladung gegen 8:00 Uhr) und während ST02 unter Angabe der Fahrtgeschwindigkeit (km/h, grau).

Ein Großteil der Herzfrequenzwerte der Tiere liegt zwischen 100 und 150 Schlägen pro Minute. Tabelle 17 fasst die Messwerte für die Herzfrequenz in ihre statistischen Parameter Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum zusammen.

Tab. 17: Messwerte für die Herzfrequenz (Schläge/Minute) während der auswertbaren Transporte (n = 12)

Transport	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
ST02	107	25,03	65	235
ST03	113	27,93	61	234
ST04	114	26,64	68	233
ST05	108	22,00	74	221
ST06	113	24,47	77	233
ST07	122	21,84	73	231
ST08	108	20,78	72	227
ST09	- ^d	- ^d	- ^d	- ^d
ST10	112	22,19	69	230
ST11	117	23,34	67	231
ST12	114	21,73	63	231
ST13	90	15,64	64	178
ST14	91	18,68	61	230

^d durch Filterung der Werte sind alle Daten gelöscht worden

4.3.3 Belastungen des Energiestoffwechsels

Eine der wesentlichsten Komponenten der Reaktion von Tieren in Belastungssituationen ist die Aktivierung und Umstellung des Energiestoffwechsels. Dazu wurden zur Untersuchung während des langen Transportes als Referenzparameter die Plasmakonzentrationen von Glukose und Laktat bestimmt.

Die **Glukosekonzentration** im Plasma der Versuchstiere liegt zwischen 2,52 und 8,63 mmol/l mit einem Mittel von $5,03 \pm 0,76$ mmol/l. Für die Temperaturklasse 1 mit $5,32 \pm 0,70$ mmol/l ergibt sich eine höhere mittlere Glukosekonzentration als in den Temperaturklassen 2 ($4,75 \pm 0,82$ mmol/ml) und 3 ($4,85 \pm 0,69$ mmol/ml). Abbildung 19 stellt die Ergebnisse

für die Glukosekonzentration im Plasma der Versuchstiere als Verlauf während der vier Entnahmezeitpunkte für die beobachteten Temperaturklassen dar.

Abb. 19: Glukose (mmol/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere.

Dargestellt ist die mittlere Glukosekonzentration (mmol/l) im Plasma der Indikatortiere ($n = 208$) im Verlauf der Entnahmezeitpunkte A/B vor und C/D nach dem Transport getrennt in die Temperaturklassen 1 (schwarz), 2 (hellgrau) und 3 (dunkelgrau).

Während sich für den Zeitraum von der ersten zur zweiten Blutentnahme konsequent fallende Glukosewerte zeigten ergibt sich für die Veränderung während des Transportes ein Unterschied im Verlauf der Glukosekonzentration im Plasma der Fokustiere zwischen den Temperaturklassen. Die Glukosekonzentration steigt sowohl bei der geringsten als auch bei der höchsten Temperaturklasse während des Transportes an, sie sinkt jedoch bei den Transporten in der mittleren Temperaturklasse ab. Dieser Verlaufsunterschied bleibt auch bei der Entwicklung des Glukosegehaltes im Plasma der Indikatortiere zwischen Entnahme C und D bestehen; während die Werte der Tiere aus den Temperaturklassen 1 und 3 wieder abfallen steigen nun die Werte der Tiere aus Temperaturklasse 2 an.

Die Änderung im Glukosespiegel der Fokustiere zwischen der Blutentnahme vor Beginn der Ausrüstung der Tiere und der Entnahme unmittelbar nach dem Transport wurde signifikant von der Fahrtgeschwindigkeit des Fahrzeugs beeinflusst. Der Standort des Tieres im Fahrzeug,

die Temperaturklasse des Transportes sowie die Beschleunigung hatten dagegen keine signifikanten Auswirkungen (Tabelle 18).

Tab. 18: Ergebnisse der Varianzanalyse zu den Einflussfaktoren auf die Veränderung der Glukosekonzentration (mmol/l) im Plasma der Indikatortiere (n = 208) während der auswertbaren Transporte (n = 12)

Effekt	F-Statistik	PR > F
Fahrtgeschwindigkeit (km/h)	6.59	0.0112

Tabelle 19 fasst die Messwerte für die Glukosekonzentration auf Basis der vier Entnahmezeitpunkte jeden Transports anhand der statistischen Parameter Mittelwert und Standardabweichung zusammen.

Tab. 19: Glukose (mmol/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n = 13)

Transport	Entnahme 1	Entnahme 2	Entnahme 3	Entnahme 4
ST02	5,14 ± 1,31	5,22 ± 0,40	3,74 ± 0,71	-
ST03	4,68 ± 0,89	4,39 ± 0,37	4,65 ± 0,78	-
ST04	4,66 ± 0,35	5,38 ± 0,42	5,24 ± 0,63	-
ST05	5,45 ± 0,73	5,09 ± 0,54	4,83 ± 0,37	4,25 ± 0,57
ST06	4,11 ± 0,44	3,97 ± 0,61	4,20 ± 0,44	3,94 ± 0,48
ST07	5,33 ± 0,86	5,72 ± 0,98	5,75 ± 0,41	5,51 ± 0,36
ST08	4,94 ± 0,56	5,15 ± 0,44	5,81 ± 0,54	5,15 ± 0,46
ST09	4,81 ± 0,44	4,52 ± 0,95	5,80 ± 0,52	5,15 ± 0,40
ST10	5,39 ± 0,46	5,01 ± 0,79	5,72 ± 0,62	5,40 ± 0,40
ST11	5,48 ± 0,64	5,05 ± 0,46	5,51 ± 0,58	4,98 ± 0,43
ST12	5,04 ± 0,47	4,29 ± 0,45	5,27 ± 0,45	5,19 ± 0,41
ST13	5,42 ± 0,49	4,80 ± 0,55	5,23 ± 0,36	4,94 ± 0,45
ST14	5,07 ± 0,34	4,98 ± 0,45	5,58 ± 0,39	5,10 ± 0,45

Die **Laktatkonzentration** liegt im Mittel aller Transporte und Entnahmen bei $3,05 \pm 2,18$ mmol/l mit einer Spannweite von 0,59 bis 16,55 mmol/l. Während der Transporte mit den höchsten Außentemperaturen ergibt sich mit $2,64 \pm 1,63$ mmol/l eine geringere Laktatkonzentration als während der Transporte der mittleren ($3,38 \pm 2,63$ mmol/ml) und der geringsten Temperaturklasse ($3,25 \pm 2,37$ mmol/ml). Abbildung 20 stellt die Ergebnisse für die Laktatkonzentration im Plasma der Versuchstiere dar.

Abb. 20: Laktat (mmol/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere.

Dargestellt ist die mittlere Laktatkonzentration (mmol/l) im Plasma der Indikatortiere ($n = 208$) im Verlauf der Entnahmezeitpunkte A/B vor und C/D nach dem Transport getrennt in die Temperaturklassen 1 (schwarz), 2 (hellgrau) und 3 (dunkelgrau).

Im Mittel ergeben sich die höchsten Laktatwerte bei Entnahme A. In allen Temperaturklassen zeigt sich ein kontinuierlicher Abfall der Laktatwerte von Entnahme A zu Entnahme B, daran schließt sich für die Temperaturklassen 2 und 3 ein erneutes Ansteigen an, bevor zwischen Entnahme C und D wieder eine sinkende Tendenz bei den Ergebnissen aller Temperaturklassen errechnet wird. Vergleicht man die Veränderung der Laktatkonzentration im Plasma der Fokustiere zwischen den Entnahmen A und C, zeigt sich bei einer varianzanalytischen Betrachtung kein signifikanter Einflusses von Temperatur, Standort im Fahrzeug, Fahrzeugbeschleunigung oder Fahrtgeschwindigkeit. Tabelle 20 fasst die Messwerte für die Laktatkonzentration auf Basis der vier Entnahmezeitpunkte jeden Transports anhand der statistischen Parameter Mittelwert und Standardabweichung zusammen.

Tab. 20: Laktat (mmol/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n = 13)

Transport	Entnahme 1	Entnahme 2	Entnahme 3	Entnahme 4
ST02	4,17 ± 3,45	1,82 ± 0,89	4,29 ± 1,48	
ST03	3,67 ± 2,02	2,09 ± 1,47	3,82 ± 2,10	
ST04	3,69 ± 1,10	2,49 ± 1,20	4,75 ± 1,96	
ST05	3,19 ± 1,79	1,88 ± 0,42	3,59 ± 1,71	2,32 ± 0,96
ST06	2,48 ± 1,69	2,22 ± 0,82	3,21 ± 1,30	1,62 ± 0,38
ST07	3,20 ± 2,40	2,33 ± 0,95	2,07 ± 0,96	1,57 ± 0,57
ST08	3,92 ± 2,52	2,54 ± 1,47	2,43 ± 1,16	2,22 ± 1,09
ST09	4,18 ± 2,53	4,21 ± 3,29	4,06 ± 3,16	2,41 ± 0,89
ST10	5,41 ± 1,94	4,51 ± 2,92	2,84 ± 1,20	1,73 ± 0,55
ST11	5,86 ± 3,83	4,69 ± 3,11	2,49 ± 1,28	2,56 ± 1,29
ST12	6,89 ± 4,49	3,13 ± 1,41	2,40 ± 1,25	1,56 ± 0,50
ST13	3,25 ± 2,66	2,33 ± 1,77	1,86 ± 0,51	1,58 ± 0,60
ST14	2,78 ± 1,20	3,22 ± 2,32	2,55 ± 0,98	1,67 ± 0,50

4.3.4 Belastungen des Flüssigkeitshaushalt

Mittels Feststellung des Tränkwasserverbrauchs der transportierten Tiere und einer Untersuchung von Indikatorwerten des Flüssigkeitshaushalts der Tiere soll eine Aussage über die Belastung dieses Versorgungsbereichs getroffen werden.

Im Vergleich aller Transporte ergibt sich ein **Proteinwert** im Plasma der 16 Versuchstiere von im Mittel $74,91 \pm 4,31$ g/l mit einer Spannweite von 60,10 g/l bis 89,00 g/l. Abbildung 21 stellt den Verlauf der Konzentration des Gesamteiweißes im Plasma der Indikatortiere über die vier Probenzeitpunkte getrennt in drei Temperaturklassen dar.

Abb. 21: Protein (g/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere.

Dargestellt ist die mittlere Proteinkonzentration (g/l) im Plasma der Indikatortiere (n = 208) im Verlauf der Entnahmezeitpunkte A/B vor und C/D nach dem Transport getrennt in die Temperaturklassen 1 (schwarz), 2 (hellgrau) und 3 (dunkelgrau).

Es zeigen sich Unterschiede zwischen den Temperaturklassen mit höheren Werten für die Temperaturklasse 2 ($76,99 \pm 4,61$ g/l) als in Temperaturklasse 1 ($74,96 \pm 3,99$ g/l) und Klasse 3 ($73,78 \pm 4,03$ g/l). Es zeigt sich eine steigende Tendenz des Proteingehaltes im Plasma der Versuchstiere, wobei in der wärmsten Temperaturklasse das Ergebnis für die Plasmaprobe im Wartestall (D) unter dem der Entnahme direkt nach dem Abladen (C) liegt. In der Varianzanalyse ergeben sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Temperatur, Standort der Tiere im Fahrzeug oder Wasserverbrauch und der Proteinkonzentration im Plasma der Indikatortiere. Tabelle 21 fasst die Messwerte für die Proteinkonzentration auf Basis der vier Entnahmezeitpunkte jeden Transports anhand der statistischen Parameter Mittelwert und Standardabweichung zusammen.

Tab. 21: Protein (g/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n = 13)

Transport	Entnahme 1	Entnahme 2	Entnahme 3	Entnahme 4
ST02	72,71 ± 3,03	75,08 ± 3,68	77,16 ± 3,33	
ST03	73,00 ± 6,03	77,08 ± 3,75	79,51 ± 3,41	
ST04	75,84 ± 3,13	75,47 ± 2,43	79,07 ± 3,30	
ST05	71,73 ± 4,30	73,34 ± 3,91	75,68 ± 4,43	74,13 ± 3,56
ST06	71,40 ± 3,72	71,87 ± 4,43	74,07 ± 4,84	73,94 ± 3,14
ST07	72,69 ± 2,81	74,92 ± 2,53	75,04 ± 2,90	74,24 ± 2,19
ST08	72,67 ± 3,93	72,89 ± 3,65	75,91 ± 3,90	77,14 ± 4,86
ST09	73,64 ± 3,63	75,12 ± 2,86	76,88 ± 2,95	74,98 ± 5,05
ST10	78,25 ± 3,97	75,56 ± 3,76	76,56 ± 4,09	76,51 ± 3,52
ST11	72,61 ± 4,52	72,77 ± 4,28	74,94 ± 4,06	75,95 ± 4,01
ST12	77,68 ± 3,79	77,35 ± 3,60	79,56 ± 4,25	80,33 ± 4,25
ST13	71,94 ± 3,01	72,11 ± 3,67	74,78 ± 3,50	73,66 ± 3,41
ST14	70,72 ± 3,87	73,18 ± 4,13	74,19 ± 3,53	74,48 ± 3,04

Für den **Albumingehalt** im Plasma der Versuchstiere lässt sich zusammenfassend sagen, dass beim Vergleich aller Transporte zwischen 20,80 g/l und 41,30 g/l mit einem Mittelwert von $31,93 \pm 3,87$ g/l erfasst wurden. Abbildung 22 stellt die Albuminkonzentration und ihren Verlauf über die vier Probenzeitpunkte dar.

Abb. 22: Albumin (g/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere.

Dargestellt ist die mittlere Albuminkonzentration (g/l) im Plasma der Indikatortiere (n = 208) im Verlauf der Entnahmezeitpunkte A/B vor und C/D nach dem Transport getrennt in die Temperaturklassen 1 (schwarz), 2 (hellgrau) und 3 (dunkelgrau).

In der mittleren Temperaturklasse wurden zu jedem Blutentnahmezeitpunkt die höchsten Werte für die Albumingehalte im Plasma der Indikatortiere ermittelt ($34,27 \pm 2,90$ g/l). In Klasse 1 ($32,44 \pm 3,85$ g/l) und Klasse 3 ($30,06 \pm 3,61$ g/l) ergeben sich geringere Werte. Für den Konzentrationsverlauf des Untersuchungsparameters ergibt sich ein Anstieg im Verlauf der Untersuchungen bis zum Fahrtziel. Ein Unterschied zwischen den Temperaturklassen äußert sich jedoch vor allem in der Stärke des Absinkens der Albuminkonzentration zwischen den Entnahmen C und D. Die Varianzanalyse ergibt keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den ermittelten Werten der Eiweißfraktion und der Temperatur, dem Standort des Tieres im Fahrzeug oder dem Durchfluss der Wasserleitung am Fahrzeug. Tabelle 22 fasst die Messwerte für die Albuminkonzentration auf Basis der vier Entnahmezeitpunkte jeden Transports anhand der statistischen Parameter Mittelwert und Standardabweichung zusammen.

Tab. 22: Albumin (g/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n = 13)

Transport	Entnahme 1	Entnahme 2	Entnahme 3	Entnahme 4
ST02	34,34 $\pm$ 3,79	34,78 $\pm$ 2,73	35,49 $\pm$ 2,50	
ST03	31,34 $\pm$ 3,01	33,63 $\pm$ 2,14	34,56 $\pm$ 2,62	
ST04	31,79 $\pm$ 3,08	30,97 $\pm$ 2,54	33,04 $\pm$ 3,15	
ST05	29,38 $\pm$ 2,58	30,83 $\pm$ 2,61	31,79 $\pm$ 3,58	30,16 $\pm$ 3,61
ST06	27,36 $\pm$ 3,44	28,05 $\pm$ 3,51	28,83 $\pm$ 3,78	28,53 $\pm$ 2,91
ST07	32,50 $\pm$ 2,56	34,74 $\pm$ 2,36	34,43 $\pm$ 2,63	33,36 $\pm$ 2,38
ST08	33,68 $\pm$ 2,86	34,63 $\pm$ 2,39	36,33 $\pm$ 2,45	36,44 $\pm$ 2,46
ST09	31,58 $\pm$ 3,37	33,48 $\pm$ 3,34	33,41 $\pm$ 3,19	32,51 $\pm$ 2,62
ST10	31,83 $\pm$ 4,04	31,03 $\pm$ 4,51	29,77 $\pm$ 4,15	29,67 $\pm$ 3,64
ST11	28,30 $\pm$ 3,43	29,33 $\pm$ 3,37	30,58 $\pm$ 3,84	31,24 $\pm$ 3,73
ST12	34,16 $\pm$ 2,60	34,83 $\pm$ 2,91	34,79 $\pm$ 2,69	34,78 $\pm$ 2,51
ST13	29,11 $\pm$ 3,75	29,30 $\pm$ 3,83	30,98 $\pm$ 3,69	29,69 $\pm$ 3,32
ST14	29,44 $\pm$ 3,52	31,42 $\pm$ 3,78	31,27 $\pm$ 3,04	30,94 $\pm$ 3,03

Der **Hämatokritwert** liegt im Verlauf der untersuchten Transporte zwischen 20,5 % und 46,5 % mit einem Mittelwert von $36,66 \pm 4,41$ %. Hierbei ergibt sich mit $35,29 \pm 4,19$ % für Temperaturklasse 3 ein geringerer Wert als in den Klassen 1 ($37,39 \pm 4,60$ %) und 2 ($37,51 \pm 4,19$ %). Abbildung 23 stellt den Hämatokritwert aller Transporte getrennt in die Temperaturklassen dar.

Abb. 23: Hämatokrit (%) im Blutplasma der untersuchten Tiere.

Dargestellt ist die mittlere Hämatokritkonzentration (%) im Plasma der Indikatortiere (n = 208) im Verlauf der Entnahmezeitpunkte A/B vor und C/D nach dem Transport getrennt in die Temperaturklassen 1 (schwarz), 2 (hellgrau) und 3 (dunkelgrau).

Bei den Transporten mit den höchsten Temperaturen (dunkelgrau) ergibt sich ein Absinken der Hämatokritkonzentration zwischen den Entnahmezeitpunkten A und B, gefolgt von einem Plateau während des Transportes (B zu C) und dann einem weiteren Absinken der Konzentration im Wartestall (D). Für die beiden Temperaturklassen mit geringeren Temperaturen hingegen ergibt sich ein Absinken des Hämatokritwertes während des Transportes (B zu C). Die Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Temperaturklassen bei der Betrachtung der Veränderung im Versuchsverlauf und ebenfalls keine signifikanten Einflüsse des Wasserverbrauchs oder des Standortes im Fahrzeug. Tabelle 23 fasst die Ergebnisse für den Hämatokrit auf Basis der vier Entnahmezeitpunkte jeden Transports anhand der statistischen Parameter Mittelwert und Standardabweichung zusammen.

Tab. 23: Hämatokrit (%) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n = 13)

Transport	Entnahme 1	Entnahme 2	Entnahme 3	Entnahme 4
ST02	35,28 ± 6,23		37,59 ± 5,15	
ST03	38,38 ± 2,78		38,03 ± 3,05	
ST04	38,47 ± 2,13	37,40 ± 1,77	38,31 ± 2,26	
ST05	36,00 ± 3,20	36,88 ± 1,86	35,91 ± 4,64	35,25 ± 3,14
ST06	34,31 ± 3,29	29,60 ± 7,19	34,75 ± 5,33	32,06 ± 3,88
ST07	38,19 ± 2,80	37,22 ± 4,43	36,41 ± 3,22	34,59 ± 3,95
ST08	42,41 ± 2,09	40,19 ± 2,35	37,13 ± 2,94	37,22 ± 3,71
ST09	39,44 ± 5,55	40,47 ± 2,79	37,13 ± 3,51	38,75 ± 3,08
ST10	42,56 ± 2,34	39,66 ± 4,49	34,81 ± 4,77	34,97 ± 3,56
ST11	37,59 ± 2,22	36,63 ± 2,29	30,88 ± 3,76	31,44 ± 4,93
ST12	40,47 ± 3,15	38,69 ± 2,36	35,06 ± 2,52	36,56 ± 4,45
ST13	37,91 ± 1,75	34,84 ± 1,67	32,53 ± 3,65	34,22 ± 2,98
ST14	38,28 ± 2,14	36,69 ± 3,12	33,91 ± 3,68	35,84 ± 2,63

Der **Natriumgehalt** im Plasma der Versuchstiere weist eine Spannweite von 129,6 bis 156,5 mmol/l auf wobei sich ein Mittelwert von $141,19 \pm 5,17$ mmol/l ergibt. Abbildung 24 stellt den Natriumgehalt aller Transporte im Verlauf der Entnahmen dar, wobei der Verlauf in die beobachteten Temperaturklassen getrennt zu sehen ist.

Abb. 24: Natrium (mmol/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere.

Dargestellt ist die mittlere Natriumkonzentration (mmol/l) im Plasma der Indikatortiere (n = 208) im Verlauf der Entnahmezeitpunkte A/B vor und C/D nach dem Transport getrennt in die Temperaturklassen 1 (schwarz), 2 (hellgrau) und 3 (dunkelgrau).

Während der Transporte mit der geringsten Klassifizierung hinsichtlich der Temperatur ergeben sich mit im Mittel $138,11 \pm 3,57$ mmol/l die geringsten Natriumgehalte. Diese Werte weisen, mit einem Absinken von Entnahme A über B zu C, denselben Verlauf wie die Transporte in der höchsten Temperaturklasse auf. Hier ergibt sich ein Mittelwert von $142,09 \pm 5,30$ mmol/l. Die Natriumkonzentration bei den Transporten der mittleren Temperaturklasse ergeben einen Mittelwert von $143,62 \pm 4,26$ und einen anderen Verlauf als die beiden übrigen Klassen, denn hier steigen die vor dem Transport gesunkenen Werte während des Transportes an, um danach wieder abzufallen. Die varianzanalytische Betrachtung der Veränderung im Plasma ergibt keine signifikanten Einflüsse von Temperatur, des Standortes des Tieres im Fahrzeug oder Wasserverbrauch. Tabelle 24 fasst die Ergebnisse für die Natriumkonzentration auf Basis der vier Entnahmezeitpunkte jeden Transports anhand der statistischen Parameter Mittelwert und Standardabweichung zusammen.

Tab. 24: Natrium (mmol/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n = 13)

Transport	Entnahme 1	Entnahme 2	Entnahme 3	Entnahme 4
ST02	144,66 $\pm$ 5,47	140,20 $\pm$ 2,90	142,64 $\pm$ 3,95	
ST03	147,04 $\pm$ 4,16	145,60 $\pm$ 3,98	144,45 $\pm$ 4,20	
ST04	149,68 $\pm$ 3,92	145,69 $\pm$ 4,50	144,94 $\pm$ 3,13	
ST05	147,56 $\pm$ 2,22	146,99 $\pm$ 2,71	145,50 $\pm$ 3,59	148,91 $\pm$ 3,87
ST06	148,37 $\pm$ 3,58	146,21 $\pm$ 4,06	141,69 $\pm$ 4,41	145,19 $\pm$ 3,13
ST07	141,18 $\pm$ 3,09	140,26 $\pm$ 3,25	134,66 $\pm$ 1,29	138,18 $\pm$ 1,84
ST08	139,71 $\pm$ 3,22	136,31 $\pm$ 2,12	134,16 $\pm$ 2,11	134,98 $\pm$ 2,95
ST09	139,79 $\pm$ 1,36	139,41 $\pm$ 3,18	137,89 $\pm$ 3,71	140,84 $\pm$ 4,48
ST10	137,90 $\pm$ 2,78	136,98 $\pm$ 2,09	137,83 $\pm$ 3,13	137,15 $\pm$ 2,44
ST11	141,41 $\pm$ 5,30	138,54 $\pm$ 2,89	137,63 $\pm$ 3,50	137,49 $\pm$ 2,56
ST12	142,90 $\pm$ 5,01	142,17 $\pm$ 2,89	144,06 $\pm$ 3,08	142,46 $\pm$ 3,22
ST13	140,48 $\pm$ 3,65	138,60 $\pm$ 3,37	140,31 $\pm$ 3,10	139,53 $\pm$ 2,01
ST14	137,28 $\pm$ 2,52	138,51 $\pm$ 3,28	137,53 $\pm$ 4,34	137,84 $\pm$ 2,97

4.3.5 Weitere Untersuchungen zur allgemeinen und physischen Belastung der Tiere

Um die Belastungen der Tiere durch z. B. den unbekannten Kontakt zum Menschen und die mit dem Ver- und Abladen und dem Ausgleich von Fahrtbewegungen verbundene ungewohnte Anstrengung abzubilden, wurde an den Indikatortieren während jedem der begleiteten Transporte kontinuierlich die Herzfrequenz gemessen sowie im Plasma zu den bekannten Entnahmezeitpunkten der Cortisolspiegel, die Aktivität der Kreatinkinase, der Aspartat-Aminotransferase und der Laktatdehydrogenase und das Verhältnis von Kreatinkinase zu Aspartat-Aminotransferase bestimmt.

Der **Cortisol**gehalt im Plasma der Versuchstiere liegt während der durchgeführten Blutentnahmen zwischen 4,09 ng/ml und 162,41 ng/ml mit einem Mittelwert von $44,59 \pm 22,85$ ng/ml. Dabei ergibt sich bei den Transporten mit den geringsten Temperaturen ein Mittelwert von $48,83 \pm 25,13$ ng/ml, bei den Transporten mit den höchsten Temperaturen wurden $40,48 \pm 20,35$ ng/ml ermittelt und bei den Transporten in der mittleren Temperaturklasse $40,56 \pm 20,51$ ng/ml. Abbildung 25 stellt den Verlauf des Cortisolgehalts dar.

Abb. 25: Cortisol (g/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere.

Dargestellt ist die mittlere Cortisolkonzentration (ng/l) im Plasma der Indikatortiere ($n = 208$) im Verlauf der Entnahmezeitpunkte A/B vor und C/D nach dem Transport getrennt in die Temperaturklassen 1 (schwarz), 2 (hellgrau) und 3 (dunkelgrau).

Der Verlauf der Cortisolwerte gestaltet sich im Vergleich zwischen den Temperaturklassen unterschiedlich. Zwar ergibt sich nach der Belastung durch das Anlegen der Untersuchungs-

geräte für alle Temperaturklassen ein vergleichbarer Wert, doch im Verlauf des Transportes steigt dieser für die Transporte in der geringsten Temperaturklasse an und fällt für die beiden übrigen Klassen ab. Und auch das Verhalten der Werte am Zielort gestaltet sich unterschiedlich. Für die beiden Temperaturklassen mit geringeren Messwerten der Außentemperatur ergibt sich ein geringgradiges Absinken der Cortisolwerte, bei den Beobachtungen aus der höchsten Temperaturklasse hingegen ein Ansteigen. Die Varianzanalyse ergibt keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Veränderung dieses Parameters und dem Standort des Tieres im Fahrzeug, der Fahrtgeschwindigkeit des Fahrzeugs, der Temperatur oder der Beschleunigung des LKW. Tabelle 25 fasst die Ergebnisse für die Cortisolkonzentration auf Basis der vier Entnahmezeitpunkte jeden Transports anhand der statistischen Parameter Mittelwert und Standardabweichung zusammen.

Tab. 25: Cortisol (ng/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n = 13)

Transport	Entnahme 1	Entnahme 2	Entnahme 3	Entnahme 4
ST02	39,31 ± 15,77	54,62 ± 25,82	40,10 ± 13,64	
ST03	38,22 ± 20,80	50,03 ± 22,91	44,43 ± 17,03	
ST04	37,16 ± 16,99	56,46 ± 17,50	50,82 ± 24,11	
ST05	35,60 ± 16,91	47,23 ± 23,14	56,82 ± 19,29	54,13 ± 19,36
ST06	44,03 ± 15,73	50,10 ± 20,80	43,98 ± 20,83	47,59 ± 20,69
ST07	44,33 ± 14,67	43,37 ± 27,93	60,11 ± 18,76	55,06 ± 18,42
ST08	44,19 ± 16,05	48,77 ± 35,82	81,05 ± 33,17	58,45 ± 26,25
ST09	49,75 ± 18,14	44,73 ± 21,65	66,58 ± 26,60	57,78 ± 18,98
ST10	48,20 ± 21,38	50,59 ± 19,70	31,11 ± 16,66	37,68 ± 11,32
ST11	39,03 ± 20,51	37,37 ± 26,43	27,69 ± 24,16	46,27 ± 22,90
ST12	50,20 ± 17,26	33,51 ± 15,39	23,98 ± 16,67	32,23 ± 19,47
ST13	30,93 ± 15,42	40,36 ± 26,54	22,16 ± 14,59	32,78 ± 16,03
ST14	38,67 ± 13,30	33,53 ± 14,48	31,42 ± 22,9	49,64 ± 16,56

Die **Kreatinkinaseaktivität** beträgt im Mittel aller Transporte $1848,53 \pm 2253,67$ U/l mit einer Spannweite von 99 U/l bis 16238 U/l. Hierbei ergibt sich mit $1290,33 \pm 1400,61$ U/l die geringste Kreatinkinaseaktivität während der Transporte mit den höchsten Außentemperaturen. Bei den Transporten mit den geringsten Außentemperaturen findet sich im Mittel eine Enzymaktivität von $2101,56 \pm 2549,64$ U/l, die mittlere Klasse ergibt einen Wert von $2493,60 \pm 2719,14$ U/l, was dem höchsten Mittelwert entspricht. Abbildung 26 stellt die Kreatinkinaseaktivität im Verlauf der Entnahmezeitpunkte dar.

Abb. 26: Kreatinkinase (U/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere.

Dargestellt ist die mittlere Kreatinkinaseaktivität (mmol/l) im Plasma der Indikatortiere ($n = 208$) im Verlauf der Entnahmezeitpunkte A/B vor und C/D nach dem Transport getrennt in die Temperaturklassen 1 (schwarz), 2 (hellgrau) und 3 (dunkelgrau).

Im Vergleich der Entnahmen ergibt sich bei allen Transporten derselbe Verlauf mit einem Anstieg der Kreatinkinaseaktivität von Entnahme A über Entnahme B zu Entnahme C und dann einem Abfall zu Entnahme D. Die Varianzanalyse der Kreatinkinaseaktivitätsveränderung von Versuchsbeginn bis nach dem Entladen ergibt keine signifikanten Einflüsse der Temperatur, des Standortes im Fahrzeug, der Fahrzeugbeschleunigung oder -geschwindigkeit. Tabelle 26 fasst die Ergebnisse für die Kreatinkinaseaktivität auf Basis der vier Entnahmezeitpunkte jeden Transports anhand der statistischen Parameter Mittelwert und Standardabweichung zusammen.

Tab. 26: Kreatinkinaseaktivität (U/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n = 13)

Transport	Entnahme 1	Entnahme 2	Entnahme 3	Entnahme 4
ST02	937 ± 656	3521 ± 2654	5330 ± 4604	
ST03	1167 ± 808	2201 ± 1580	3700 ± 2289	
ST04	864 ± 559	1077 ± 514	2285 ± 1286	
ST05	419 ± 342	985 ± 889	1605 ± 1177	1162 ± 990
ST06	360 ± 257	904 ± 640	1334 ± 1360	651 ± 410
ST07	434 ± 229	1199 ± 1130	1877 ± 1783	2236 ± 2609
ST08	1016 ± 802	1528 ± 849	4233 ± 4080	3617 ± 2467
ST09	645 ± 269	1257 ± 514	3592 ± 4171	2568 ± 2451
ST10	1763 ± 2821	2563 ± 3319	5102 ± 3964	3067 ± 2429
ST11	571 ± 748	831 ± 677	2266 ± 1708	1657 ± 795
ST12	2031 ± 2829	2040 ± 2930	2534 ± 2367	1388 ± 1010
ST13	718 ± 600	1770 ± 1784	2718 ± 3233	1983 ± 1948
ST14	541 ± 295	1121 ± 742	1721 ± 699	1272 ± 682

Die Untersuchung der **Aspartat-Aminotransferaseaktivität (ASAT)** ergibt im Mittel aller Proben einen Wertebereich von 6 U/l bis 75 U/l mit einem Mittelwert von $24,03 \pm 11,94$ U/l. In der Temperaturklasse mit den höchsten Außentemperaturen ergibt sich mit $21,63 \pm 10,26$ U/l eine geringere ASAT als in den Klassen 2 ($25,67 \pm 12,10$ U/l) und 1 ($25,85 \pm 13,03$ U/l). Abbildung 27 stellt den Verlauf der ASAT-Aktivität dar.

Abb. 27: ASAT (U/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere.

Dargestellt ist die mittlere ASAT-Aktivität (mmol/l) im Plasma der Indikatortiere (n = 208) im Verlauf der Entnahmezeitpunkte A/B vor und C/D nach dem Transport getrennt in die Temperaturklassen 1 (schwarz), 2 (hellgrau) und 3 (dunkelgrau).

Bei der Betrachtung der Mittelwerte über alle Transporte wurden bei Entnahme C die höchsten Werte, die geringsten bei Entnahme A ermittelt. Der Verlauf der ASAT zeigt, von Entnahme A über Entnahme B zu Entnahme C einen Anstieg, darauf folgt abgesehen von der Temperaturklasse 1 ein Abfall zu Entnahme D. Die varianzanalytische Betrachtung der Veränderung in der Enzymaktivität während der Vorbereitung und des Transportes ergab für die untersuchten Parameter Temperatur, Fahrtgeschwindigkeit, Beschleunigung des Fahrzeugs sowie Standort des Tieres im Fahrzeug keine signifikanten Einflüsse. Tabelle 27 fasst die Ergebnisse für die ASAT-Aktivität auf Basis der vier Entnahmezeitpunkte jeden Transports anhand der statistischen Parameter Mittelwert und Standardabweichung zusammen.

Tab. 27: ASAT-Aktivität (U/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n = 13)

Transport	Entnahme 1	Entnahme 2	Entnahme 3	Entnahme 4
ST02	18,00 ± 6,84	27,40 ± 16,21	40,13 ± 25,66	
ST03	20,50 ± 8,81	23,25 ± 8,23	36,20 ± 16,79	
ST04	15,88 ± 4,77	17,07 ± 5,65	31,00 ± 12,32	
ST05	14,13 ± 3,74	20,63 ± 10,01	23,31 ± 10,71	22,13 ± 7,61
ST06	15,13 ± 3,44	20,33 ± 8,01	25,50 ± 20,18	18,19 ± 4,78
ST07	13,31 ± 4,70	18,88 ± 7,41	27,56 ± 10,25	28,25 ± 11,61
ST08	18,50 ± 14,39	21,94 ± 8,30	34,87 ± 11,01	37,75 ± 14,55
ST09	15,94 ± 5,45	19,06 ± 4,42	35,75 ± 16,73	31,69 ± 13,03
ST10	19,06 ± 12,21	25,53 ± 11,81	34,13 ± 12,34	29,25 ± 12,16
ST11	19,63 ± 18,28	22,13 ± 8,44	33,69 ± 8,40	38,40 ± 16,52
ST12	22,13 ± 12,56	23,07 ± 10,22	31,25 ± 8,56	26,38 ± 7,55
ST13	20,00 ± 8,02	25,00 ± 10,78	27,94 ± 11,34	25,50 ± 10,91
ST14	15,13 ± 4,69	20,31 ± 8,01	24,06 ± 6,06	23,56 ± 9,65

Das Verhältnis von **Kreatinkinase zu ASAT** liegt bei den begleiteten Transporten zwischen 1 und 267, wobei mit $52,83 \pm 35,83$ die geringsten Werte bei den Transporten mit den höchsten Temperaturen erreicht wurden. Die Transporte der Temperaturklasse 2 ergeben einen Mittelwert von $77,96 \pm 48,59$ und die Transporte aus Klasse 1 einen Wert von $65,92 \pm 44,30$. Im Vergleich der vier Entnahmezeitpunkte steigt das Verhältnis der Aktivität der beiden Enzyme von Entnahme A über Entnahme B zu Entnahme C an, und fällt dann zu Entnahme D wieder in etwa auf das Niveau von Entnahme B ab. Vergleicht man das Verhältnis von Kreatinkinase zu ASAT zwischen den Entnahmen A und C so gibt die Varianzanalyse keine signifikanten Einflüsse von Temperatur, Beschleunigung, Fahrtgeschwindigkeit oder Bucht an.

Die **Laktatdehydrogenase (LDH)** liegt bei den begleiteten Transporte zwischen 179 U/l und 2462 U/l mit einem Mittelwert von $753,54 \pm 333,95$ U/l. Teilt man die ermittelten Ergebnisse auf in die drei Temperaturklassen so ergeben sich Mittelwerte von $887,90 \pm 360,33$; $710,65 \pm 316,25$ und $678,81 \pm 257,27$. Abbildung 28 stellt die Mittelwerte für LDH eines jeden Entnahmezeitpunktes dar.

Abb. 28: LDH (U/l) im Blutplasma der untersuchten Tiere.

Dargestellt ist die mittlere LDH-Aktivität (mmol/l) im Plasma der Indikatortiere (n = 208) im Verlauf der Entnahmezeitpunkte A/B vor und C/D nach dem Transport getrennt in die Temperaturklassen 1 (schwarz), 2 (hellgrau) und 3 (dunkelgrau).

Im Mittel aller Transporte ergeben sich die höchsten Werte für LDH bei Entnahme C; betrachtet man allerdings den Verlauf der Enzymaktivität für die Temperaturklassen so zeigt die Temperaturklasse 2 die höchsten Werte bei Entnahme D. Allen drei Klassen ist ein Ansteigen der Werte während des Transportes gleich. Die varianzanalytische Betrachtung der Veränderung der Enzymaktivität zwischen den Entnahmen A und C ergibt keine signifikanten Einflüsse von Temperatur, Standort des Tieres im Transporter oder Fahrzeugbewegungen bzw. -beschleunigungen. Tabelle 28 fasst die Ergebnisse für die LDH-Aktivität auf Basis der vier Entnahmezeitpunkte jeden Transports anhand der statistischen Parameter Mittelwert und Standardabweichung zusammen.

Tab. 28: LDH-Aktivität (U/l) im Mittel der 16 Untersuchungstiere jeden Entnahmezeitpunkts während der ausgewerteten Transporte (n = 13)

Transport	Entnahme 1	Entnahme 2	Entnahme 3	Entnahme 4
ST02	496,07 ± 159,89	625,80 ± 280,37	646,56 ± 317,96	
ST03	429,06 ± 150,55	546,56 ± 164,65	648,07 ± 215,41	
ST04	480,19 ± 87,27	564,33 ± 117,15	751,31 ± 188,90	
ST05	421,94 ± 81,55	507,31 ± 188,02	492,44 ± 129,78	431,69 ± 127,06
ST06	433,19 ± 66,15	527,00 ± 119,71	573,64 ± 283,07	463,13 ± 66,66
ST07	629,94 ± 123,64	801,81 ± 215,76	948,56 ± 319,10	982,75 ± 462,74
ST08	619,63 ± 245,97	596,38 ± 222,24	1029,8 ± 317,00	989,19 ± 298,84
ST09	610,56 ± 110,36	737,38 ± 137,37	1052,8 ± 372,58	873,25 ± 221,21
ST10	958,81 ± 512,40	1047,2 ± 399,86	1038,7 ± 283,45	908,44 ± 258,41
ST11	808,50 ± 416,39	939,63 ± 376,18	1050,4 ± 333,39	1144,2 ± 529,52
ST12	983,88 ± 410,48	943,00 ± 254,38	970,94 ± 273,36	795,00 ± 219,68
ST13	704,63 ± 181,78	897,31 ± 330,77	906,06 ± 451,38	702,06 ± 236,53
ST14	620,69 ± 101,29	877,88 ± 205,34	844,56 ± 103,1	806,38 ± 126,60

4.4 Positionierung der Klimasensoren während des Tiertransports

Um die günstigste Position von Klimasensoren im Fahrzeug zu ermitteln, wurde für jeden der erhobenen und errechneten Parameter bezüglich des Klimas im Fahrzeug auf minütlicher Basis der Ort der Extremwerte ermittelt. Als **Orte der höchsten Temperaturen im Tierbereich** ergeben sich hier je nach Fahrtbewegung verschiedene Lokalisationen. Bei der Betrachtung hoher Innentemperaturwerte (über 25 °C) liegen 1417 Beobachtungen während der Fahrtzeit und 622 Beobachtungen während der Pausen vor. Im Stand ergibt sich sehr deutlich, dass der Sensor 20 (oberer Ladeboden, vorletzte Tür, mittig) die extremsten Temperaturen erfasst hat. Hier werden während 52,57 % der Beobachtungszeitpunkte die höchsten Werte ermittelt. Der Sensor vorne mittig auf dem unteren Boden (Sensor 8) erfasste am zweithäufigsten die höchste Temperatur im Stand (18,81 %).

Bei der Fahrt verteilen sich hohe Temperaturen stärker im Fahrzeug. Die Sensoren 2, 8 und 10 sind hier die Orte mit den höchsten Anteilen von Extremwerten. Sie befinden sich auf dem unteren Boden hinten mittig (Nr. 2, 33,59 %), auf demselben Boden vorne mittig (Nr. 8, 23,22 %) und auf der mittleren Ladeebene hinten mittig (Nr. 10, 25,55%). In Abbildung 29

sind die Positionen, an denen am häufigsten die Maximalwerte im Fahrzeug erhoben wurden, verdeutlicht.

Abb. 29: Orte der höchsten Temperaturen im Fahrzeug.

Dargestellt ist eine Skizze des Versuchsfahrzeugs in der, durch Angabe der entsprechenden Sensorennummern (02, 08, 10, 20), die Lokalisationen der höchsten Temperaturen im Fahrzeug gekennzeichnet sind.

Ermittelt man hingegen den Ort der geringsten Temperaturen im Fahrzeug (bei Nutzung von Temperaturen $<10\text{ }^{\circ}\text{C}$), so sind es andere Lokalisationen im Fahrzeug, an denen am häufigsten die Extremwerte gefunden werden. Bei der Auswertung von 5629 Beobachtungen während der Fahrt und 1051 Beobachtungen im Stand zeigt sich die Position hinten außen auf dem oberen Ladeboden (Sensor 17) als ein prominenter Ort für die geringste Temperatur. Hier werden 57,97 % der Minimalwerte bei der Fahrt und 12,43 % während der Pausen gemessen. Während das Fahrzeug steht, werden aber vor allem auf dem unteren Boden kurz hinter der Fahrzeugmitte lateral im Fahrzeug (Sensor 3) die geringsten Temperaturen erhoben (36,29 %). Bei der Fahrt wird zusätzlich am Sensor 19 (oberer Boden außen an der zweiten Tür von vorn) eine Häufung von Extremwerten ermittelt mit 20,87 %. Abbildung 30 verdeutlicht die Position dieser Sensoren im Fahrzeug.

Abb. 30: Orte der niedrigsten Temperaturen im Fahrzeug.

Dargestellt ist eine Skizze des Versuchsfahrzeugs in der, durch Angabe der entsprechenden Sensorennummern (03, 17, 19), die Lokalisationen der niedrigsten Temperaturen im Fahrzeug gekennzeichnet sind.

Generell finden sich höhere Temperaturen in der Fahrzeugmitte, lateral fielen die Messwerte geringer aus. Vergleicht man die Messwerte der hier genannten Orte für Extremtemperaturen miteinander, so ergeben sich bei Temperaturen über 25 °C hohe Korrelationen zwischen den Sensoren 02, 03, 08 und 10 (Korrelationskoeffizient zwischen 0,90 und 0,95). Ebenso korrelieren die Sensoren 17, 19 und 20 stark (Korrelationskoeffizient zwischen 0,95 und 0,98) bei Temperaturen von unter 10 °C.

Für die **Verteilung der Maximalwerte der Luftfeuchte im Fahrzeug** zeigt sich, dass die Sensoren 17, 19 und 21 eine wichtige Rolle spielen. Bei diesen Sensoren handelt es sich jeweils um Sensoren an der Fahrzeugaußenseite des oberen Bodens. Eine getrennte Betrachtung des Ortes der höchsten Luftfeuchtigkeit nach Fahrt und Stand des Fahrzeuges führt nicht zu einer Auftrennung des Ortes der höchsten Luftfeuchte. Zur Ermittlung dieser Positionen wurden 9348 Beobachtungen während der Fahrt und 2720 Messungen aus Standzeiten ausgewertet. Die drei Messorte für die höchsten Werte der Luftfeuchtigkeit ermittelten oft denselben Wert und wiesen Korrelationen von 0,77 bis 0,89 auf (Abbildung 31).

Abb. 31: Orte der höchsten Luftfeuchtigkeit im Fahrzeug.

Dargestellt ist eine Skizze des Versuchsfahrzeugs in der, durch Angabe der entsprechenden Sensorennummern (17, 19, 21), die Lokalisationen der höchsten relativen Luftfeuchtigkeit im Fahrzeug gekennzeichnet sind.

Bei der minütlichen Betrachtung der Luftströmung im Fahrzeug ergeben sich 13042 Beobachtungspunkte während der Fahrt, 629 entfielen auf Standzeiten des Fahrzeugs. Im Vergleich zu den bisher betrachteten Parametern Temperatur und Luftfeuchte verteilt sich die Luftströmung gleichmäßiger im Tierbereich des Transporters. Während der Fahrtzeit wurden mit 24,95 % die meisten Höchstwerte an Sensor 6 (unterer Ladeboden, lateral an der zweiten Tür von vorn) ermittelt. Die Sensorlokalisationen mit den zweithöchsten Anteilen an der Maximalluftströmung während der Fahrt waren Sensor 5 und Sensor 7 mit 13,65 % bzw. 13,95 %. Hielt das Fahrzeug dagegen an, wurden nur an drei Sensorpositionen zu mehr als 10 % der Zeit Höchstwerte ermittelt. Dies sind die Positionen 3, 7 und 9 mit 12,08%, 11,45 % und 11,13 % der Zeit. Abbildung 32 verdeutlicht die Positionen am Fahrzeug. Die Messwerte der Sensoren mit der höchsten Luftgeschwindigkeit sind weniger stark korreliert. Zwischen den Sensoren 03 und 05 liegt der Korrelationskoeffizient zwar bei 0,92, die weiteren Orte weisen aber nur Korrelationskoeffizienten zwischen 0,53 und 0,83 auf.

Abb. 32: Orte der höchsten Luftströmung im Fahrzeug.

Dargestellt ist eine Skizze des Versuchsfahrzeugs in der, durch Angabe der entsprechenden Sensorennummern (03, 05, 06, 07, 09), die Lokalisationen der höchsten Luftströmung im Fahrzeug gekennzeichnet sind.

Zur Ermittlung des Ortes der höchsten Enthalpie im Fahrzeug wurden 2421 Beobachtungen zu Fahrtzeiten und 1225 Beobachtungen zu Standzeiten ausgewertet. Diese ergeben bei Stillstand des LKW deutlich Sensor 20 als den Ort der höchsten Enthalpie mit 41,55 % der Zeit. Bei weiteren 12,24 % der Beobachtungen wurde der Höchstwert am Sensor 18 ermittelt. Während der Fahrt dagegen waren die Höchstwerte stärker im Fahrzeug verteilt. Vermehrte Maximalwerte ergaben sich an den Sensoren 2, 10 und 20 mit 21,35 %, 17,35 % und 9,67 % (Abbildung 33). Die angegebenen Orte für die höchste Enthalpie im Fahrzeug weisen untereinander Korrelationskoeffizienten von 0,77 bis 0,98 auf.

Abb. 33: Orte der höchsten Enthalpie im Fahrzeug.

Dargestellt ist eine Skizze des Versuchsfahrzeugs in der, durch Angabe der entsprechenden Sensorennummern (02, 10, 18, 20), die Lokalisationen der höchsten Enthalpie im Fahrzeug gekennzeichnet sind.

Für den **WD** wurden 3265 Stand- und 14061 Fahrtbeobachtungen ausgewertet. Generell verteilen sich die Höchstwerte sehr gleichmäßig auf die 24 Sensoren im Fahrzeug, wobei sich auf

dem unteren Boden die wenigsten und auf dem oberen Deck die meisten Höchstwerte ermitteln ließen. Die meisten Extremwerte wurden jedoch bei der Fahrt auf der unteren Etage vorne außen (Sensor 7, 18,18 %) und im Stand an Sensor 20 (oben mittig; 14,51%) ermittelt.

Zur Ermittlung des Ortes, an dem am häufigsten ein THI von über 75 ermittelt wurden, erfolgte die Auswertung von 664 Beobachtungszeitpunkten während der Fahrt und 532 Beobachtungszeitpunkten aus Standzeiten des Fahrzeugs. Aus diesen Werten ergeben sich die Sensoren 2, 10 und 20 als wichtige Positionen. Am Sensor 20 (oberer Boden mittig an der vorletzten Tür) werden bei Stillstand des Fahrzeugs zu knapp 62 % der Beobachtungszeitpunkte die Höchstwerte ermittelt und ebenfalls zu 13 % während der Fahrzeiten. An Sensor 2 (unterer Boden, hinten medial) werden zu 32 % der Fahrzeit und an Sensor 10 (mittlere Ladeebene, hinten medial) zu 15 % der Beobachtungszeiten während der Fahrt Höchstwerte ermittelt.

Die Ergebnisse für die Abkühlungsgröße verteilen sich sehr einheitlich im Fahrzeug. Von 13969 Beobachtungen während der Fahrt entfallen selten mehr als 10 % auf einen Sensor. Am häufigsten werden die Höchstwerte auf der oberen Etage hinten außen am Sensor 17 mit 20,41 % gemessen. Für die Fahrtunterbrechungen wurden 3272 Beobachtungen ausgewertet. Der höchste Anteil an Werten entfällt hier mit 18,61 % auf Sensor 5 auf der unteren Ladeetage außen.

Wie schon bei der Abkühlungsgröße verteilen sich auch für die WCT die Höchstwerte recht gleichmäßig im Fahrzeug. Nur an zwei Sensorpositionen werden mehr als 10 % der Maximalwerte ermittelt. Vorne außen auf der unteren Etage (Sensor 7) werden während der Fahrt 14,94 % der insgesamt 3206 analysierten Werte angesiedelt und im Stand sind an dieser Sensorposition 29,56 % der 203 analysierten Höchstwerte zu finden. 20,55 % der Höchstwerte bei der Fahrt finden sich an Sensor 24 (vorn mittig auf der oberen Etage). Hier werden während der Standzeit 22,66 % der Maximalwerte ermittelt.

4.5 Art der benötigten Sensoren auf einem Schweinetransporter

Durch eine Analyse des Zusammenhangs der Körpertemperatur der Indikatortiere als Kennwert für die Thermoregulation und der gemessenen sowie der errechneten Parameter hinsichtlich des Transportes soll entschieden werden, welche Art von Sensoren für Transportfahrzeuge von Schweinen zu empfehlen ist. Bei einer Temperatur im Tierbereich von unter 10 °C sah die Eignung der verschiedenen Parameter zur Vorhersage der Körpertemperatur wie in Abbildung 34 dargestellt aus.

Abb. 34: Anpassungs- und Vorhersagefehler verschiedener Parameter zur Voraussage der Körpertemperatur bei Temperaturen unter 10 °C im Fahrzeug.

Dargestellt sind der jeweilige Anpassungs- und Vorhersagefehler verschiedener Parameter (WD Wet bulb-Dry bulb-Index, RH = relative Luftfeuchte, A = Abkühlungsgröße, V = Luftgeschwindigkeit, WCT = Wind-Chill-Temperatur, h = Enthalpie, T = Temperatur, THI = Temperature-Humidity-Index) zur Voraussage der Körpertemperatur (°C) bei Temperaturen unter 10 °C im Fahrzeug.

Der Klimaparameter, der hier den stärksten Zusammenhang zur Körpertemperatur der Indikatortiere aufwies, war der THI mit einem Vorhersagefehler von 0,5709 und einem Anpassungsfehler von 0,5633. Ermittelt man die Eignung derselben Parameter zur Vorhersage der Zielgröße bei einer Temperatur im Fahrzeug von 10 bis 25 °C, ergibt sich das in Abbildung 35 dargestellte Bild.

Abb. 35: Anpassungs- und Vorhersagefehler verschiedener Parameter zur Voraussage der Körpertemperatur bei Temperaturen von 10 bis 25 °C im Fahrzeug.

Dargestellt sind der jeweilige Anpassungs- und Vorhersagefehler verschiedener Parameter (WD Wet bulb-Dry bulb-Index, RH = relative Luftfeuchte, A = Abkühlungsgröße, V = Luftgeschwindigkeit, WCT = Wind-Chill-Temperatur, h = Enthalpie, T = Temperatur, THI = Temperature-Humidity-Index) zur Voraussage der Körpertemperatur (°C) bei Temperaturen von 10 bis 25 °C im Fahrzeug.

Erneut zeigt sich der THI als der beste Klimaparameter zur Vorhersage der Körpertemperatur (Vorhersagefehler = 0,5878; Anpassungsfehler = 0,5877), die Innentemperatur weist aber nur einen geringfügig höheren Fehlerwert auf (Vorhersagefehler = 0,5882; Anpassungsfehler = 0,5878). Ermittelt man nun auch die Eignung zur Vorhersage bei Temperaturen über 25 °C, ergibt sich die in Abbildung 36 dargestellte Verteilung der Parameter.

Abb. 36: Anpassungs- und Vorhersagefehler verschiedener Parameter zur Voraussage der Körpertemperatur bei Temperaturen über 25 °C im Fahrzeug.

Dargestellt sind der jeweilige Anpassungs- und Vorhersagefehler verschiedener Parameter (WD Wet bulb-Dry bulb-Index, RH = relative Luftfeuchte, A = Abkühlungsgröße, V = Luftgeschwindigkeit, WCT = Wind-Chill-Temperatur, h = Enthalpie, T = Temperatur, THI = Temperature-Humidity-Index) zur Voraussage der Körpertemperatur (°C) bei Temperaturen über 25 °C im Fahrzeug.

Den geringsten Vorhersagefehler hat die Temperatur (0,4167), den geringsten Anpassungsfehler dagegen die Luftfeuchte (0,4884). Um einen weiteren Vergleich zwischen den analysierten Parametern herzustellen, sind im Folgenden die berechneten Korrelationen der Körpertemperatur zu den im Fahrzeug erhobenen und berechneten Parametern hinsichtlich des Klimas dargestellt (Tabelle 29).

Tab. 29: Spearman Rang-Korrelationen zwischen den erhobenen sowie den berechneten Klimaparametern am Fahrzeug und der Körpertemperatur (°C) der Tiere während der ausgewerteten Transporte (n=12)

Parameter	unter 10 °C	10 bis 25 °C	über 25 °C
Innentemperatur (°C)	-0,03	0,1	0,19
Luftströmung (m/s)	-0,42	-0,11	-0,02
Innenfeuchte (%)	0,02	-0,002	-0,04
Wind-Chill-Temperatur (°C)	-0,01	- ^e	- ^e
Abkühlungsgröße (mcal/cm ² s)	-0,01	-0,16	-0,09
Enthalpie (kJ/kg)	-0,02	0,007	0,17
THI	-0,03	0,02	0,18
WD	0,02	-0,1	0,08

* Alle Korrelationen in der Tabelle waren hoch signifikant ($p < 0,0001$)

^e konnte nicht berechnet werden, da WCT nur für Temperaturen < 10 °C definiert ist.

Die Korrelationen zwischen den gemessenen sowie den berechneten Klimakennwerten im Fahrzeug zur Körpertemperatur der Indikatortiere ist sehr gering. Bei Temperaturen von unter 10 °C im Fahrzeug hat die Luftströmung die höchste Korrelation zur Vaginaltemperatur der untersuchten Tiere. Bei Temperaturen über 25 °C sind es dagegen die Innentemperatur, THI und die Enthalpie.

5 Diskussion

5.1 Methodenkritik

In dieser Feldstudie wurden die Auswirkungen langer Beförderungen auf Schweine untersucht. Ziel der Untersuchungen war es, bei diesen Transporten das Ausmaß der Belastungen auf die Schweine zu erfassen und hinsichtlich ihrer Relevanz aus der Sicht des Tierschutzes zu bewerten. Eine weitere wichtige Aufgabe bestand in der Beantwortung der Frage zur Art und zur idealen Positionierung von Klimasensoren im Fahrzeug.

Geplant war die Begleitung von 14 langen Transporten unter Verwendung ein- und desselben Fahrzeugs. Durch technische Probleme konnten jedoch nur zehn Transporte mit allen geplanten Messdaten ausgewertet werden, weitere zwei Transporte waren nur eingeschränkt auswertbar. Damit konnten insgesamt zwölf Transporte in Hinblick auf die o.a. Fragestellung ausgewertet werden. Aufgrund der hohen Frequenz der Datenerhebung während des Transportes und der Anzahl der Untersuchungstiere je Beförderung ist das Ergebnis dieser Analyse dennoch weiterhin als aussagekräftig einzuschätzen.

Im Verlauf der Untersuchungen ergaben sich durch unterschiedliches Marktgeschehen drei verschiedene Bestimmungsorte für die untersuchten Transporte, so dass die Streckenführung jeweils geringgradig voneinander abwich. Da jedoch alle gefahrenen Routen ähnliche Anteile an Autobahn- und Landstraßenfahrten aufwiesen und auch die Anzahl der Fahrer des Testfahrzeugs auf drei begrenzt war, sind die Transporte miteinander vergleichbar.

Bei der Planung der zu platzierenden Sensoren im Fahrzeug war beabsichtigt, zusätzlich zu den verkabelten Sensoren auf der rechten Fahrzeugseite und in der Fahrzeugmitte, weitere Sensoren mit Speichereinheit (Logger) auf der linken Fahrzeugseite (in Fahrtrichtung), anzubringen. So dass hier die Möglichkeit zur Überprüfung gleicher Bedingungen wie auf der rechten Fahrzeugseite bestand. Da aber die Werte der autarken Sensoren häufig Ausfälle zeigten, wurde ihre Funktionssicherheit angezweifelt und die Daten dieser Messeinrichtungen wurden nicht mit in die Auswertung einbezogen. Die schlechteren Ergebnisse der Rotronic-Sensoren im Vergleich zu den Sensoren könnten bauartbedingt sein. Es kann jedoch nach eigenen Erfahrungen davon ausgegangen werden, dass bei gleicher Einstellung der Lüftungs-

klappen auf beiden Fahrzeugseiten auch im Fahrzeuginneren auf beiden Seiten zufallsbedingt dieselben Bedingungen herrschen. Dennoch wäre ein Vergleich der Messwerte beider Seiten wünschenswert gewesen.

Hinsichtlich der am Tier ermittelten Parameter konnten 13 Beförderungen ausgewertet werden, wobei es nicht bei allen Transporten möglich war, die geplante vierte Blutentnahme (D) sowie Körpertemperatur- und Herzfrequenzmesswerte von allen Tieren zu erhalten. Durch die Abläufe am Zielort war es bei den ersten vier Transporten nicht möglich, die Tiere mehrere Stunden im Wartestall stehen zu lassen. Sie wurden kurz nach ihrer Ankunft der Schlachtung zugeführt. Erst nach Änderung der Belade- und damit der Ankunftszeit am Zielort war die Entnahme einer Blutprobe nach einer Ruhezeit möglich. Das zeitweise Fehlen der vierten Blutentnahme schadet der Aussagekraft der Untersuchung jedoch nicht, da die fehlende Probe der Entnahme nach einer Ruhephase am Zielort entsprach. Eine Blutprobenentnahme direkt nach dem Abladen war bei allen Fahrten möglich, womit die Blutparameter hinsichtlich des Geschehens auf dem Transport auswertbar sind. Und auch trotz des Fehlens einiger Messwerte für die Körpertemperatur und die Herzfrequenz aufgrund von Funktionsstörungen der Thermometer bzw. nach Filterung der Herzfrequenzdaten, sind noch ausreichend Daten für eine belastbare Aussage vorhanden.

5.2 Belastungsfaktoren für Schweine beim langen Transport

5.2.1 Klimatische Gegebenheiten während der Transporte

Die Ergebnisse der im Tierbereich gemessenen Temperaturen zeigen während der Fahrt in allen Transportphasen einen deutlichen Zusammenhang der Innentemperatur zur Außentemperatur ($r = 0,85$). Dennoch steigt die Temperatur im Tierbereich in den Transportabschnitten mit stehendem LKW, wie z. B. bei der Verladung der Tiere und während der Fahrtpausen, unabhängig von der Außentemperatur, innerhalb kurzer Zeiträume deutlich an. Auch bei den Untersuchungen von FIORE et al. (2009) wurde ein enger Zusammenhang zwischen Temperaturen außerhalb und innerhalb des Fahrzeugs gefunden. CHRISTENSEN UND JONSSON (2007) dagegen weisen darauf hin, dass der Parameter „Außentemperatur“ kein geeigneter Indikator

für die Innentemperatur ist. Dies lässt sich wahrscheinlich dadurch erklären, dass die Innentemperatur zusätzlich auch durch den Bewegungszustand des Fahrzeuges (Fahrt oder Stand) beeinflusst wird. Die Fahrtpausen sind in diesem Zusammenhang somit als die kritischen Momente während des Transportes anzusehen, denen mit geeigneten Maßnahmen zu begegnen ist. Dies bestätigen Untersuchungen von CHRISTENSEN UND JONSSON (2007).

Teilweise wurden in der vorliegenden Untersuchung wie auch durch FIORE et al. (2009) Innentemperaturen unterhalb der Außentemperatur beobachtet. Letztere führten eine gute Isolation des Fahrzeugs gegenüber den Außenbedingungen als Begründung an. Ebenfalls denkbar wäre ein Messfehler des Außensensors, z. B. durch eine Verfälschung der Messung durch direkte Sonneneinstrahlung.

FIORE et al. (2009) zogen am Ende einer umfangreichen Temperaturmessreihe in Transportfahrzeugen in Europa den Schluss, dass die mittleren Temperaturen in Europa fünfmal häufiger ein Minimum von unter $+5\text{ °C}$ aufweisen als ein Maximum von über 30 °C . Auch in der vorliegenden Untersuchung war das Erreichen der in der Verordnung (EG) Nr. 1/2005 gegebenen unteren Temperaturgrenze ($+5\text{ °C}$) bzw. ihres Toleranzbereiches (± 5) deutlich häufiger zu beobachten als das Erreichen des oberen Toleranzbereiches ($30 \pm 5\text{ °C}$), wobei die obere Temperaturgrenze auch bei Transporten unter sehr warmen Bedingungen nicht überschritten wurde.

Als Richtwerte für die Behaglichkeitszone von Schweinen finden sich in der Literatur unterschiedliche Angaben. Als thermische Behaglichkeitszone werden von KOLB (1974) für Mastschweine im Stall 18 bis 23 °C angegeben. Im Bericht des SCAHAW (1999) heißt es, dass Mastschweine von 100 kg Gewicht eine Behaglichkeitszone von 18 bis 22 °C haben. Im Verlauf der vorliegenden Studie ergab sich bei sieben von zwölf hinsichtlich der Innentemperatur ausgewerteten Transporten eine Durchschnittstemperatur unterhalb dieses Bereiches. Die Minimaltemperatur lag bei jedem der begleiteten Transporte zumindest zeitweise unterhalb dieses Temperaturbereichs.

Fällt die Umgebungstemperatur unter die untere kritische Temperatur, wie in der vorliegenden Untersuchung während mehr als der Hälfte aller ausgewerteten Beförderungen geschehen, sind vom Tier Mechanismen zur Wärmebildung gefordert. Dies geschieht einerseits durch Verhaltensänderungen wie die Haufenlage mehrerer Tiere oder eine zusammengekauerte Haltung des Einzeltieres. Zum Anderen werden Mechanismen innerhalb des Körpers ausgelöst, wie beispielsweise das Kältezittern oder die Verengung des Durchmessers peripherer Blutge-

fäße (JESSEN 2000). Eine weitere Möglichkeit zur Wärmeproduktion besteht in der vermehrten Futteraufnahme, denn unmittelbar danach wird vom Organismus mehr Wärme produziert (PENZLIN 2005). Diese Möglichkeit stand allerdings den Tieren auf dem Transport nicht zur Verfügung.

MARIA (2008) gibt zu bedenken, dass als Ursache für Verluste bei transportierten Schweinen vor allem Hyperthermie zu nennen ist. Auch während der Untersuchungsfahrten wurden teilweise deutlich höhere Temperaturen als der angegebene Optimalbereich für Schweine ermittelt. Bei keinem der zwölf analysierten Transporte lag die Maximaltemperatur in der o. a. Behaglichkeitszone für Schweine. HUYNH et al. (2005a) fanden in ihren Untersuchungen zur Thermoregulation bei 60 kg schweren Schweinen in Gruppenhaltung bei ad libitum Fütterung, dass die obere kritische Temperatur zwischen 21,3 °C und 27,1 °C liegt, je nachdem, was als Maßstab für das Erreichen der oberen kritischen Temperatur gewählt wird (Rektaltemperatur, Atemfrequenz etc.). HUYNH et al. (2005b) berichten darüber hinaus von einem deutlichen Einfluss der Temperatur auf die Physiologie der Tiere, wenn die Umgebungstemperatur 22 °C überschreitet. Bei allen begleiteten Beförderungen lag die Maximaltemperatur im Tierbereich des Untersuchungsfahrzeugs, bei zwei Transporten sogar die mittlere Temperatur, oberhalb von 21 °C.

Die Umgebungstemperatur allein reicht jedoch nicht aus, um thermoregulatorische Belastungen aus der Umwelt der transportierten Tiere zu beschreiben (DALLA VILLA et al. 2008). Die relative Luftfeuchte kann die Thermoregulation der Tiere ebenfalls erheblich beeinflussen (MÜLLER UND SCHLENKER 2007). Die ermittelten Werte für die Luftfeuchte im Tierbereich lagen während der vorliegenden Untersuchung im Mittel bei 70 % mit einem Maximum von nicht selten 100 %. Auch bei den Versuchen von FIORE et al. (2009) lagen die Werte für die Luftfeuchte meist zwischen 60 und 90 %. Und CHRISTENSEN UND JONSSON (2007) gaben bei Fahrtpausen ohne mechanische Ventilation im Fahrzeug 97 % Luftfeuchte an. Vergleicht man die Ergebnisse aus Untersuchungen zum Tiertransport mit den Richtwerten für die Luftfeuchte bei der Stallhaltung von Schweinen, so liegen die Werte auf dem Transport in einem angemessenen Bereich (RUDOSVKY UND PRANGE 2004). Das betrifft auch die in der vorliegenden Studie erzielten Ergebnisse. AUGUSTINI UND FISCHER geben an, dass eine Luftfeuchte von 60 % gegenüber 90 % zu bevorzugen ist und RANDALL (1993) geht von einer akzeptablen Luftfeuchte aus, so lange Werte unter 95 % eingehalten werden. Die Luftfeuchtigkeit sollte zur Bewertung der Wirkung auf die Tiere nur im Zusammenhang mit der vorherrschenden Tem-

peratur betrachtet werden. Dazu wurden in der vorliegenden Untersuchung der THI, der WD sowie die Enthalpie berechnet.

Die Ergebnisse für den THI lagen im Mittel bei 59,71, wobei sich in den Fahrtpausen ein deutlicher Anstieg der Werte zeigte. Während der Fahrtunterbrechungen zeigten sich Messwerte von bis zu 82 und selbst im Verlauf der Transporte der Temperaturklasse 1 wurden Werte von über 76 in den Fahrtunterbrechungen errechnet. NANNI COSTA et al. (2003) ermittelten bei Transporten in Norditalien im August nur Maximalwerte von bis zu 76 während der Fahrunterbrechungen. BRÜSER-PIEPER (2006) kam bei der Untersuchung von Rindertransporten zwischen dem norddeutschen Aurich und Triest (Italien) auf 10 % der gemittelten Transportlängen mit Werten von über 78 für den THI im Laderaum. Dieses Ergebnis deckt sich mit den ermittelten Werten der vorliegenden Untersuchung.

Die berechneten Werte für die Enthalpie erzielten in der vorliegenden Studie ein Maximum von 155 kJ/kg und lagen damit deutlich unter den von GÖLLNITZ (2004) in einem Spezialtransporter für Babyferkel ermittelten Werte von bis zu 262 kJ/kg. Sie liegen jedoch deutlich oberhalb der von BÜSCHER (2002) für Mastschweine angegebenen „Hitzestressgrenze“ von 55 kJ/kg. Die Enthalpie stieg im Fahrzeug während der Fahrtpausen signifikant an. Auch in den Untersuchungen von GÖLLNITZ (2004) lagen die Enthalpiewerte bei Stand des Fahrzeuges am höchsten.

Die Ergebnisse für den WD ergaben ebenfalls die höchsten Messwerte in den Fahrtunterbrechungen. Des Weiteren bewerten auch CHRISTENSEN et al. (2007) die Kombinationen aus Luftfeuchte oberhalb von 84 % und Temperaturen über 24 °C negativ für die Tiere. Sie fanden entsprechend ungünstige Kombinationen aus Temperatur und Feuchte vor allem während der Beladung.

In der vorliegenden Untersuchung zeigten sich auf der oberen Ladeetage die höchsten Werte für die relative Luftfeuchte. Das liegt teilweise an den hier vorherrschenden relativ geringeren Temperaturen, andererseits sind sie hier teilweise höher als außerhalb des Fahrzeugs. Ebenfalls lag die Luftfeuchte bei Transporten mit geringeren Temperaturen höher und in der Nacht geringer als am Tag. Die negative Korrelation zwischen Luftfeuchte und Temperatur ist bekannt und wird auch in der Untersuchung von FIORE et al. (2009) für den LKW-Transport von Tieren bestätigt.

Der dritte gemessene Klimafaktor in der vorliegenden Untersuchung ist die Luftgeschwindigkeit. Der direkte Vergleich zwischen der Windstärke außerhalb und der Luftströmung inner-

halb des Fahrzeugs war nur während der Fahrtpausen möglich, wo sich Ähnlichkeiten im Verlauf der Messwerte zeigten. Während der Fahrt war die Luftströmung deutlich zur Fahrtgeschwindigkeit des Fahrzeugs korreliert. In jeder Fahrtpause vermindert sich die Luftströmung gegen 0 m/s, woraus das schon beschriebene Ansteigen der Temperatur resultierte. Bei einem Vergleich der ermittelten Werte mit den für das Schwein in der Stallhaltung veröffentlichten Richtwerte liegt der Mittelwert der gemessenen Luftgeschwindigkeit zwar in einem akzeptablen Bereich, teilweise wurden jedoch auch deutlich höhere Werte ermittelt.

Um die Auswirkung der Luftgeschwindigkeit auf die Tiere zu bewerten, wird sie in Zusammenhang mit der Temperatur betrachtet, denn vor allem bei geringen Temperaturen birgt eine hohe Luftgeschwindigkeit die Gefahr der Auskühlung (STEINHÄUSSER 1979). Zu diesem Zweck wurden in der vorliegenden Untersuchung die WCT und die Abkühlungsgröße berechnet. Die WCT zeigt an, dass die gefühlte Temperatur im Transporter während der Beförderungen der Temperaturklasse 1 im Mittel um 10 °C lag. Diese Temperatur liegt deutlich unter der Behaglichkeitszone für Schweine.

Die WCT weist während der Fahrtunterbrechungen einen Anstieg auf und die Abkühlungsgröße fällt. Die Wirkung von mechanischer Belüftung zur Vermeidung eines zu starken Anstieges der Temperatur während der Unterbrechungen sollte geprüft werden. In der vorliegenden Untersuchung waren in den Fahrtpausen die Ventilatoren nicht lang genug angeschaltet, um eine Aussage dazu treffen zu können. Grundsätzlich sollte die Transportplanung so gestaltet werden, dass Beladungen und Fahrtpausen möglichst nicht in die Tagesmitte mit den höchsten Temperaturen stattfinden sollten.

5.2.2 Wasserversorgung auf dem Transport

Während der untersuchten Transporte sollte der Wasserdurchfluss an der Tränkeleitung gemessen werden, um die Ergebnisse der Analyse des Flüssigkeitshaushalts der Tiere mit der Menge des aufgenommenen Wassers in Verbindung bringen zu können. Allerdings war die Messung des Wasserdurchflusses trotz Modifikation des Tränkesystems nur bei einigen Transporten möglich. Die Funktionsfähigkeit der Tränken während der Transporte, nicht jedoch die der Wasserzähler bzw. seiner Aufzeichnungen, konnte sichergestellt werden. Die

Erhebungen zum Durchfluss der Tränkeleitungen lieferten somit keine belastbaren statistisch verwertbaren Ergebnisse. Subjektiv betrachtet ist häufig Tränkwasser in die Einstreu gelangt.

Es zeigten sich Höhepunkte im Wasserverbrauch bei ruhiger Fahrt sowie in den Pausen, aber auch bei unruhiger Fahrt. Bei unruhigen Fahrabschnitten, infolge eines häufigen Abbremsens und Beschleunigens werden die Tiere auf dem Fahrzeug durchgerüttelt. Verlieren sie dabei die Balance, könnten die Spitzen im Wasserverbrauch bei unruhiger Fahrt durch Tiere entstehen, die gegen die Tränkenippel fallen. Dies würde auch das Wasser in der Einstreu erklären. Möglich wäre es aber auch, dass durch die Schwingungen des Fahrzeugs der Durchflussmesser in der Tränkeleitung in Bewegung versetzt wurde und deshalb hier höhere Werte anzeigte.

Der errechnete Durchschnittsverbrauch von 0,44 bis 2,47 l Wasser pro Tier liegt weit unter dem täglichen Bedarf von 8,5 bis 11 l pro Tier und Tag (RUDOVSKY 2008), wobei zu beachten ist, dass dieser Wert für Schweine in der Stallhaltung bei Fütterung gilt. Auf dem Transport erhielten die Tiere kein Futter. Dennoch scheint eine Wasseraufnahme von nicht einmal 2,5 l auf einem 24-stündigen Transport, der sowohl motorische als auch thermoregulatorische Anforderungen beinhaltet, als außerordentlich gering.

5.2.3 Fahrzeugbewegungen

Bei den Erhebungen zur Fahrtgeschwindigkeit des Fahrzeugs ergaben sich im Verlauf der Transporte ST09 und ST13 Probleme mit der Speicherung der Daten was die Größe der Stichprobe für Untersuchungen unter Einbeziehung der Fahrtgeschwindigkeit verringert. Jedoch ist für jeden Transport bekannt, zu welchen Zeiten das Fahrzeug fuhr oder stand und die Messung der triaxialen Beschleunigung des Fahrzeugs in longitudinaler, transversaler und vertikaler Richtung zur Fahrzeuglängsachse erfolgte ebenfalls bei 12 Transporten.

Die Beschleunigungsmesswerte aller drei Achsen zeigten eine Korrelation zur Fahrtgeschwindigkeit des Fahrzeugs. Diesen Zusammenhang stellten auch GEBRESENBET et al. (2011) in einer Untersuchung zur Vibration auf Tiertransportern fest. Bei den Untersuchungsfahrten zwei bis sechs (ST02 bis ST06) zeigte sich nach etwa 13 Stunden Transportzeit eine Zunahme der Beschleunigungswerte auf allen drei Achsen. Zu dieser Zeit befand sich das Fahrzeug in der Nähe von Teplice (Tschechien) und die Straßenverhältnisse verschlechterten sich nach

dem Verlassen Deutschlands. Somit weisen die Beschleunigungen eine Abhängigkeit von den Fahrbahnverhältnissen auf. Dieses Ergebnis wird auch von MARIA (2008) und PEETERS et al. (2008) bestätigt, die die Aussage treffen, dass Vibrationen des Fahrzeugs zum großen Teil durch die Fahrbahnbeschaffenheit verursacht werden.

BEHRENDTS et al. (1997) geben an, dass die vertikale Achse die stärksten Beschleunigungen aufweist. Auch in der vorliegenden Untersuchung zeigt sich der höchste Mittelwert für die Beschleunigung an allen drei Messorten auf der vertikalen (z) Achse. Die ermittelten Maximalwerte der Beschleunigung von bis zu 11 m/s^2 lassen sich mit den von BEHRENDTS et al. (1997) beschriebenen Werten vergleichen. In der Untersuchung von GEBRESENBET et al. (2011) wurden Beschleunigungswerte ermittelt, die geringer ausfallen. Die schwedische Untersuchung wurde jedoch mit einem erheblich kleineren Fahrzeug durchgeführt, was Grund für die geringeren Extremwerte sein könnte. RANDALL (1992) beschrieb $0,83 \text{ m/s}^2$ als mittleren Beschleunigungswert eines LKW.

In der Untersuchung von GEBRESENBET et al. (2011) wurde, wie auch in der vorliegenden Untersuchung, mit einem Korrelationskoeffizienten von ($r = 0,92$) ein enger Zusammenhang zwischen der Fahrtgeschwindigkeit und dem Ausmaß von Vibrationen gefunden. Die Fahrzeugbewegungen während der Fahrtunterbrechungen werden hier durch Bewegungen der Tiere begründet.

RANDALL (1992) beschreibt Vibrationswerte von über 2 m/s^2 , wie sie in der vorliegenden Untersuchung teilweise sogar als Mittelwert eines Sensors ermittelt wurden, als für den Menschen extrem unbequem. VAN DE WATER et al. (2003) setzten Kälber Beschleunigungen von 1, 2 und 3 m/s^2 aus und bestätigten die stärksten Reaktionen bei 3 m/s^2 . GEBRESENBET et al. (2011) weisen daraufhin, dass vom Chassis eines einstöckigen Rindertransporters nur zu 40 bis 70 % der Beschleunigungen auf den Boden des Tierbereichs übertragen wurden. Von hier erfolgte jedoch eine Übertragung von bis zu 158 % der Werte auf die Tiere.

Auf Grund der in der vorliegenden Studie beschriebenen Datenlage ist von einer erheblichen motorischen Belastung der Tiere auszugehen, die bei den Tieren in der Ladebucht 3 (vorne oben) am stärksten ausgeprägt sein dürfte, da an diesem Messort die höchsten Messwerte für die Fahrzeugbeschleunigung ermittelt wurden.

5.3 Belastungsreaktionen der transportierten Tiere

Anhand der Ergebnisse der Klimamessungen im Fahrzeug zeigt sich, dass die Thermoregulation der Tiere während der Untersuchungsfahrten beansprucht wurde. Während der Beförderungen bei geringen sowie auch bei hohen Außentemperaturen mussten die Tiere eine aktive Thermoregulation betreiben.

Die Innentemperatur des Fahrzeugs zeigte zum Teil Temperaturen, die deutlich unter der Behaglichkeitszone für Mastschweine lagen. Auch wurden zeitweise sehr hohe Luftgeschwindigkeiten im Fahrzeug ermittelt, die zum Auskühlen der Tiere führen können. Die Körpertemperatur der Indikatortiere zeigte jedoch bei den Transporten mit besonders geringen Temperaturen oder hohen Luftgeschwindigkeiten keine deutlich geringeren Ergebnisse. Dies liegt eventuell daran, dass geringe Temperaturen aufgrund der isolierenden Unterhautfettschicht (KOLB 1974) und dem dichten Zusammenliegen der Tiere (CHRISTENSEN et al. 2007) weniger belastende Auswirkungen haben. Dennoch bleibt hier zu beachten, dass die als gering empfundene Temperatur durch eine hohe Geschwindigkeit der Luftströmung zustande kommt und eine normale Thermoregulation nicht möglich ist.

In der Literatur wird im Vergleich zur Unterkühlung häufiger von einer Belastung durch hohe Temperaturen gesprochen (MARIA 2008). Auch in der vorliegenden Untersuchung zeigten sich vor allem während der Sozialpausen und bei der Beladung hohe Temperaturen im Fahrzeug. Das Schwein weist nur wenige Schweißdrüsen auf, die Wärmeabgabe erfolgt bei ihnen vorwiegend über andere Wege (Konduktion, Konvektion und Radiation) und ist erheblich stärker durch das Verhalten der Tiere geprägt. Bei steigenden Umgebungstemperaturen ist die Wirkung der direkten (sensiblen) Wärmeabgabe auf dem Transport jedoch stark eingeschränkt. Die Abgabe von Wärme durch Kontakt zum Boden (Konduktion) und über Strahlung (Radiation) ist durch die Einstreu und die umgebenden, ebenfalls warmen Artgenossen eingeschränkt. In diesem Fall wäre für eine bessere Thermoregulation der Tiere eine höhere Luftgeschwindigkeit im Fahrzeug wünschenswert. Eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit senkt zwar die radiative Wärmeabgabe infolge einer Reduzierung der Oberflächentemperatur, sie erhöht jedoch die konvektive und die evaporative Wärmeabgabe (STOLPE 1986, SCAHAW 1999).

Doch gerade in den Fahrtpausen, die durch hohe Temperaturen im Fahrzeug gekennzeichnet sind, fällt die Durchlüftung des Fahrzeugs gegen 0 m/s, so dass den Schweinen nur die Wär-

meabgabe durch Verdunstung bleibt. Aber auch hier zeigen die Werte, dass bei hohen Temperaturen wie in den Fahrtunterbrechungen die Temperatur-Feuchte-Indices besonders hoch sind und im Falle der Enthalpie, für die es einen Hitzstresswert für Schweine gibt, auch deutlich oberhalb dieser Grenze liegen. Trotz dieser eindeutigen Hinweise darauf, dass die Fahrtunterbrechungen schwere Belastungssituationen bedeuten, konnte eine Erhöhung der Körpertemperatur während der Beförderung, wie sie in anderen Untersuchungen nachgewiesen wurde (BROOM 1995; GEERS et al. 1997), während der hier vorliegenden Erhebungen nicht festgestellt werden.

In den Fahrtunterbrechungen ist die Begründung für die nicht steigende Körpertemperatur trotz des hohen Risikos für Belastungen eventuell darin zusehen, dass die Luftfeuchte auf die Physiologie der Tiere laut HUYNH et al. (2005a) nur einen geringen Effekt hat. Auch INGRAM (1964) gibt an, dass dieser Parameter keinen großen Einfluss auf die Körpertemperatur von Schweinen hat. Er beschränkt seine Feststellung jedoch auf Umgebungstemperaturen von unter 30 °C. RANDALL (1993) bestätigt, dass die Interaktionen zwischen Temperatur und Feuchte erst bei Temperaturen von über 30 °C für Schweine im Transport von Bedeutung sind. Vergleichbare Temperaturen wurden in der vorliegenden Untersuchung nur selten gemessen, so dass die Luftfeuchte nicht zwingend eine Belastung darstellte.

Dennoch bleibt die Tatsache bestehen, dass die Temperaturen teilweise deutlich oberhalb der Behaglichkeitszone und in den Fahrtunterbrechungen höher als bei der Fahrt liegen, ohne ähnliche Schwankungen in der Körpertemperatur auszulösen. Es ist offensichtlich, dass die Wärmeabgabe der Tiere gefordert ist, wobei bezüglich des Ausmaßes der Belastung zwischen Fahrt und Fahrtunterbrechung nicht direkt unterschieden werden kann. Denn während der Fahrt wird durch die Fahrzeugbewegungen starke, wärmeproduzierende Muskularbeit von den Tieren verlangt. In den Fahrtunterbrechungen zeigt das Fahrzeug geringere Beschleunigungen, so dass die Tiere weniger Muskularbeit verrichten müssen um diese auszugleichen. Die Thermoregulation wird in dieser Phase des Transportes durch die höheren Temperaturen und die fehlende Luftströmung gefordert, so dass trotz der geringeren Muskularbeit eine niedrigere Körpertemperatur nicht nachweisbar war.

Höhere Körpertemperaturen wurden auch während und kurz nach der Beladung, sowie am Zielort beim Abladen festgestellt. Aufgrund der zeitlichen Gegebenheiten ist davon auszugehen, dass der Anstieg der Körpertemperatur vor allem aus der physischen und psychischen Belastung in dieser Phase des Transportes resultierte. Auch MONIN et al. (1995) geben an, dass physische und/oder psychische Belastungen die Körpertemperatur relativ schnell anstei-

gen lassen. Zum Zeitpunkt der Beladung treten zwar auch höhere Temperaturen im Tierbereich des Untersuchungsfahrzeugs auf, die jedoch auf einer Wärmeabgabe der Schweine an das Fahrzeuginnere beruht. Das Fahrzeug ist vor dem Transport noch ausgekühlt. Die Schweine werden auf den Transporter geladen. Durch die ungewohnte Bewegung steigt ihre Körpertemperatur zu dieser Zeit an; die Tiere geben zur Thermoregulation und Normalisierung der Körpertemperatur Wärme an die Umgebung ab und wärmen auf diesem Weg das Fahrzeug auf.

Die Thermoregulation der Tiere wurde also durch die Bedingungen auf dem Transport (Temperatur, Muskularbeit zum Ausgleich von Beschleunigungen des Fahrzeugs) zwar deutlich gefordert (siehe auch Ergebnisse der Varianzanalyse), jedoch waren die Tiere meist in der Lage, die Temperatur im physiologischen Bereich zu halten. Allerdings wurden zeitweise Werte für die Vaginaltemperatur der transportierten Tiere gespeichert, die unterhalb des physiologischen Bereichs liegen. Dies war ein sehr geringer Teil der erhobenen Daten und könnte auf Messfehler zurückzuführen sein, denn sowohl bei Transporten mit geringen (unter 10 °C) als auch mit hohen (über 20 °C) Durchschnittstemperaturen im Fahrzeug wurden diese geringen Messwerte jeweils nur kurzfristig bei Einzeltieren aufgezeichnet. Andere Autoren geben an, dass bei Tieren auf dem Transport als Symptom der Reisekrankheit die Vasopressinkonzentration ansteigt. Daraus resultiert eine Weitstellung der Gefäße und damit eine erhöhte Wärmeabgabe mit der Folge einer Unterkühlung. Da aber in der vorliegenden Untersuchung nur kurzfristig geringere Körpertemperaturen auftraten und diese Werte nicht bis zum Ende des Transportes nachweisbar waren scheint die Reisekrankheit als Ursache eher unwahrscheinlich. Beim Herausnehmen der Messeinheiten bei Versuchsende lagen die I-Buttons® teilweise sehr weit kaudal. Dadurch könnte kurzfristig aufgrund äußerer Einflüsse die Korrelation zur Körperkerntemperatur der Tiere fehlen.

Die Herzfrequenz als Parameter für kurzfristige Belastungsreaktionen bestätigt, dass die ungewohnte körperliche Anstrengung der Beladung, die sich wie beschrieben in den Körpertemperaturwerten widerspiegelte, eine der stärksten Belastungen des Transportes darstellte. In der Literatur werden für die Herzfrequenz Ruhewerte zwischen 60 und 100 Schlägen pro Minute angegeben (SCHEUNERT et al. 1957; LOEFFLER 2002). Während der untersuchten Transporte lag der Großteil der Messwerte in einem Bereich um 100 Schläge pro Minute, wobei aber kurzzeitig stärkere physische oder psychische Belastungen sichtbar wurden. Daher waren beim Anlegen der Messgeräte, während der Blutentnahmen sowie beim Be- und Entladen Werte von bis zu 240 Schlägen/Minute nachweisbar. Des Weiteren war anhand der Herzfre-

quenz eine Beruhigung in den Fahrtpausen und in ruhigeren Fahrabschnitten (Phasen mit weniger Brems- und Beschleunigungsvorgänge) feststellbar. Diese Beruhigung bestätigt die These geringerer motorischer „Balancearbeit“ bei ruhiger Fahrt und in den Fahrtpausen.

Auch die Aktivität der untersuchten Enzyme bestätigte die motorische Belastung während des Transports. Die **CK-Aktivität** lag während der hier untersuchten Beförderungen bei $1848,53 \pm 2253,67$ U/l. KRAFT UND DÜRR (2005) verweisen darauf, dass die Referenzwerte stark laborabhängig sind und die Referenzwerte des untersuchenden Labors zu Grunde gelegt werden sollten. Von der Klinik für kleine Klautiere der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover werden 50 bis 999 U/l angegeben (STIFTUNG TIERÄRZTLICHE HOCHSCHULE 2010). GERBER (1984) berichtet nach Untersuchungen zum LKW-Transport von Schlachtschweinen von einer Ausgangsaktivität der Kreatinkinase als Mittel aller Tiere von 1698 U/l CK. Bei den Versuchen von GROTH (1987) ergab sich ein Ausgangswert von 902 U/l CK. Diese Werte lassen sich mit den Ergebnissen für die Blutentnahme A der vorliegenden Untersuchung vergleichen.

Im Verlauf der vorliegenden Untersuchungen ergab sich bis zum Blutentnahmezeitpunkt C (direkt nach Ende des Transportes) ein deutlicher Anstieg der Enzymaktivität von rund 200 % auf 3000 U/l. Dieser Verlauf wurde auch bei Untersuchungen anderer Autoren vorgefunden. GERBER (1984) berichtet bei der Untersuchung von verschiedenen Ladedichten von einem deutlichen Anstieg der CK-Aktivität durch den Transport auf im Mittel 107 % des Ausgangswertes. GROTH (1987) führt ähnliche Versuche mit anderem Platzangebot durch und stellt ebenfalls einen Anstieg der Kreatinkinaseaktivität im Blut der untersuchten Schweine nach dem Transport fest.

GRANDIN (1997) nennt die CK als einen nützlichen Parameter zur Bewertung des „Handling-Stress“ bei Schweinen. Der Geräuschpegel der Schweine in Bezug auf ihre Lautäußerungen (als Reaktion auf den Einfluss des Treibers) im Wartestall eines kommerziellen Schlachthofes korrelierte stark mit der CK-Aktivität. SKOLL et al. (1998) merken an, dass die CK-Aktivität beim Menschen innerhalb von 5 Minuten nach Beendigung eines Marathons ansteigt und zelluläre Verletzungen in der Muskulatur des Athleten anzeigt. Geht man von einer Halbwertszeit des Enzyms von 4 Stunden (KRAFT UND DÜRR 2005) aus, so ist es möglich, dass zum Zeitpunkt der Blutentnahme beim Entladen ein Großteil der z. B. durch die Fahrzeugbeschleunigungen bedingte Zunahme der Enzymaktivität bereits abgebaut wurde und zu einem Teil die Belastung des Entladens abgebildet wird. Dennoch zeigt der steile Anstieg der CK-Aktivität während des Transportes die motorische Belastung der Tiere durch die starken Fahr-

zeugbeschleunigungen ausreichend an. Das Ansteigen der CK-Aktivität zwischen den Entnahmezeitpunkten A und B ist durch das Handling der Schweine im Stall, das in diesem Zeitraum zum Anlegen der Untersuchungsgeräte notwendig war, zu erklären.

Die Aktivität des zweiten intrazellulären Enzyms zur Bewertung der Muskelbeanspruchung (**ASAT**) ergab im Mittel aller Proben einen Wertebereich von 6 U/l bis 75 U/l. Als Referenzwert gelten bis zu 35 U/l mit einer starken Abhängigkeit von Rasse, Alter und Reproduktionsstatus (KRAFT UND DÜRR 2005). BICKHARDT (1992) gibt für das Schwein als Referenzwert 8 bis 25 U/l und eine Halbwertszeit von 4 Stunden an. Die Aktivität dieses Enzyms nimmt vor allem bei Muskelerkrankungen mit einer Degeneration der Muskelzellmembran zu. Daher gilt es auch als guter Indikator für motorische Belastungen. In der vorliegenden Untersuchung lagen die Werte nach dem Transport deutlich über denen zu Beginn der Untersuchung, was eine Beanspruchung der Muskulatur bestätigt. Allerdings konnte kein signifikanter Zusammenhang zur Fahrzeugbeschleunigung nachgewiesen werden.

Das Verhältnis der Aktivität der beiden bisher betrachteten Enzyme zueinander stieg im Verlauf der beobachteten Transporte von rund 1:50 auf ca. 1:80 an. KRAFT UND DÜRR (2005) stellten fest, dass sich Muskelschäden bei einem Verhältnis der beiden Muskelenzyme von geringer als 50 vor allem auf die roten, bei einem Verhältnis von über 100 hingegen vorrangig auf die weißen Muskelfasern beschränkt. Da die Aktivität der CK stärker ansteigt als die der ASAT, bzw. **das Verhältnis von CK zu ASAT** nach dem Transport in Richtung CK verschoben war, kann geschlussfolgert werden, dass vor allem weiße Muskelfasern in den Skelettmuskeln betroffen waren. Diese sind für kurzzeitige und schnelle Muskelaktivitäten verantwortlich.

Mit einem Anstieg der **LDH-Aktivität** um rund 200 U/l und einem Mittelwert von $753,54 \pm 333,95$ U/l zeigten die Werte der vorliegenden Untersuchung einen ähnlichen Verlauf wie die von GERBER (1984) an transportierten Mastschweinen erhobenen Ergebnisse. Dieser stellte eine Erhöhung der LDH-Aktivität von 718 U/l vor dem Transport auf 991 U/l nach dem Transport fest. Auch WEEDING et al. (1993) fanden beim Vergleich von zwei Schlachthöfen im Wartestall 922,8 bzw. 1269,5 U/l als Aktivität der LDH. AVEROS et al. (2007) ermittelten ebenfalls bei der Untersuchung von Serumstressparametern bei transportierten Schweinen beim Abladen signifikant höhere Werte als vor dem Transport.

Insgesamt zeigten die untersuchten Enzyme eine teilweise erhebliche motorische Belastung der Tiere während des Transports an. Aufgrund der stärkeren Beanspruchung der weißen

Muskelfasern im Vergleich zu den roten ist von kurzfristigen Anstrengungen auszugehen, die vornehmlich zum Ausgleich von spontan auftretenden heftigen Fahrzeugbeschleunigungen mangelhaften Straßen (z. B. Schlaglöchern) oder plötzlichem Bremsen auftraten, wie es bereits aus den Werten der Herzfrequenz geschlussfolgert wurde.

Zusätzlich zu dieser motorischen Belastung an sich kommt die Tatsache, dass die Tiere während der untersuchten Transporte nicht gefüttert wurden. Somit unterlagen sie zum einen einer ungewohnten Situation (sie wurden meist ad libitum gefüttert), zum anderen wurde trotz des durch die ungewohnte motorische Belastung erhöhten Energiebedarfs keine Energie nachgeliefert. Die Glukosewerte lagen in der vorliegenden Untersuchung im Mittel um 5,0 mmol/l. Auch RAABE (1998) gibt bei der Untersuchung der Belastung von Schweinen am Schlachthof 4,5 mmol/l als Glukosewert bei der Entladung an, diese Werte wurden jedoch nach Kurztransporten ermittelt. LINDNER (1998) stellte in seiner Untersuchung zur Transportbelastung von Mastschweinen vor der Verladung einen mittleren Glukosewert von 4,71 mmol/l fest, der sich bei der Entladung der Tiere am Schlachthof leicht, aber nicht signifikant, erhöht hatte.

Die von BRYER et al. (2011) ermittelten Basiswerte von 4,68 mmol/l Glukose im Plasma von Jungsauen stiegen während des Transportes leicht an, wie es auch in der vorliegenden Untersuchung im Mittel aller Transporte der Fall war. Im Vergleich zu anderen Untersuchungen von Schweinen beim Transport ergaben sich somit keine ungewöhnlichen Glukosewerte in der vorliegenden Untersuchung. Es konnten in der Varianzanalyse keine Einflüsse der Fahrzeugbeschleunigungen oder des Standortes im Fahrzeug auf den Energiehaushalt nachgewiesen werden und es konnte trotz der starken Fahrzeugbewegungen, die besonders auf Tiere in Bucht 3 gewirkt haben müssen (vorne oben), durch die Untersuchung der Glukosekonzentration im Plasma keine energetische Ermüdung durch den langen Transport festgestellt werden.

Diese Einschätzung der Auswirkungen des Transportes auf die Energieversorgungslage der Tiere wird durch die Ergebnisse der Laktatuntersuchung bestätigt. Mit Werten um 3 mmol/l waren die erhobenen Werte mit denen aus der Untersuchung von RAABE (1998) vergleichbar, der ebenfalls beim Entladen Werte in dieser Höhe ermittelte. LINDNER (1998) gab hingegen an, keine signifikante Veränderung der Laktatwerte gefunden zu haben. Letzteres wurde in der vorliegenden Untersuchung bestätigt.

Die leichte Erhöhung der Glukosekonzentration kann durch die allgemeine Belastung der Tiere erklärt werden. Bei emotionaler Belastung können durch hormonelle Einwirkung von Adrenalin und Cortisol die Glykogenolyse, Glukoneogenese und Lipolyse aktiviert sein, so dass

die Glukose-Bereitstellung den Bedarf übertrifft und daraus eine milde Hyperglykämie resultiert (BICKHARDT 1992). Allerdings bestätigen die Ergebnisse der Cortisolbestimmung diese These nur teilweise.

Die Ausschüttung von **Cortisol** steht sowohl in Verbindung mit physischen Belastungen, wie z. B. thermalem Stress, als auch mit psychischem Stress, wie z. B. dem Transport als Gesamtereignis (WEEDING et al. 1993). In der vorliegenden Untersuchung zeigten die beobachteten Plasmacortisolkonzentrationen eine sehr große Spannweite der Einzeltierwerte. Auch STEFFENS (1999) fand bei der Untersuchung von transportierten Schweinen beim kurzen Transport erhebliche tierindividuelle Unterschiede im Gehalt dieses Belastungsparameters. Mit Werten zwischen 4,09 ng/ml und 162,41 ng/ml lagen die Werte der vorliegenden Untersuchung jedoch unter denen von BREINEKOVA et al. (2007) beim Transport von Schweinen gefundenen Werten, denn in jener Untersuchung wurden Ergebnisse von $273,54 \pm 66,17$ nmol/l vor und $355,69 \pm 89,13$ nmol/l nach dem Transport ermittelt. LINDNER (1998) dagegen stellte bei Untersuchungen zur Belastung von Mastschweinen beim Transport einen Ausgangswert von 28 bis 68 mmol/l im Blut der Tiere und damit geringere Werte als in der vorliegenden Untersuchung fest. In der Untersuchung von STEFFENS (1999) wurden Werte erhoben, die den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung in der Höhe und der Spannweite sehr ähnlich sind. Bei STEFFENS (1999) wurden nach dem Transport 186 bzw. 253 ng/ml je nach Rasse als Maximalwerte für den Cortisolgehalt und 20 bis 90 ng/ml entsprechend als Minimalwert angegeben.

In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich ein Anstieg der Cortisolwerte während der Beförderung. BREINEKOVA et al. (2007) fanden ebenfalls einen Anstieg des Cortisolgehaltes im Plasma von transportierten Schweinen. LINDNER (1998) berichtet, dass während des Transportes der Cortisolspiegel anstieg, um dann nach einer Plateauphase wieder zu sinken. Ein signifikanter Abfall ergab sich hierbei erst ab der zweiten bis zur vierten Fahrtstunde. Aber auch in jener Untersuchung lagen nach dem Transport die Cortisolwerte der Untersuchungstiere noch signifikant höher als die Ausgangswerte.

Im Gegensatz zu den schnell wirkenden Mediatoren der Belastungsreaktion wie den Katecholaminen Adrenalin und Noradrenalin reguliert der Organismus die längerfristige Anpassungsreaktion an Belastungen über Cortisol. Da die ohnehin hohen Werte schon vor dem Transport (bedingt durch Manipulationen am Tier) während des Transportes noch weiter steigen, kann hier von einer andauernden Belastung des Tierorganismus ausgegangen werden. Zu

bedenken bleibt, dass das Cortisol eine Ausschüttungslatenz von 10 bis 20 Minuten nach Eintreten der Belastung aufweist, d. h. dass der Höchstwert erst verzögert erreicht wird. Bei ungeeigneter Wahl des Blutentahmezeitpunktes besteht somit die Gefahr einer falsch-negativen Aussage bezüglich der Auswirkung einer Belastungssituation (GRANDIN 1997). Dies könnte die große individuelle Spannweite der Ergebnisse erklären.

Neben den bereits aufgezeigten Belastungen durch Mikroklima und Fahrzeugbewegungen zeigt sich häufig auch eine schlechte Flüssigkeitsversorgung von transportierten Tieren diskutiert. Die Wasserversorgung der Tiere auf dem Transport soll in der vorliegenden Untersuchung durch eine Untersuchung der Konzentrationen an Gesamtprotein, Albumin, Natrium sowie dem Hämatokrit im Plasma bewertet werden. Die erhobenen Daten für den Gesamteiweißgehalt bewegten sich zwischen 60,10 und 89,00 g/l Blutplasma, wobei sich höhere Werte nach dem Abladen im Vergleich zum Beginn der Untersuchung ergaben. Eine Erhöhung des Gesamtproteingehaltes im Blut ist unter anderem als Folge von Wassermangel möglich (KRAFT UND DÜRR 2005). Da aber BICKHARDT (1992) 86 g/l als Normalwert für Schweine angibt, ist die Erhöhung der Proteinkonzentration in der vorliegenden Untersuchung nicht als Dehydration (Wassermangel) zu werten, sondern nur als Zeichen dafür, dass die Schweine auf dem Transport weniger Flüssigkeit als im Zeitraum vor der Verladung aufgenommen haben. Dies führt zu einer relativen Hämokonzentration durch verringerte Anteile an Blutplasma. Auch BRYER et al. (2011) fanden bei transportierten Jungsauen höhere Werte für die Proteinkonzentration als in einer Kontrollgruppe, wobei die Kontrollgruppe im Mittel 70 g/l aufwies und die transportierten Tiere bei 74 bis 73 g/l lagen. Die Autoren sprechen hierbei von einer leichten Dehydration, weisen aber darauf hin, dass die Tiere während dieser Transporte keinen Zugang zu Wasser hatten und ein ähnlich leichter Anstieg der Eiweißwerte bei nicht transportierten Pferden ohne Zugang zu Wasser festgestellt wurde. Hieraus wird geschlossen, dass die Zunahme des Proteingehalts nicht auf den Transport an sich, sondern direkt auf das fehlende Wasser zurück zu führen ist. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung geben im Vergleich hier zu Anlass, den Nutzen der Bereitstellung von Wasser während des gesamten Transportes zu überdenken. Denn die hier untersuchten Tiere hatten einen vergleichbaren Anstieg in der Konzentration des Gesamteiweißes im Plasma wie Tiere, die gar keine Möglichkeit hatten, Wasser aufzunehmen. Andererseits ist eine Dehydration eine Belastung insbesondere dann, wenn erhöhte Anforderungen an die Thermoregulation gestellt werden. Abgesehen davon ist Durst eine psychische Belastung für die Tiere. Eventuell wäre ein Tränken der Tiere in den Fahrtunterbrechungen möglich.

Mit $31,93 \pm 3,87$ g/l und höheren Werten nach dem Transport sind die Ergebnisse der Analyse von **Albumin** im Plasma der Indikatortiere mit den Ergebnissen für den Gesamtproteingehalt vergleichbar. Da die Albumine den größten Teil der Plasmaproteine stellen, ist es wohl wahrscheinlich, dass die steigende Proteinkonzentration durch eine steigende Albuminkonzentration verursacht wurde. BRYER et al. (2011) fanden mit 41 g/l nach dem Transport höhere Werte bei transportierten Jungsauen, als sie in der vorliegenden Studie gefunden wurden. Allerdings wurden in dieser Untersuchung auch in der Kontrollgruppe schon höhere Werte ermittelt (39 g/l). BICKHARDT (1992) gibt als Referenzwert für den Gehalt an Albumin beim Schwein 18 – 31 g/l an und damit einen etwas geringeren Bereich als die Werte, die in der vorliegenden Untersuchung ermittelt wurden. Dennoch führte die Erhöhung des Albumingehaltes während des Transportes nicht zu unnatürlich hohen Werten nach dem Transport. Eine Dehydration der Tiere kann somit trotz der gestellten motorischen und thermoregulatorischen Anforderungen während des Transportes ausgeschlossen werden.

Die Ergebnisse für den **Hämatokritwert** lagen gemittelt bei $36,66 \pm 4,41$ %. Im Gegensatz zu den Plasmaproteinen zeigt sich hier keine steigende Tendenz. Ein Mangel an Tränkwasser lässt sich hier somit nicht vermuten. Beim Schwein liegt der normale Hämatokritwert nach LOEFFLER (2002) bei 41,5 %. STEINHARDT et al. (1977) geben bei der Fixation des Tieres in der Bucht mittels Nasenschlinge einen durchschnittlichen Belastungs-Hämatokritwert von 48,36 % an. LÖSCH et al. (2000) berichten für das Schwein einen Hämatokritwert von 0,33 – 0,45 l/l (entspricht 33 bis 45 %) an und auch bei KRAFT UND DÜRR (2005) wird ein Referenzwert von 33 bis 45 % genannt. Somit liegen die ermittelten Werte sowohl vor als auch nach dem Transport im Referenzbereich.

Beim Vergleich der Werte zu Beginn der Untersuchung und nach dem Transport ergab sich kein signifikanter Unterschied. Dasselbe Ergebnis fand auch LINDNER (1998) bei der Untersuchung der Transportbelastung von Mastschweinen mittels Blutanalyse aus Proben eines Venenverweilkatheters. RAABE (1998) berichtet ebenfalls von einem Abfall des Hämatokritwertes während des Transportes.

Eine parallele Erhöhung von Hämatokrit und Gesamtprotein ist als ein Anzeichen für eine Dehydration zu werten (BICKHARDT 1992). Dieses Kriterium zum Feststellen einer Dehydration wurde in der vorliegenden Untersuchung nicht erfüllt.

Der **Natriumgehalt** im Plasma der Versuchstiere lag im Mittel bei $141,19 \pm 5,17$ mmol/l und sank zwischen den Entnahmen A und C ab. Als Referenzwerte werden in der Literatur 140 bis

160 mmol/l genannt (BICKHARDT 1992; KRAFT UND DÜRR 2005). Somit lagen die Natriumwerte der transportierten Tiere im unteren Bereich der Normalwerte.

Ist das Gleichgewicht zwischen Wasseraufnahme bzw. endogener Wasserproduktion auf der einen sowie Ausscheidung und latenter Wärmeabgabe auf der anderen Seite in Richtung der Wasserabgabe verschoben, wird die Ausschüttung des Antidiuretischen Hormones (ADH) stimuliert und die renale Ausscheidung von Wasser herabgesetzt. Damit sinkt auch die Natriumausscheidung. Somit weisen die sinkenden Werte dieses Belastungsparameters in der vorliegenden Studie darauf hin, dass die Wasseraufnahme der transportierten Tiere vor allem bei den Transporten mit geringeren Temperaturen nicht optimal war.

Zusammenfassend weisen die Parameter des Flüssigkeitshaushalts daraufhin, dass die Versorgung der transportierten Tiere mit Wasser für eine ausgeglichene Flüssigkeitsbalance nicht ausreichend war. Des Weiteren lässt das Verhältnis der Eiweißfraktionen im Blut auf eine unspezifische Entzündungsreaktion der Tiere schließen. Dennoch konnte eine Dehydration bei diesen über sehr lange Strecken transportierten Tieren nicht festgestellt werden. Eventuell ist ein Tränken der Tiere in den Fahrtunterbrechungen ausreichend.

5.4 Positionierung der Klimasensoren während des Tiertransports

5.4.1 Temperatur

Innerhalb des Fahrzeugs variierten die Temperaturen zwischen den einzelnen Sensoren während der Fahrt mit höheren Temperaturen in der Fahrzeugmitte im Vergleich zur Außenseite. Die Ladeetagen und die Position des Sensors längs zur Fahrtrichtung des Fahrzeugs (vorne oder hinten) sind ebenfalls Gründe für Variationen in der Temperatur. Der Ort der nach der Verordnung (EG) Nr. 1/2005 zu lokalisierenden extremsten Temperaturen im Fahrzeug ändert sich in Abhängigkeit von der Frage nach hohen oder tiefen Temperaturen im Tierbereich und des Fahrabschnittes (Bewegung oder Stand des Fahrzeuges).

In der hier vorliegenden Untersuchung wurden die höchsten Temperaturen während der Fahrt vor allem im vorderen Bereich des unteren Bodens angezeigt, wie auch bei FIORE et al. (2009). HONKAVAARA (2008) gibt in seinen Transportuntersuchungen ebenfalls die Bucht „vorne

unten“ als den Ort der höchsten Temperatur an. Diese Ergebnisse wurden von CHRISTENSEN et al. (2007) bestätigt. Allerdings wurde in der vorliegenden Untersuchung ein noch größerer Anteil von maximalen Temperaturwerten im Tierbereich im hinteren Bereich des Fahrzeugs gefunden. Eine Unterteilung der Transporte in Fahrt- und Standzeiten wurde in den hier erwähnten Referenzuntersuchungen jedoch nicht vorgenommen, so dass der in der hiesigen Studie abweichende Ort der höchsten Temperaturen in den Fahrtpausen nicht verglichen werden kann.

Der Grund für die höhere Temperatur im vorderen Bereich des Fahrzeugs liegt in der Belüftung des Fahrzeugs. Die bei der Fahrt im hinteren Teil des Fahrzeugs eintretende Luft erwärmt sich über den Tieren und ist somit vor ihrem Austreten im vorderen Teil des Fahrzeugs wärmer als bei ihrem Eintreten in den hinteren Abschnitt des Fahrzeugs (KETTLEWELL et al. 2003). Insbesondere in Fahrtabschnitten befinden sich zu einem Großteil der Messzeitpunkte in der vorliegenden Untersuchung und auch in allen weiteren, der hier angeführten Untersuchungen die höchsten Temperaturen im vorderen Tierbereich des Fahrzeugs.

FIGLIORE et al. (2009) geben in ihren Untersuchungen an, dass häufig von der Temperatur im Fahrzeug auf die Anwesenheit von Tieren geschlossen werden konnte, da die Tiere das Fahrzeug zusätzlich gegenüber den Außenbedingungen aufheizen. Dieser Effekt wurde auch in der vorliegenden Untersuchung beobachtet, insbesondere durch die steigenden Temperaturen während der Verladung. Es zeigte sich in den Untersuchungen von FIGLIORE et al. (2009) aber auch, dass die Erwärmung des Fahrzeuginnen durch die Tiere bei Temperaturen von über 20 °C schwächer ausfiel als bei geringeren Temperaturen. Auch in der vorliegenden Untersuchung war der Unterschied zwischen Innen- und Außentemperatur bei geringeren Außentemperaturen größer als bei hohen.

Hierin könnte auch die Begründung für den Ort der höchsten Temperaturen bei der vorliegenden Untersuchung liegen. Es wurden hier bei der Suche nach dem Ort der höchsten Temperatur im Fahrzeug nur Momente einbezogen, an denen die Temperatur im Fahrzeug generell über 25 °C lag. In diesem Temperaturbereich findet eventuell keine Erwärmung der Luft über den Tieren mehr statt.

Für den Ort der geringsten Temperaturen im Fahrzeug zeigen die Sensoren 17 (hinten oben, Fahrt) und 03 (hinten unten, Stand) die meisten Beobachtungszeitpunkte. CHRISTENSEN et al. (2007) ermittelten „hinten oben“ als den Ort der geringsten Temperaturen im Fahrzeug, da jedoch bei dieser Untersuchung die Ergebnisse nicht in Fahrt und Standzeit unterteilt wurden, der Großteil eines Transportes aber aus Fahrzeit besteht, wird dies als Bestätigung der vorlie-

genden Untersuchung gewertet. CHRISTENSEN UND JONSSON (2007) dagegen gaben die hintere Bucht des unteren Bodens als den Ort der geringsten Temperatur an, dieser wurde in der vorliegenden Untersuchung als der Ort der geringsten Temperaturen im Fahrzeug bei Fahrtunterbrechungen ermittelt. So kann auch diese Position als wichtiger Ort für die Ermittlung der extremsten Klimabedingungen im Fahrzeug und somit als Anbringungsort für Sensoren bestätigt werden.

Der Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden erwähnten Untersuchungen bzw. die Übereinstimmung zwischen dem Ort der geringsten Temperatur während der Pausen in der vorliegenden Untersuchung mit dem Ort der geringsten Temperaturen über den gesamten Transport in der Untersuchung von CHRISTENSEN UND JONSSON (2007) kann eventuell durch Unterschiede in der Fahrtgeschwindigkeit erklärt werden oder durch einen höheren Anteil an Standzeiten während dieser Transporte.

CHRISTENSEN et al. (2007) folgern aus ihren Untersuchungen, dass der Fahrer die Temperatur in der wärmsten und kältesten Bucht kontrollieren können sollte. FIORE et al. (2009) geben in diesem Zusammenhang drei Sensoren als die optimale Anzahl an. Aus der Auswertung der Temperaturmessungen der vorliegenden Untersuchung ergab sich, dass zur Messung der höchsten Temperatur die Positionen 02 (unteres Deck, hinten medial), 08 (unteres Deck, vorne medial) und 20 (oberes Deck, Mitte, medial) und zur Messung der geringsten Temperatur die Sensoren 17 (oberes Deck, hinten, lateral) und 03 (unteres Deck, Mitte, lateral) geeignet sind. Diese Sensorpositionen haben bei Innentemperaturen oberhalb von 25 °C und unterhalb von 10 °C (wichtige Temperaturgrenzen für Schweine auf dem Transport nach EFSA (2004b) und CHEVILLON et al. (2002)) bei mehr als 60% der Messzeitpunkte die höchste bzw. niedrigste Temperatur angezeigt. Um die Extremwerte im Tierbereich zu erfassen, ist somit die gleichzeitige Messung an allen fünf Messpunkten zu empfehlen. Da jedoch die Messwerte der Sensoren 02 und 08 bei hohen Temperaturen von über 25 °C einen Korrelationskoeffizienten von 0,94 und die der Sensoren 17 und 20 bei niedrigen Temperaturen von unter 10°C einen Korrelationskoeffizienten von 0,96 bei tiefen Temperaturen von unter 10 °C aufweisen, kann hier jeweils ein Sensor eingespart werden. Somit liegt die Zahl der zu empfehlenden Sensoren bei drei.

5.4.2 Luftfeuchte

Luftfeuchte ist, vor allem bei steigender Temperatur, ein kritischer Faktor im Zusammenhang mit der Thermoregulation der Tiere (RANDALL 1993). Auch für diesen Klimaparameter wurde der Ort der höchsten Messwerte ermittelt. Als Ort der maximalen Luftfeuchte im Fahrzeug ergaben sich die Sensoren im hinteren Teil des oberen Ladebodens. Auch FIORE et al. (2009) fand bei der Untersuchung von 905 Tiertransporten die höchsten Luftfeuchtwerte hinten oben im Fahrzeug. CHRISTENSEN et al. (2007) dagegen fanden die meisten Maximalwerte für die Luftfeuchte im Fahrzeug vorne auf dem oberen Ladeboden. Grund für diesen Unterschied im Ort der höchsten Luftfeuchte könnte der abweichende Fahrzeugtyp sein, denn in jener Untersuchung wurde ein Hängerzug statt eines Sattelauflegers verwendet. Durch die hohe Korrelation der Werte der hiesigen Untersuchung untereinander könnte sogar die Messung an einem Sensor genügen, um einen ausreichenden Anteil hoher Werte aufzuzeichnen.

5.4.3 Luftströmung

Die höchsten Werte für die Luftströmung ergaben sich auf dem oberen und unteren Boden. Da aber nur selten an einem Messort mehr als 10 % der Höchstwerte anfallen, ist es kaum möglich, mit einer vertretbaren Anzahl an Sensoren die Höchstwerte im Fahrzeug zu ermitteln.

5.4.4 Indices um die Auswirkung des Klimas auf das Tier zu bewerten

Die Messung der höchsten Werte für den THI ließe sich laut der Ergebnisse dieser Untersuchung mit drei Sensoren bewerkstelligen. Mit Sensoren an den Positionen 20 (obere Ladeetage, vorletzte Tür, mittig), 10 (mittlere Ebene, hinten, mittig) und 02 (unteres Ladedeck, hinten, mittig) ließen sich sowohl bei der Fahrt als auch im Stand über 60 % der Höchstwerte ermitteln. BRÜSER-PIEPER (2006) fand auf dem oberen Boden im Stand ebenfalls die höchsten Werte für den THI.

Für die Enthalpie empfiehlt sich die Messung auf der oberen Ladeetage an zwei Positionen, um Höchstwerte bei Stillstand des Fahrzeugs sicher erfassen zu können. Während der Fahrt dagegen wird es schwierig, den Ort der extremsten Bedingungen zu lokalisieren. Hier werden an nur zwei Positionen zu mehr als 10 % der Zeit Maximalwerte erreicht. Ähnlich fällt das Ergebnis für die weiteren Indices (WD, WCT und Abkühlungsgröße) aus. Selten ergeben sich für diese Parameter Positionen im Fahrzeug, an denen zu mehr als 10 % der Zeit Höchstwerte ermittelt werden. Diese geringen Differenzen zwischen den einzelnen Positionen erlauben keine Messung mit einer vertretbaren Anzahl von Sensoren.

5.5 Art der benötigten Sensoren auf einem Schweinetransporter

Je nach betrachtetem Temperaturbereich ergaben sich unterschiedliche Parameter als am besten geeignet, um die Körpertemperatur vorherzusagen. Jedoch ist zu beachten, dass der Unterschied zwischen den verschiedenen Parametern meist erst in der vierten Nachkommastelle ersichtlich wurde. Etwas fragwürdig ist die Eignung des THI bei geringen Temperaturen als bester Klimaparameter der Körpertemperatur. Da Schweine kaum Schweißdrüsen haben (RATSCHOW UND SCHULTE-SUTRUM 2003), spielt bei ihnen die Luftfeuchte, die in diesem Index stark gewichtet wird, eine untergeordnete Rolle für die Thermoregulation. Ebenso fällt bei geringen Temperaturen der Einfluss der Luftfeuchte auf die Thermoregulation von Tieren geringer aus als die Wirkung der Luftgeschwindigkeit. Eventuell ist dieses Ergebnis eine zufällige Übereinstimmung, denn die Variation in der Zielgröße (Körpertemperatur) war sehr gering. Des Weiteren lagen die ermittelten Werte der Körpertemperatur nicht außerhalb des physiologischen Bereichs.

Daher ist davon auszugehen, dass die Thermoregulation der Tiere trotz teilweise ausgeprägter Schwankungen der Innentemperatur und der Luftfeuchte unabhängig vom Klima im Tierbereich gelang. Die derzeit vorgeschriebene Messung der Temperatur erscheint daher im untersuchten Temperaturfeld als ausreichend, um eine Aussage über das Wohlbefinden der Tiere hinsichtlich der Thermoregulation zu treffen. Um Aussagen für die Eignung der Messung von Luftfeuchte oder Luftgeschwindigkeit unter oder über dem beobachteten Temperaturbereich treffen zu können, sind entsprechende Untersuchungen zu veranlassen.

6 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Unter den Bedingungen der Untersuchung (Klima, Fahrzeug, Dauer der Transporte, Ladedichten, Ventilationsbedingungen) wurde die Thermoregulation der Tiere durch die thermischen Gegebenheiten im Fahrzeug sowie die Fahrzeugbeschleunigungen gefordert, es gelang aber, die Körpertemperatur in einem angemessenen Bereich zu halten.
- Die Untersuchung zum Flüssigkeitshaushalt der Tiere gibt Anlass, die Eignung der verwendeten Tränketchnik zu überdenken. Das Gleiche gilt für den Nutzen der von der Verordnung (EG) Nr. 1/2005 vorgeschriebenen ständigen Bereitstellung von Wasser während des gesamten Transportverlaufes.
- Von den physikalischen Belastungsfaktoren zeigen unter den Bedingungen dieser Untersuchung die Beschleunigungswerte den größten Einfluss auf die Tierreaktion. Bei der Analyse der Belastungsindikatoren am Tier zeigte sich zwar kein signifikanter Einfluss der Fahrtbedingungen, wohl aber ein deutliches Ansteigen der physiologischen Belastungsparameter (Blutproben, Herzfrequenz, Körpertemperatur). Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Fahrzeugtechnik (Federung, Beschleunigungsdämpfung) und das Fahrverhalten wichtige Einflussgrößen auf die Belastungsreaktion der Tiere beim Transport darstellen.
- Insgesamt scheint die physiologische Anpassungsfähigkeit (einschließlich des Energiehaushaltes) der Schweine an die Bedingungen der hier durchgeführten langen Transporte nicht überfordert zu sein.
- Für eine unter den hier untersuchten Bedingungen verlässliche Einschätzung der thermischen Belastung der Schweine bei langen Transporten ist eine Aufzeichnung der Temperaturwerte ausreichend. Die nach Verordnung (EG) Nr. 1/2005 zu lokalisierenden Extremwerte (Anbringungsorte der Sensoren) sind hierfür beim untersuchten Fahrzeugtyp (Sattelaufleger) an folgenden Positionen vorzufinden: oberer Ladeboden: hintere Hälfte, Fahrzeugmitte; mittlerer Ladeboden: hinten, Fahrzeugmitte; unterer Ladeboden: vorne, Fahrzeugmitte.
- Die Untersuchung der langen Transporte von Schweinen erfolgte unter den Ventilationsbedingungen der Praxis (freie Lüftung). Hierbei kam es bei der üblichen Ladedich-

te (230 kg/m^2) während der Standpausen zu signifikanten Erhöhungen der Fahrzeuginnentemperaturen. Es ist deshalb dringend zu empfehlen, sowohl beim Beladen des Fahrzeugs als auch während der Standpausen die Ventilationsanlage einzuschalten.

7 Zusammenfassung

Trotz des Bestrebens des europäischen Gesetzgebers, Anzahl und Umfang von Tiertransporten auch durch Auflagen und Verbesserungen des Tierschutzes zu beschränken, nimmt der Tierverkehr insbesondere innerhalb der EU, jedoch auch im Handel mit Drittländern, ständig zu. Jährlich werden in der EU rund 365 Millionen Nutztiere transportiert, davon etwa 6 Millionen auf Langstreckentransporten durch die EU oder in Drittländer. Gleichzeitig wachsen jedoch in den Gesellschaften Europas die Bedenken über das Wohlbefinden von Tieren beim Transport. Es ist mittlerweile unbestritten, dass eine Vielzahl von Faktoren mit einem teilweise hohen Risikopotential für Gesundheit und Wohlbefinden der Tiere während des Transportes einwirken. Insbesondere die klimatischen Verhältnisse während des Transportes werden als belastend für die Tiere eingeschätzt.

Zur Untersuchung der allgemeinen und der thermoregulativen Belastungsreaktion von Schweinen wurden auf kommerziellen Ferntransporten über mindestens 24 Stunden (14 Fahrten) jeweils 16 Indikatortiere auf physiologische Belastungsreaktionen untersucht. Auch die thermischen Bedingungen (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung, jeweils 24 Messorte) im Fahrzeug und außerhalb wurden kontinuierlich aufgezeichnet und ausgewertet. Mit den Untersuchungen wird beschrieben, wo und unter welchen Fahrtbedingungen Extremwerte für Temperatur, Luftfeuchte und Luftbewegung sowie der zu berechnenden Indices im Fahrzeug zu messen sind, um die Art, die Anzahl und die Lokalisation von Sensoren im Fahrzeug festlegen zu können. Als direkt auf die Tiere einwirkende physikalische Faktoren wurden an drei Messorten im Fahrzeug jeweils die triaxiale Beschleunigung (m/s^2) und in der zentralen Tränkeleitung die Durchflussrate aufgezeichnet.

An jeweils 16 Tieren pro Transport wurden die Herzfrequenz, die Körpertemperatur und diverse Blutparameter zur Beurteilung der Belastungsintensität erhoben. Als blutgetragene Belastungsparameter des Energiehaushalts wurden Glukose und Laktat, hinsichtlich des Flüssigkeitshaushaltes Gesamtprotein, Albumin, Natrium und der Hämatokrit untersucht. Zur Beurteilung der allgemeinen und physischen Belastungsreaktion der Tiere wurden Cortisol, Kreatinkinase, Aspartat-Aminotransferase (ASAT), das Verhältnis von Kreatinkinase zu ASAT sowie Laktatdehydrogenase untersucht. Aus der statistischen Berechnung der Klimawerte lässt sich ableiten, dass sich die räumlichen Lokalisationen extremer thermischer Verhältnisse im Fahrzeug unter den wechselnden Bedingungen des Transportes (Fahrt, Fahrtunterbrechung)

erheblich ändern können. Die Anzahl der für eine ausreichende Erfassung der Extremwerte bei den Temperaturen erforderlichen Sensoren kann auf drei beschränkt werden. Sensoren für Luftfeuchte und Luftbewegung sowie eine Berechnung von Indices aus den ermittelten Klimaparametern gewährleisten im untersuchten Klimabereich keinen zusätzlichen Informationsgehalt gegenüber der Messung der Temperatur. Die am Tier erhobenen Parameter weisen zwar darauf hin, dass die Adaptionsfähigkeit der Tiere vor allem durch motorische Belastungen (Beschleunigungen des Fahrzeuges, Be- und Entladevorgänge) gefordert wird, es werden jedoch unter den Umständen der vorliegenden Untersuchung keine Belastungsgrenzen überschritten. Des Weiteren geben die Daten Anlass den Nutzen der Bereitstellung von Tränkwasser während des gesamten Transportes zu überdenken.

8 Summary

The legislative authority endeavours to keep animal transports as few and as short as possible with the help of additional requirements. However, animal trade in the EU and in non-European countries is increasing. Each year about 365 million farm animals are transported in the EU, 6 million of these animals are on long term transports across the EU and in non-European countries. In the mean time in European societies concerns about animal Welfare are growing. It is unchallenged that lots of factors have a high risk potential for health and Animal Welfare of the transported animals. However, climate is the main risk factor for animals during transport.

To assess the general and the thermoregulative strain of pigs on commercial long term transports of more than 24 hours (14 journeys) 16 animals per transport were examined for stress response. The climatic conditions outside the truck and the microclimate inside the truck were continuously measured and analysed. In this thesis it is explained where and under which conditions maximum and minimum values for temperature, humidity, air velocity and several indices are found in the truck. With this knowledge it is going to be possible to make assumptions about the kind, number and position of sensors in the vehicle. As directly influencing physical parameters for the animal the acceleration of the truck and the amount of water consumption was measured.

16 animals per transport were equipped to measure heart rate and body temperature and diverse blood parameters were analysed. The blood parameters observed were glucose and lactate for the energy balance, protein, albumin, natrium and hematocrit were observed for the fluid balance, cortisol, creatinkinase, aspartat-aminotransferase and lactatedehydrogenase were observed because of the physical and general strain. From the statistical evaluation of the climatic values it can be deduced that the position of extreme climatic values change considerably depending on the conditions of transport (season, drive, and break). For a good assessment of the climatic conditions in the vehicle only three sensors are needed. Sensors for air velocity and humidity or a calculation of indices provide no further information with regard to measuring temperature.

The parameters assessed on the animals show that the animals are exposed to strain (vehicle acceleration and (un)loading are the major points here) but that no stress limits are exceeded. Furthermore the results cause to rethink the need of continuous water supply during transport.

9 Literaturverzeichnis

- Abbott, T., Guise, H., Hunter, E., Penny, R., Baynes, P., Easby, C. (1995): Factors influencing pig death during transit: an analysis of drivers' reports. *Anim. Welfare*, **4**, 29-40
- Augustini, C. (1976): EKG- und Körpertemperatur-Messungen an Schweinen während der Mast und auf dem Transport. *Fleischwirtschaft*, **56** (8), 1133-1137
- Averos, X., Herranz, A., Sanchez, R., Comella, J., Gosálvez, L. (2007): Serum stress parameters in pigs transported to slaughter under commercial conditions in different seasons. *Veterinarni Medicina*, **52** (8), 333-342
- Averos, X., Knowles, T., Brown, S., Warris, P., Gosálvez, L. (2008): Factors affecting the mortality of pigs being transported to slaughter. *The Veterinary Record*, **163** (13), 386-390
- Barton Gade, P. (1997): The effect of preslaughter handling on meat quality in pigs. In: Symposium: Pork Quality –Towards 2010, Roskilde, Denmark, 100-115, ISBN: 0-7316-7459-6
- Baumgartner, W. (2005): Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere (6. Auflage). MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG
- Becker, B., Mayes, H., Hahn, G., Niebauer, J. Jesse, G., Anderson, M., Heymann, H., Hedrick, H. (1989): Effect of fasting and transportation on various physiological parameters and meat quality of slaughter hogs. *J. Anim. Sci.*, **37**, 334-341
- Beckhove, A. (2010): Ferkelexporte nach Osteuropa. Strohfeuer oder Markt der Zukunft?. *top agrar*, **5**, 132-135
- Behrends, J., Randall, J., Stiles, M., Kettlewell, P. (1997): Vibration of a poultry transporter and bird postural stability. In: Livestock Environment V. Proceedings of the fifth International Symposium. Blomington, Minesota, **I**, 109-112
- Bench, C., Schaefer, A., Faucitano, L. (2008): The Welfare of pigs during transport. In: Faucitano, L. und Schaefer, A.: Welfare of pigs from birth to slaughter (1. Auflage). Wageningen Academic Publishers, 161-195
- Berry, R., Lewis, N. (2001): Response of early weaned piglets to simulated transport duration and temperature. In: Livestock Environment VI. Proceedings of the sixth International Symposium. Blomington, Minesota, 527-535
- Bianca, W. (1976): Neuzeitliche Ergebnisse und Aufgaben der Bioklimatologie bei Haustieren. *Der Tierzüchter*, **12**, 438-442
- Bickhardt, K. (1992): Kompendium der Allgemeinen Inneren Medizin und Pathophysiologie für Tierärzte. Pareys Studentexte 69. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
- Bockisch, F.-J. (1995): Vorwort. In: Roeser, W.W.: Tiertransporte. Untersuchungen zum Einfluss von Haltungstechnik, Transporttechnik und Schlachtvorbereitung auf die Transportverluste und Fleischqualität bei Mastschweinen. Verlag Dietmar Fölbach, Koblenz

Braathen, O. und Johansen, J. (1984): Liquid smoke aroma for smell masking gives reduced fighting and stress among slaughter pigs. In: Proceedings, European Meeting Meat Research Workers 30, 12-26

Bradshaw, R. H.; Hall, S. J. G.; Broom, D. M. (1995): In: van Arendonk, J. A. M. (Editor). Book of Abstracts of the 46th Annual Meeting of the European Association for Animal Production Volume: 1, 328

Breineková, K., Svoboda, M., Smutná, M., Vorlová, L. (2007): Markers of acute stress in pigs. *Physiol. Res*, **56**, 323-329

Bresk, B. (1988): Physikalische Grundlagen der Wirkung der relativen Luftfeuchte auf landwirtschaftliche Nutztiere. *Monatshefte für Veterinärmedizin*, **43 (14)**, 495 – 499

Broom, D. (1994): How well do farm animals cope with their environment during transport? In: *Fleischwirtschaft*, **76 (3)**, 279-281

Broom, D. (1995): Quantifying pig welfare during transport using physiological measures. In: Schütte, A. (Hrsg.): Proc. EU-Seminar „New information on welfare and meat quality of pigs as related to handling, transport and lairage conditions.“ Mariensee, 29.-30.06.1995, 3-10

Broom, D. (1996): Animal welfare defined in terms of attempts to cope with the environment. *Acta Agric. Scand. Sect. A, Animal Sci. Suppl.*, **27**, 22-28

Broom, D. (2000): Welfare assessment and welfare problem areas during handling and transport. In: Livestock Handling and Transport 2ne Edition. CAB International Wallingford, 43-61

Broom, D. (2005): The effects of land transport on animal welfare. *Rev. sci. tech. Off. Int. Epiz.*, **24 (2)**, 683 - 691

Broom, D. (2008): The welfare of livestock during road transport. In: Appleby, M., Cussen, V., Garcés, L., Lambert, L., Turner, J. (Editors): Long Distance Transport and Welfare of Farm Animals. CAB International Wallingford, 157-181

Brown-Brandl, T., Beck, M., Schulte, D., Parkhurst, A., DeShazer, J. (1997): Evaluation of temperature and humidity effects on physiological responses of tom turkeys from 6 to 21 Weeks. In: Livestock Environment V. Proceedings of the fifth International Symposium. Blomington, Minesota, **I**, 547-552

Brüser-Pieper, C. (2006): Untersuchungen zur thermischen Belastung von Schlachtrindern beim Straßentransport auf Langstrecken. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover

Bryer, P., Sutherland, M., Davis, B., Smith, J., McGlone, J. (2011): The effect transport and space allowance on the physiology of breeding age gilts. *Livestock Science*, **137**, 58-65

Bünger, U., Steinhardt, M., Bünger, B., Lyhs, L. (1974): Zur Bewertung der Glukosekonzentration im Blut bei Belastungen. 1. Anwendung einer individuellen Bewertung der Veränderungen verschiedener Glukosewerte bei körperlicher Arbeit von Hausschweinen. *Arch. Exper. Vet. Med.*, **28 (2)**, 171-182

Bünger, U., Steinhardt, M., Riehm, G., Göhler, H., Bünger, B., Lyhs, L. (1975a): Zur Bewertung der Glukosekonzentration im Blut bei Belastungen. 5. Gesamtstreuungsmaße des Plas-

maglukosgehalts bei körperlicher Arbeit zur Einschätzung der Belastbarkeit von Schweinen verschiedenen Rassen. *Arch. Exper. Vet. Med.*, **29** (1), 171-182

Bünger, U., Steinhardt, M., Riehm, G., Bünger, B., Lyhs, L. (1975b): Einfluß einer Anämie auf einige Reaktionen des Hausschweines bei motorischer Belastung. 3. Änderungen der Glukose- und Milchsäurekonzentration im Blutplasma. *Arch. Exper. Vet. Med.*, **29** (4), 171-182

Büscher, W. (2002): Sprühbefeuchtung kritisch betrachtet: Was passiert da eigentlich?. *Profi*, **8**, 56

Colleu, T., Chevillon, P. (1999) : Effect of climatic parameters and distance on pig mortality during transport. *Techni-Porc*, **22** (3), 31-36

Chevillon, P., Frotin, P., Rousseau, P., Prunier, A., Le Roux, A., Minivielle, B., Boulard, J., Bouyssiere, G., Bataille, G., 2002. Comparaison de trois types de ventilation lors d'un transport de 10 heures. *Techni Porc*, **25** (6), 1-7

Chevillon, P., Frotin, P., Rousseau, P. (2003): 36-hour transport with two-driver operation Impact of area per pig and feeding system on welfare. Practical recommendations. *Techni Porc*, **26** (5), (Keine Seitenzahlen in der englischen Übersetzung)

Christensen, L., Jonsson, K. (2007): Optimization of transport conditions in relation to transport mortality. Report DMRI Consult, Proj. No. 02763, 40329.1 Danish Meat Research Insitute

Christensen, L., Blaabjerg, L., Hartung, J. (2007): Investigation of pig transports for more than 8 hours in cold and warm weather conditions and of the requirements for ventilation during the transport. Danish Meat Association.

Dalla Villa, P., Iannetti, L., Di Francesco, C., Di Pasquale, A., Fiore, G., Caporale, V. (2008): Quality management for the road transportation of livestock. *Veterinaria Italiana*, **44** (1), 187-200

Dauncey, M. und Ingram, D. (1986): Acclimatization to warm or cold temperatures and the role of food intake. *J. Therm. Biol.*, **11** (2), 89-93

EFSA (2004a): Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to the welfare of animals during transport. *The EFSA Journal*, **44**, 1-36

EFSA (2004b): Opinion on the scientific panel on animal health and welfare on a request from the commission related to standards for the microclimate inside animal road transport vehicles. *The EFSA Journal*, **122**, 1-25

EFSA (2011): Scientific opinion concerning the welfare of animals during transport. *The EFSA Journal*, **1**, 1-86

Ferch, U. (1964): Einfluss hoher Lufttemperatur und hoher Luftfeuchtigkeit zusammen mit hoher Luftfeuchtigkeit auf die Körpertemperatur, Atem- und Herzfrequenz beim Schwein. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover

Fikuart, K., Holleben, K. von, Kuhn, G. (1995): Hygiene der Tiertransporte (1. Auflage). Gustav Fischer Verlag Stuttgart

- Fiore, G., Natale, F., Hofherr, J., Mainetti, S., Ruotolo, E. (2009): Study on Temperatures during animal transport. Final Report.
- Gebresenbet, G., Aradom, S., Bulitta, F., Hjerpe, E. (2011): Vibration levels and frequencies on vehicle and animals during transport. *Biosystems Engineering*, **110** (1), 10-19
- Geers, R., Ville, H., Janssens, S., Goedseels, V., Goossens, K., Parduyns, G., van Bael, J., Bosschaerts, L., Heylen, H. (1992): Changes of body temperatures of piglets as related to halothane sensitivity and treatmill exercise. *J. Therm. Biol.*, **17** (2), 125-128
- Geers, R., Puers, R., Goedseels, V. (1997): Electronic identification and monitoring of pigs during housing and transport. In: *Computers and Electronics in Agriculture*. **17** (2), 205-215
- Gerber, H.-D. (1984) Lkw-Transporte von Schlachtschweinen bei unterschiedlichen Ladedichten – 0,33 qm und 0,43 qm pro 100 kg Lebendgewicht – (Enzym-, Fleisch-, Pankreas- und Myokarduntersuchungen). Dissertation Freie Universität Berlin
- Geverink, N., Kappers, A., van de Burgwal, J., Lambooij, E., Blockhuis, H., Wiegant, V. (1998): Effects of regular moving and handling on the behavioral and physiological responses of pigs to preslaughter treatment and consequences for subsequent meat quality. *J. Anim. Sci.*, **76**, 2080-2085
- Göllnitz, K. (2004): Untersuchungen zum Mikroklima auf einem Spezialfahrzeug zum Ferkeltransport in Beziehung zu Tierschutz und Tiergesundheit. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover
- Grandin, T. (1997): Interpreting the Effect of Fear Stress during Handling and Transport. In: *Livestock Environment V. Proceedings of the Fifth International Symposium*. Blomington, Minesota, 122-129
- Grandin, T. (2000): Introduction: Management and economic factors of handling and transport. In: *Livestock Handling and Transport* (2. Auflage). CAB International Wallingford. 1-14.
- Grandin, T. (2008): Foreword: Strategies to improve farm animal welfare and reduce long distance transport of livestock going to slaughter. In: Appleby, M., Cussen, V., Garcés, L., Lambert, L., Turner, J. (Herausgeber): *Long distance transport and welfare of farm animals*. CAB International Wallingford, ix-xv
- Gregory, N. (1996): Welfare and hygiene during preslaughter handling. *Meat Science*, **43**, S35-S46
- Gregory, N. (2008): Animal Welfare at markets and during transport and slaughter. *Meat Science*, **80**, 2-11
- Groth, W. (1987): Der Einfluss der Ladedichte beim Transport von Schlachtschweinen auf Belastungsreaktionen und die Fleischqualität bei einem Platzangebot von 0,45 sowie 0,5 qm/100 kg Körpergewicht. Dissertation Freie Universität Berlin
- Häckel, H. (1985): Meteorologie. Stuttgart Verlag Eugen Ulmer
- Hilliger, H. G. (1990): Stallgebäude, Stallluft und Lüftung. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart

Holleben, K. von, Grauvogel, A. (1998) Tiertransporte nicht im Akkord (ISBN 3-89661-477-0). Aid, Bonn

Honkavaara, M. (1991): Effect of transport on porcine stress. In: 37th International Congress of Meat Science and Technology, Kulmbach, Germany, **2 (10)**, 257 - 260

Honkavaara, M. (2008): Road transportation of pigs in three tiers. In: 54th International Congress of Meat Science and Meat technology. Cape Town, South Africa, paper 1.5

Horgan, R., Gavinelli, A. (2006): The expanding role of animal welfare within EU legislation and beyond. *Livestock Science*, **103**, 303 - 307

Hörnigke, H. (1976): Thermophysiologie. In: Scheunert, A. und Trautmann, A. (Herausgeber): Lehrbuch der Veterinärphysiologie (4. Auflage). Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg

Huynh, T., Aarnink, A., Verstegen, M., Gerrits, W., Heetkamp, M., Kemp, B.; Canh, T. (2005a): Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *J. Anim. Sci.*, **83**, 1385-1396

Huynh, T., Aarnink, A., Verstegen, M. (2005b): Reactions of pigs to a hot environment. In: Livestock Environment VII, Proceedings of seventh International Symposium. The society for engineering in agriculture, food, and biological systems. 544-550

Iben, B. (2006): Wellness für das Schwein. Stress und Stressbewältigung. *Großtierpraxis*, **7 (4)**, 162-171

Ingram, D. (1964): The effect of environmental temperature on body temperatures, respiratory frequency and pulse rate in the young pig. *Res. Vet. Sci.*, **5**, 348-355

Ingram, D. (1965): The Effect of Humidity on Temperature Regulation and Cutaneous Water Loss in the Young Pig. *Res. Vet. Sci.*, **6**, 9-15

Jessen, C. (2000): Wärmebilanz und Temperaturregulation. In: Engelhardt, W., Breves, G. (Herausgeber), Physiologie der Haustiere (2. Auflage). Stuttgart, Enke

Kettlewell, P., Hampson, C., Green, N., Teer, N., Veale, B., Mitchell, M. (2001): Heat and Moisture Generation of Livestock during transportation. In: Livestock Environment VI. Proceedings of the 6th International Symposium. The society of engineering in agricultural, food, and biological systems, 556-563

Kettlewell, P., Harper, E., Mitchell, M., Earley, B. (2003): Ventilation of Livestock Vehicles Carried on RO-RO Ferries. *State Veterinary Journal*, **13 (2)**, 9 - 14

Kettlewell, P., Mitchell, M., Harper, E. (2010): Guide to ventilation of Livestock during transport. Abgerufen von <http://www.foodassurance.teagasc.ie/NR/rdonlyres/67A8D66A-ED2F-4D86-B875-4C3A0ACCE54D/46/Transportventilation.pdf> am 14.07.2010

Kirsch, K. (1996): Leistungsphysiologie. In: Klinke, R., Silbernagel, S. (Herausgeber): Lehrbuch der Physiologie. Verlag Georg Thieme, Stuttgart, New York, 509-530

Klawitter, H. (1971): Klinische Beurteilung von Schlachtschweinen bei unterschiedlichen Transportbedingungen. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover

- Knierim, U., Jackson, W. (1997): Legislation. In: Appleby, M., Hughes, B. (Herausgeber): Animal Welfare (1. Auflage). CAB International, Wallingford, 249-264
- Knowles, T., Warriss, P. (2007): Stress physiology of animals during transport. In: Livestock Handling and Transport 3rd Edition. CAB International, Wallingford
- Kohlmüller, M., Alter, C. (2008): Wenige große in der Fleischbranche. ZMP-Infografik vom 04.11.2008, abgerufen von:
<http://www.organic-world.net/fileadmin/documents/reporting/2009/zmp-de-2009-04-17.pdf>
 am 30.06.2009
- Kolb, E. (1974): Lehrbuch der Physiologie der Haustiere (3. Auflage). Gustav Fischer Verlag Jena
- Kolb, E. (1980): Lehrbücher für Veterinäringenieure. Biochemie und Pathobiochemie der Haustiere. S. Hirzel Verlag Leipzig
- Kraft, W., Dürr, U. (2005): Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin (4. Auflage). Schattauer Verlag
- Kreutzer, W., Stehle, G. (1985): Untersuchungen zur Festlegung prämortaler Belastungszustände auf dem Transport und bei der Schlachtung von Schweinen. *Fleischwirtschaft*, **65**, 849-852
- Ladewig, J. (1994): Streß. In: F. Döcke (Herausgeber): Veterinärmedizinische Endokrinologie (3. Auflage). Verlag Gustav Fischer
- Lambooi, E. (2000): Transport of Pigs. In: Livestock Handling and Transport 2nd Edition. CAB International. 275-296
- Lang, F., Lang, P. (2007): Basiswissen Physiologie (2. Auflage). Springer Verlag.
- Leach, T. (1977): Transport and lairage. *Pig Farming*, **25 (8)**, 82-83
- Lewis, C., McGlone, J. (2007): Moving finishing pigs in different group size: cardiovascular responses, time, and ease of handling. *Livestock Science*, **107 (1)**, 81-85
- Lindner, K. (1998): Charakterisierung von Belastungssituationen von Mastschweinen beim Transport durch Erfassung klinischer, hämatologischer und klinisch-chemischer Parameter. Dissertation Universität Leipzig
- Loeffler, K. (2002): Anatomie und Physiologie der Haustiere (10. Auflage). Verlag Eugen Ulmer, Hohenheim
- Lösch, U., Cihak, J., Erhard, M., Kaspers, B. (2000): Blut und Abwehr. In: Physiologie der Haustiere (2. Auflage). Engelhardt, W. v. und Breves, G. (Hrsg.). Enke Verlag Stuttgart.
- Manteca, X. (2008): Physiology and Disease. In: Appleby, M., Cussen, V., Garcés, L., Lambert, L., Turner, J. (Herausgeber): Long distance transport and welfare of farm animals. CAB International Wallingford, 69-76

- María, G. (2008): Meat Quality. In: Appleby, M., Cussen, V., Garcés, L., Lambert, L., Turner, J. (Herausgeber): Long distance transport and welfare of farm animals. CAB International, Wallingford, 77-112
- Meyer, H. (1971): Verhaltensweisen. In: Comberg, G. (Herausgeber) Tierzuchtungslehre (2. Auflage). Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Mickwitz, G. von (1971): Die Ursachen des Transportviehverlustes bei Schlachtschweinen. In: Hülsenberger Gespräche 1971, 91-98
- Moberg, G. (2000): Biological response to stress: Implications for animal welfare. In: Moberg, G. and Mench, J. (Herausgeber): The Biology of Animal Stress. CAB International, 1-21
- Monin, G., Lambooy, E., Klont, R. (1995): Influence of temperature variation on the metabolism of pig muscle in situ and after excision. *Meat Science*, **40**, 149-158
- Müller, W., Schlenker, G. (2007): Kompendium der Tierhygiene. Gesundheits-, Tier-, Umwelt- und Verbraucherschutz (3. Auflage), Lehmanns Media
- Nanni Costa, L., Lo Fiego, D., Cassanelli, M., Tassone, F., Russo, V. (2003): Effect of Journey time and environmental condition on bull behaviour and beef quality during road transport in Northern Italy. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.*, **110**, 107-110
- Nelson, C., Silver Spring, M., Tew, M., Phetteplace, G., Schwerdt, R., Maarouf, A., Oszczewski, R., Bluestein, M., Shaykewich, J., Smarsh, L., Derby, J., Petty, R., Berger, M., Quayle, R., Santee, W., Olenic, E., Lupo, A., Browne K. (2002): Review of the Federal interagency process used to select the new Wind Chill Temperature (WCT) Index. 18th International Conference on IIPS
- Paul, J. (2001): Physiologie der Tiere (1. Auflage). Thieme Verlag
- Peeters, E., Deprez, K., Beckers, F., Baerdemaker, J. De, Aubert, A., Geers, R. (2008): Effect of driver and driving style on the stress response of pigs during a short journey by trailer. *Animal Welfare*, **17** 189 – 196
- Penzlin, H. (2005): Lehrbuch der Tierphysiologie (7. Auflage). Spektrum Akademischer Verlag
- Peremanns, S., Randall, J., Ville, H., Stiles, M. Duchateau, W., Geers, R. (1995): Quantification of pig response to vibration. In: Proceedings of the EU-Seminar “New information on welfare and meat quality of pigs as related to handling, transport and lairage conditions” 29.-30.06.95, Sonderheft Nr. 166 der Landbauforschung Völkenrode (ISSN 0376-0723), 135-141
- Plonait, H., Bickhardt, K. (1988): Lehrbuch der Schweinekrankheiten. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
- Püttker, J., Beckhove, A. (2010): Schlachtschweine „Der Lebendexport hat uns 10 Cent/kg mehr gebracht“. *top agrar*, **4**, 160-162
- Raabe, T. (1998): Charakterisierung von Belastungssituationen von Mastschweinen auf dem Schlachthof durch Erfassung klinischer, hämatologischer und klinisch-chemischer Parameter. Dissertation Universität Leipzig

Rambeck, B. (2006): Tiertransporte in Deutschland und der Europäischen Union Eine Betrachtung der aktuellen und zukünftigen Sach- und Rechtslage. Dissertation Ludwig-Maximilian-Universität München

Randall, J. (1992): Human Subjective Response to Lorry Vibration: Implications for Farm Animal Transport. *J. agric. Eng Res.*, **52**, 295-307

Randall, J. (1993): Environmental parameters necessary to define comfort for pigs, cattle and sheep in livestock transporters. *Anim. Prod.*, **57**, 299-307

Ratschow, J.-P., Schulte-Sutrum, R. (2003): Kühlung von Schweineställen. Merkblatt 332 DLG

Richtlinie 91/628/EWG vom 19. November 1991 über den Schutz von Tieren beim Transport (http://www.tierimrecht.org/de/PDF_Files_gesammelt/91-628-eeec_de.pdf)

Richthofen, I. B. Freiin von (2003): Beobachtungen zum Verhalten von Schlachtrindern auf Ferntransporten. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover

Roeser, W. (1995): Tiertransporte. Untersuchungen zum Einfluss von Haltungstechnik, Transporttechnik und Schlachtvorbereitung auf die Transportverluste und Fleischqualität bei Mastschweinen. Verlag Dietmar Fölbach, Koblenz

Roller, W., Goldman, R. (1969): Response of swine to acute heat exposure. *Transactions of the ASAE*. 164-174

Rudovsky, A. (2008): Tränketeknik für Schweine. DLG-Merkblatt 351

Rudovsky, A. und Prange, H. (2004): Stallklima. In: Prange, H. (Herausgeber): Gesundheitsmanagement in der Schweinehaltung. Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart, 165-191

Scheunert, A. (1957): Lehrbuch der Veterinär-Physiologie, 4. Auflage. Paul Parey Berlin und Hamburg

Schmeiduch, S. (2002): Belastungsreaktionen von Zucht- und Schlachtrindern im Straßen-Ferntransport. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover

Schnippe, F. (2002): Drei Wertschöpfer sind einer zu viel! *top agrar*, **6**, S8

Schütte, A., Mergens, A., Pott, U.; Venthien, S. (1995): Effect of transport conditions (straw; stoppage) and unloading procedures on physiological and meat quality parameters. Proc. EU-Seminar „New information on welfare and meat quality of pigs as related to handling, transport and lairage conditions“, Mariensee, 29.-30. Juni 1995, 117-132

Schütz, H. (1975): Der Einfluss unterschiedlicher Fütterungszeiten vor Transportbeginn auf die Herzfrequenz, Körpertemperatur, Ohrvenenstauung und Ohrarterienfüllung während und nach Transport beim Schwein. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover

Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare (SCAHAW) (1999): Standards for the microclimate inside animal transport road vehicles Report of the Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare. European Commission, Brüssel

Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare (SCAHAW) (2002): The welfare of animals during transport (details for horses, pigs, sheep & cattle). Report of the Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare. European Commission, Brüssel

Siemens (2012): Das h,x-Diagramm Aufbau und Anwendung. Abgerufen von: http://w1.siemens.ch/web/bt_ch/SiteCollectionDocuments/bt_internet_ch/support/Grundl_HX.pdf am 18.02.2012

Skoll P., Hudson D., Simpson J., Singer, H., Gaffin, S., Gentile, B., Koratich, M., Leva N., Hubbard, R., Francesconi, R. (1998): A miniswine model of heatstroke. *J. Therm. Biol.*, **23** (3-4), 143-258

Stamp Dawkins, M. (1980): Leiden und Wohlbefinden bei Tieren. Ein Beitrag zu Fragen der Tierhaltung und des Tierschutzes (1. Auflage). Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

Standing Committee on Agriculture and Resource Management (SCARM) (1999): Australian Model Code of Practice for the Welfare of Animals. Land Transport of Cattle. CSIRO Publishing, Collingwood, 14

Stede, H.-J. (2001): Transport lebender Tiere. *Statistisches Bundesamt, Wirtschaft und Statistik*, **3**, 187

Steffens, C. (1999): Untersuchungen zur Belastung von Schlachtschweinen beim LKW-Transport und im Schlachtstall. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover

Steinhardt, M., Bünger, U., Lyhs, L., Wachtel, W. (1974): Eine Versuchseinrichtung zur motorischen Belastung und zum Training von Schweinen. *Monatshefte für Veterinärmedizin*, **29** (13), 498-506

Steinhardt, M., Prange, H., Ober, G., Rothe, M. (1977): Hämoglobingehalt, Hämatokrit, Laktat und Glukose im Blut von Schlachtschweinen während des Tötens sowie bei Fixierung mit der Nasenschlinge. *Arch. Exp. Veterinärmed.*, **4**, 477-483

Steinhäusser, H. (1979): Über Abkühlungsgröße und Temperaturempfindung. *Carinthia II*, **89** (169), 115-118

Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Klinik für kleine Klauentiere und forensische Medizin und Ambulatorische Klinik (2010) schriftliche Mitteilung

Stolpe, J. (1986): The combined effect of temperature and air movement on the growth and thermoregulatory functions of fattening pigs. *J. therm. Biol.*, **11** (2), 115-116

Troeger, K. (1990): Schlachten: Tierschutz und Fleischqualität. Gegenwärtige Praxis - Welche Forderungen sind zu stellen? *Fleischwirtschaft*, **70**, 266-272

Verordnung (EG) Nr. 1/2005 des Rates vom 22. Dezember 2004 über den Schutz von Tieren beim Transport und damit zusammenhängenden Vorgängen sowie zur Änderung der Richtlinien 64/432/EWG und 93/119/EG und der Verordnung (EG) Nr. 1255/97.

Verordnung (EG) 1255/97 des Rates vom 25. Juni 1997 zur Festlegung gemeinschaftlicher Kriterien für Aufenthaltsorte

Verordnung (EG) Nr. 561/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. März 2006 zur Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr und zur Änderung der Verordnungen (EWG) Nr. 3821/85 und (EG) Nr. 2135/98 des Rates sowie zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 3820/85 des Rates

Verordnung zum Schutz von Tieren beim Transport und zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1/2005 des Rates (Tierschutztransportverordnung - TierSchTrV)

Voermans, J. (1997): Health and Disease Perspective. In: Livestock Environment V. Proceedings of the fifth international Symposium. Blomington, Minesota, **I**

Wal, P. van der, Engel, B., van Essen, G., Hulshof, H. (1985): Changes in blood acid-base characteristics, haemoglobin and lactate concentrations due to increasing moderate stress in pigs. I.V.O.-Report B-271, 19-22

Walton, J. (1994): Schweine. In: Handling bei Nutz- & Heimtieren. Anderson, R., Edney, A. (Herausgeber). Gustav Fischer Verlag, 85-93

Warris, P., Brown, S. (1985): The physiological responses to fighting in pigs and the consequences for meat quality. *Journal of Science of Food in Agriculture*, **36**, 87-92

Warriss, P., Brown, S., Edwards, J., Anil, M., Fordham, D. (1992): Time in lairage needed by pigs to recover from the stress of transport. *Vet. Rec.*, **131**, 194-196

Water, G. van der, Heylen, T., Swinnen, K., Geers, R. (2003): The impact of vertical vibrations on the welfare of calves. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.*, **110 (3)**, 81-132

Weeding, C., Hunter, E., Guise, H., Penny, R. (1993): Effects of abattoir and slaughter handling systems on stress indicators in pig blood. *Vet. Rec.*, **133**, 10-13

Wittke, G. (1972): Physiologie der Haustiere. Kurzes Lehrbuch für Studierende der Agrarwissenschaften, Veterinärmedizin und Biologie. Verlag Paul Parrey, Berlin und Hamburg

Wittke, G., Pfeffer, E. (1984): Physiologie der Haustiere. Ein kurzes Lehrbuch für Studierende der Agrarwissenschaften, Veterinärmedizin und Biologie (2. Auflage). Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg

Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle (ZMP) (2008): Hohe Konzentration im Nordwesten. ZMP Infografik vom 17.10.2008

ANHANG

Abb. A1: Verteilung der Residuen der Varianzanalyse der Körpertemperatur.

Abb. A2: Verteilung der Residuen der Varianzanalyse für die Veränderung des Glukosegehalts im Plasma der Indikatortiere während der begleiteten Transporte.

Tab. A1: Anpassungs- und Vorhersagefehler für die Vorhersage der Körpertemperatur anhand einzelner Klimaparameter

Temperaturbereich	Parameter	Anpassungsfehler	Vorhersagefehler
unter 10 °C	THI	0,5708634	0,5615821
	IT	0,5716864	0,5637497
	IF	0,5715293	0,5623025
	Ent	0,572375	0,5632623
	LS	0,5726055	0,5610038
	WD	0,5712013	0,5628342
	WCT	0,5730202	0,563311
	A	0,5725636	0,563102
10 bis 25 °C	THI	0,5882162	0,5878383
	IT	0,596522	0,5964715
	IF	0,5889272	0,5894362
	Ent	0,5968189	0,5969113
	LS	0,5878332	0,5876582
	WD	0,5940925	0,5941061
	WCT	-	-
	A	0,594988	0,5949528
über 25 °C	THI	0,4166563	0,4930824
	IT	0,4219629	0,4884425
	IF	0,4243741	0,4911113
	Ent	0,4253322	0,4952478
	LS	0,4260236	0,4935468
	WD	0,4202271	0,4951026
	WCT	-	-
	A	0,4233202	0,4936794

Danksagung

Ich möchte all denen danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. Gauly für die Übernahme des Referats und Herrn Prof. Dr. Knorr für die Übernahme des Korreferats, sowie beiden für die Hilfe bei der Fertigstellung dieser Arbeit. Herrn Dr. Marahrens möchte ich dafür danken, dass er mir als Projektleiter mit Rat und Tat zur Seite gestanden und die Tätigkeit des dritten Prüfers übernommen hat.

Bedanken möchte ich mich auch bei meiner Leserschaft für die Kommentare zu den einzelnen Kapiteln; für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der entstandenen Datenmengen möchte ich mich bei Dr. Sabine Dippel bedanken.

Außerdem gilt mein Dank der Firma Struck und allen Mitarbeitern, die uns die Möglichkeit gegeben hat dieses Projekt durchzuführen und uns tatkräftig unterstützt hat. Für die Finanzierung des Projektes möchte ich mich beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) bedanken.

Ein weiterer großer Dank gilt Julia Kipke, Gottfried Gerlach, Oliver Sanders, Heidrun Meyer, Annemieke Looienga und natürlich auch allen anderen Mitarbeitern des FLI Celle, die mich bei den Versuchen tatkräftig unterstützt haben.