

Aus dem Zentrum für klinische Tiermedizin der
Ludwig-Maximilians-Universität
München

Arbeit angefertigt unter Leitung von PD Dr. B. Wollanke

Vergleichende Untersuchungen der Vitalparameter bei verschiedenen Pferderassen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

von
Susanne Ihmels
aus Bad Lippspringe

München 2012

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Braun
Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Wollanke
Korreferent/en: Univ.-Prof. Dr. Meyer-Lindenberg

Tag der Promotion: 11. Februar 2012

Meiner lieben Familie

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	III
1 EINLEITUNG	1
2 LITERATURÜBERSICHT	3
2.1 DAS HERZ-KREISLAUFSYSTEM	3
2.1.1 <i>Allgemeine Einführung</i>	3
2.1.2 <i>Anatomie und Physiologie des Herzens</i>	3
2.1.3 <i>Regulation der Herztätigkeit</i>	5
2.1.4 <i>Einflüsse auf die Herzfrequenz</i>	6
2.1.5 <i>Belastung und Herzfrequenz</i>	8
2.2 DIE LUNGE	9
2.2.1 <i>Allgemeine Einführung</i>	9
2.2.2 <i>Anatomie der Lunge</i>	10
2.2.3 <i>Physiologie der Lunge</i>	11
2.2.4 <i>Atemfrequenz und Atemvolumina</i>	13
2.2.5 <i>Regulatorische Mechanismen der Atmung</i>	14
2.3 THERMOREGULATION	15
2.3.1 <i>Physik der Wärmebildung und Wärmeabgabe</i>	16
2.3.2 <i>Thermoregulation als Anpassung von Physiologie und Verhalten</i>	17
2.3.3 <i>Veränderungen der Körpertemperatur</i>	18
2.4 DIE KLINISCHE UNTERSUCHUNG DES PFERDES	20
2.4.1 <i>Die allgemeine klinische Untersuchung</i>	21
2.4.2 <i>Auskultation</i>	28
2.5 MERKMALE AUSGEWÄHLTER RASSE-GRUPPEN.....	30
2.5.1 <i>Das Englische Vollblut</i>	30
2.5.2 <i>Das Warmblutpferd</i>	31
2.5.3 <i>Das Islandpferd</i>	31
3 MATERIAL UND METHODEN	33
3.1 AUSWAHL DES PROBANDENGUTES UND ANZAHL DER MESSUNGEN	33
3.2 METHODE.....	34
3.3 ÜBERSICHT ÜBER DIE UNTERSUCHTEN PFERDE.....	35
3.4 STATISTISCHE AUSWERTUNG	38
4 ERGEBNISSE	39
4.1 ERGEBNISSE DER ALLGEMEINEN KLINISCHEN UNTERSUCHUNG BEZOGEN AUF DIE ATEM- UND PULSFREQUENZ SOWIE DIE INNERE KÖRPERTEMPERATUR IN RUHE BEIM ISLANDPFERD	39
4.2 ERGEBNISSE DER ALLGEMEINEN KLINISCHEN UNTERSUCHUNG BEZOGEN AUF DIE ATEM- UND PULSFREQUENZ	

SOWIE DIE INNERE KÖRPERTEMPÉRATUR IN RUHE BEIM VOLLBLUTPFERD.....	47
4.3 ERGEBNISSE DER ALLGEMEINEN KLINISCHEN UNTERSUCHUNG BEZOGEN AUF DIE ATEM- UND PULSFREQUENZ SOWIE DIE INNERE KÖRPERTEMPÉRATUR IN RUHE BEIM WARMBLUTPFERD.....	63
4.4 ERGEBNISSE DER ALLGEMEINEN KLINISCHEN UNTERSUCHUNG BEZOGEN AUF DIE ATEM- UND PULSFREQUENZ SOWIE DIE INNERE KÖRPERTEMPÉRATUR IN RUHE BEIM ISLAND-, VOLLBLUT- UND WARMBLUTPFERD IM VERGLEICH ...	76
5 DISKUSSION.....	81
5.1 DISKUSSION DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE BEIM ISLANDPFERD.....	82
5.2 DISKUSSION DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE BEIM VOLLBLUTPFERD.....	85
5.3 DISKUSSION DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE BEIM WARMBLUTPFERD.....	88
5.4 ZUSAMMENFASSUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE BEIM ISLAND-, VOLLBLUT- UND WARMBLUTPFERD IM VERGLEICH	90
5.5 SCHLUSSFOLGERUNGEN ZU EINFLUSSNEHMENDEN FAKTOREN AUF DIE ATEM- UND PULSFREQUENZ SOWIE DIE INNERE KÖRPERTEMPÉRATUR	91
6 ZUSAMMENFASSUNG.....	94
7 SUMMARY.....	96
8 LITERATURVERZEICHNIS	98
9 ANHANG.....	110
9.1 DANKSAGUNG	110

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A.	Arterie	Tab.	Tabelle
Abb.	Abbildung	v. Chr.	vor Christus
AF	Atemfrequenz	W	Watt
AP	Aktionspotential	ZNS	Zentrales Nervensystem
ATP	Adenosintriphosphat	µg	Mikrogramm
AV- Klappe	Atrioventrikularklappe	\bar{x}	Mittelwert
AV- Block	Atrioventrikularblock	%	Prozent
bzw.	Beziehungsweise	***	höchst signifikant
°C	Grad Celsius		
CO ₂	Kohlendioxid		
et al.	et alii		
e.V.	Eingetragener Verein		
HF	Herzfrequenz		
IKR	Interkostalraum		
IKT	Innere Körpertemperatur		
KFZ	kapilläre Füllungszeit		
kg	Kilogramm		
KGW	Körpergewicht		
KJ	Kilojoule		
M.	Musculus		
Min	Minute/n		
ml	Milliliter		
N	Anzahl der Probanden		
O ₂	Sauerstoff		
p	Irrtumswahrscheinlichkeit		
PF	Pulsfrequenz		
pH	pondus Hydrogenii		
S	Standardabweichung		
sek	Sekunde/n		

1 Einleitung

In pferdemedizinischer Literatur sind erstaunlicherweise sehr unterschiedliche Angaben zu Normwerten der Puls-, Herz- und Atemfrequenz in Ruhe sowie der inneren Körpertemperatur des Pferdes zu finden. Zudem wurden bisher noch keine Reihenuntersuchungen an großen Pferdezahlen unterschiedlicher Rasse unter Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren wie Alter, Geschlecht, Training, etc. durchgeführt. Im Rahmen der allgemeinen klinischen Untersuchung werden die Ruhewerte der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur erhoben. Sie sollen erste Rückschlüsse über den Gesundheitszustand des Pferdes geben und dem Untersucher Hinweise auf erkrankte Organsysteme liefern. So kann beispielsweise ein lungenkrankes Pferd über eine erhöhte Atemfrequenz verfügen, ein Pferd mit Septikämie wird eine hohe Herzfrequenz und eine veränderte innere Körpertemperatur aufweisen. BAUMGARTNER (2009) beschrieb die exakte klinische Untersuchung als tragende Säule der Diagnoseerstellung. Um die Untersuchungsergebnisse richtig einordnen zu können, ist die Kenntnis über die Referenzwerte der genannten Parameter unumgänglich. Erst dann kann der Untersucher pathologische Abweichungen erkennen und entsprechend handeln.

Nicht nur im veterinärmedizinischen Bereich sind die Ruhewerte der Puls-/Herz- und Atemfrequenz bedeutend. In der üblichen Praxis der Leistungsprüfungen werden diese Werte ständig als Hilfskriterien zur Beurteilung der körperlichen Konstitution herangezogen (DUŠÉK, 1967). Im Hochleistungssport müssen Trainingszustand und Trainingsverlauf der Pferde kontrolliert und interpretiert werden. Dafür sind geeignete Messparameter erforderlich. Das Verhalten der Herzschlagfrequenz sowie die Art und Dauer der Beruhigungsphase nach Belastung stellen dabei haupttragende Beurteilungskriterien dar (BAYER, 1968; VON ENGELHARDT, 1977; ISLER, 1982).

Ziel der vorliegenden Dissertation war es, einheitliche Referenzwerte für die Atem- und Pulsfrequenz sowie innere Körpertemperatur zu erhalten, da die Literatur der Pferdemedizin erhebliche Diskrepanzen hinsichtlich dieser Werte aufweist. Die Parameter sollten anhand wiederholter Messungen großer Pferdezahlen im Ruhezustand im Rahmen der allgemeinen klinischen Untersuchung erhoben werden. Da zudem häufig über rassespezifische

Unterschiede der Atem- und Puls- bzw. Herzfrequenzen in Ruhe diskutiert wird (STORZ, 1962; HAUBOLD, 2006; GEHLEN et al, 2008), wurden Messungen an Vollblütern, Warmblütern und Islandpferden durchgeführt, um ein breites Spektrum zu erfassen und Unterschiede bzw. Abweichungen der Werte richtig interpretieren und spezifizieren zu können.

2 Literaturübersicht

2.1 Das Herz-Kreislaufsystem

2.1.1 Allgemeine Einführung

Der Blutkreislauf ist ein aus Arterien, Venen und Kapillaren bestehendes Strömungssystem zur Versorgung der Körpergewebe. Zusammen mit dem Herzen und dem Blut bildet es das so genannte Kardiovaskularsystem (CAMPBELL und REECE, 2003). Es dient dem Körper zum An- und Abtransport von Stoffen in Zellen und Geweben. Das Herz stellt eine zentrale Kreislaufpumpe dar, die das Blut als Transportmedium über größere Arterien und kleinere Arteriolen in die Peripherie presst (großer Kreislauf). Dort finden im Kapillargebiet Stoff- und Gasaustausche statt. Über anschließende Venolen und Venen gelangt das Blut zurück ins Herz und durchläuft den Lungenkreislauf (kleiner Kreislauf). Hier wird das Blut erneut mit Sauerstoff angereichert (KÖNIG und LIEBICH, 2008).

2.1.2 Anatomie und Physiologie des Herzens

Das Herz als Zentralorgan des Kardiovaskularsystems ist ein Muskel, der dazu dient, dem Körperkreislauf mit Sauerstoff angereichertes Blut zuzuführen. Das Organ ist von einem Herzbeutel, dem Perikard, umgeben und findet seinen Platz im mittleren Abschnitt des Mittelfells in der Brusthöhle vornehmlich links in Höhe des 3. bis 5. Interkostalraum (IKR) (OTTO et al., 2010). Es besteht mit seinen zwei Vorhöfen und zwei Kammern aus einem rechten venösen Teil und einem linken arteriellen Teil. Vorhöfe und Kammern sind durch die Atrioventrikularklappen (AV-Klappen) miteinander verbunden, die eine Ventilfunktion erfüllen und somit für eine gerichtete Blutströmung sorgen. Die Ventrikel kommunizieren über Semilunarklappen (ebenfalls mit Ventilwirkung) mit den abführenden Gefäßen des Herzens (HAUBOLD, 2006). Die Hohlvenen führen dem rechten Vorhof das sauerstoffarme venöse Blut aus dem großen Körperkreislauf zu. Über die Trikuspidalklappe gelangt das Blut in die rechte Kammer, der Trunkus pulmonalis pumpt das Blut in die Lunge, wo der Gasaustausch stattfindet. Das nun sauerstoffreiche arterielle Blut strömt durch die Lungenvenen in den linken Vorhof, passiert die Mitralklappe und gelangt aus dem linken Ventrikel über die Aorta zurück in den großen Kreislauf. Da der linke Ventrikel das Blut gegen einen hohen arteriellen Druck auswerfen muss, weist

dieser eine wesentlich höhere Muskelstärke auf als die rechte Herzkammer, die lediglich den Druck der Pulmonalarterie überwinden muss (SCHRADER, 2009).

Das Herz funktioniert als Pumpe, die durch sich abwechselnde rhythmische Kontraktionen und Entspannungen eine pulsative Strömung des Blutes erzeugt (SCHRADER, 2009). Die Strömungsrichtung ist durch die Ventilkappen (AV-Klappen als Einlassventile und Semilunarklappen als Auslassventile) festgelegt (HARMEYER, 2009). Die Phase der Systole beschreibt die Kontraktion des Herzmuskels, die zum Auswurf des in den Ventrikeln vorhandenen Blutes führt. In der Anspannungsphase (Beginn der Systole) überschreitet der Kammerdruck den der Vorhöfe und bedingt den Schluss der AV-Klappen. Blut kann nicht zurück in den Vorhof gelangen. Durch die ebenfalls geschlossene Aortenklappe steigt der Druck weiter an, ohne dass sich das enddiastolische Blutvolumen ändert (isovolumetrischer Druckanstieg). Die Semilunarklappen öffnen sich, die Auswurfphase beginnt. In dieser Phase sinken Kammerdruck und Blutvolumen. Wenn der Kammerdruck den der Aorta unterschreitet, schließt sich die Aortenklappe wieder, die Systole ist beendet. Es folgt die Diastole, in der sich der Herzmuskel entspannt, so dass sich die Kammern mit Blut füllen können. Während der Entspannungsphase sind alle Klappen geschlossen. Der Kammerdruck fällt weiter ab und die AV-Klappen öffnen sich. Die Füllungsphase beginnt mit dem Einstrom von Blut aus den Vorhöfen in die Ventrikel (HARMEYER, 2009; SCHRADER, 2009).

Aktionspotentiale (AP) lösen im Herzmuskel Kontraktionen aus. Das Reizbildungs- und Erregungsleitungssystem des Herzens arbeitet autonom und erzeugt ausgehend vom Sinusknoten als Schrittmacher selbständig elektrische Signale durch spezifische Ionenverteilungen. Der Reiz wird an alle Herzmuskelzellen weitergegeben und führt zur Kontraktion des Myokards. Dies ist möglich, da alle elektrisch leitenden Fasern der Vorhöfe und Kammern miteinander verbunden sind. Sie stellen ein funktionelles Syncytium dar (SCHRADER, 2009). Da die Dauer einer Reizung genau einer Kontraktion entspricht, ist der Herzmuskel nicht tetanisierbar. Dauer und Größe eines APs bestimmen die Dauer und Stärke der Kontraktion, so dass sich das Herz entsprechend den hämodynamischen Erfordernissen optimal anpassen kann (HARMEYER, 2009).

2.1.3 Regulation der Herztätigkeit

Bei zunehmender körperlicher Belastung passt sich das Herz in kürzester Zeit durch Steigerung der Schlagfrequenz, des Schlagvolumens und somit gesteigertem Herzminutenvolumen dem erhöhten Sauerstoffbedarf des Körpers an (MARLIN und NANKERVIS, 2002; HARMEYER, 2009). Das Pferd kann innerhalb von 15-20 Sekunden (sek) nach Belastungsbeginn eine Herzfrequenz bis zu 200-240 Schläge pro Minute entwickeln (der Ruhewert liegt zwischen 30-35 Schlägen pro Minute) (KRZYWANEK, 2006; HARMEYER, 2009) und das Schlagvolumen von 1,9 ml pro kg Körpergewicht auf 2,7 ml pro kg Körpergewicht erhöhen (THOMAS und FREGIN, 1981).

Das vegetative Nervensystem (Sympathikus und Parasympathikus) mit seinen Botenstoffen ist elementar an der Regulation der Herztätigkeit beteiligt. Schlagfrequenz, Kontraktionskraft und Geschwindigkeit der Erregungsleitung verändern sich infolge sympathisch stimulierender oder parasympathisch hemmender Reize. Das heißt mit körperlicher Belastung steigt abhängig vom Trainingszustand die Herzfrequenz durch Hemmung des Vagotonus und stimulierten Sympathikus (chronotrope Wirkung = herzfrequenzsteigernd) an. Zusätzlich verstärkt sich die Kontraktionskraft (inotrope Wirkung = herzkraftsteigernd) und es erhöht sich die Weiterleitungsgeschwindigkeit der APs (dromotrope Wirkung) (HARMEYER, 2009; SCHRADER, 2009).

Eine über Wochen kontinuierlich erfolgende körperliche Belastung, wie es bei Leistungssportlern der Fall ist, führt ebenfalls zu Anpassungsreaktionen des Herzens (SCHRADER, 2009). Faserwachstum und Apoptoserate der Herzzellen nehmen durch Training deutlich zu, Herzmuskelzellen vergrößern sich. Es kommt zur Hypertrophie (HARMEYER, 2009). So ist es nicht verwunderlich, dass das Herzgewicht eines Rennpferdes 4-6 kg beträgt. Das entspricht 0,95-1,15 % des Körpergewichts (KRZYWANEK, 2006). Nach WEBB und WEAVER (1979) nimmt allgemein das Gewicht des Pferdeherzens 0,7-1,1 % des Körpergewichts ein, nach VON ENGELHARDT (2009) wiegt das Herz eines untrainierten Vollblüters 0,8-1 % des Körpergewichts. Jedoch werden eine Zunahme von Herzgröße und Herzgewicht beim Pferd als Reaktion auf regelmäßiges Ausdauertraining diskutiert (UHDE, 2009). YOUNG (2005) konnte bei 2-jährigen trainierten Vollblütern eine Zunahme des Herzgewichtes sonographisch darstellen

(Innendurchmesser und Masse der linken Kammer waren vergrößert). PHYSICK-SHEARD (1985) stellte die Herzgröße ausschließlich mit dem zunehmenden Alter in Zusammenhang.

2.1.4 Einflüsse auf die Herzfrequenz

Verschiedenste Faktoren beeinflussen die Herzfrequenz des Pferdes. HARBIG (2006) differenzierte dabei zwischen exogener und endogener Herkunft mit indirekter oder direkter Auswirkung auf die Herzfrequenz. LOVING (1993) legte zunächst eine genetische Komponente fest. Rasse, Geschlecht, Alter und Körpergröße spielen ebenfalls eine erhebliche Rolle (STRAUB et al., 1984; PHYSICK-SHEARD, 1985). CIKRYTOVA untersuchte 1991 die Herzfrequenzen bei unterschiedlichen Rassen und konnte PHYSICK-SHEARDs Annahme (1985), dass die Herzfrequenz von der Abstammung und Rasse abhängig ist, bestätigen. So erreichten Vollblüter bei gleicher Belastung niedrigere Herzfrequenzwerte als Warmblüter. STRAUB (1984) und ROSE et al. (1995) erklärten dieses Phänomen durch die signifikant höhere aerobe Kapazität der Vollblüter. HARBIG untersuchte 2006 die Herzfrequenzen von Vielseitigkeitspferden während einer Turniersaison. Ihm fielen am Ende der Studie signifikant höhere Herzfrequenzen bei Stuten auf. EHRLEIN et al. (1973) verzeichneten ebenfalls signifikant verringerte Herzschlagfrequenzen bei Hannoveranerhengsten unter Belastung als bei Stuten.

Auch das Alter soll sich auf die Höhe der Herzfrequenz auswirken. In verschiedenen Studien (ROSE et al., 1995; McKEEVER und MALINOWSKI, 1997) konnten bei jüngeren Pferden höhere Herzfrequenzen festgestellt werden als bei älteren Pferden. BETROS et al. (2002) untersuchten Herzfrequenzen unter Belastung bei Pferden im Alter von 6-27 Jahren. Dabei unterschieden sich die maximalen Herzfrequenzen der im Durchschnitt 15-jährigen Pferde und im Durchschnitt 27-jährigen Pferde, die älteren Pferde wiesen deutlich niedrigere Werte auf. Ursächlich scheinen dafür die Abnahme der Schrittmacherzellen und die Ablagerung von Fettgewebe im Bereich des Sinusknotens zu sein. Zusätzlich wird mehr elastisches und kollagenes Gewebe im Körperkreislauf gebildet (HAUBOLD, 2006). MOSIER (1989) beschrieb das Altern als einen Prozess, bei dem die Regenerationsfähigkeit der Organfunktionen verloren geht. JAEK (2004) und HARBIG (2006) konnten in ihren Studien hingegen keine signifikanten

Unterschiede der Herzfrequenzen unterschiedlich alter Pferde bestätigen.

Die Herzfrequenz wird weiter durch das Klima, die Umgebungstemperatur und die Luftfeuchtigkeit beeinflusst (PERSSON, 1983). In der Studie von EHRLEIN et al. (1973) über die Herzschlagfrequenz während standardisierter Belastung von Pferden konnte dieser Zusammenhang zwischen der Umgebungstemperatur und der Herzschlagfrequenz nicht beobachtet werden. Trotzdem scheint die Thermoregulation des Pferdes in Abhängigkeit von der Herzschlagfrequenz zu stehen, da nach EHRLEIN et al. (1969) belastete schwitzende Pferde erst nach dem Abtrocknen ihren Ruhepuls erreichten. Zum Ausgleich der erhöhten Körpertemperatur ist die Haut stärker durchblutet, was ein erhöhtes Herzzeitvolumen und somit auch erhöhte Herzschlagfrequenz erfordert.

Äußere Umwelteinflüsse können ein Pferd erregen und das vegetative Nervensystem stimulieren. Durch vagale Reize auf den Sinusknoten (BAYLY et al., 1983) und Adrenalinausschüttung (KING et al., 2006) kommt es zum raschen Anstieg der Herzfrequenz. GYSIN et al. (1987) betonten daher den geringen Aussagewert der Erholungspulsfrequenz als Parameter zur Beurteilung des Trainingszustandes wegen der Umwelteinflüsse und Abhängigkeit vom Charakter des Pferdes. Dabei reagieren Vollblüter stärker mit einer Erhöhung der Herzfrequenz durch Aufregung und Angst als Warmblüter (MARLIN und NANKERVIS, 2002).

Des Weiteren konnte JANSSON (2002) eine Abhängigkeit der Herzfrequenz von der Fütterung nachweisen. Pferde, die im Rahmen standardisierter Tests kohlenhydratreiches Futter erhielten, zeigten höhere Herzfrequenzen.

Pathologische Zustände sind ebenfalls als häufige Ursache veränderter Herzfrequenzen zu benennen. Chronische Atemwegserkrankungen bedingen häufig eine niedrigere Sauerstoffkapazität, die auf unterschiedliche Weise kompensiert wird. Eine erhöhte Sauerstoffextraktion aus dem Hämoglobin erfordert neben dem erhöhten Atemzugvolumen eine erhöhte Herzschlagfrequenz (LITTLEJOHN et al., 1982). Auch Lahmheiten können unter Belastung zu einem Anstieg der Herzfrequenz führen (COUROUCE et al., 1996).

2.1.5 Belastung und Herzfrequenz

Unter Belastung nimmt mit zunehmender Laufgeschwindigkeit die Herzfrequenz linear zu (EHRLEIN et al., 1970). Innerhalb kürzester Zeit wird eine Frequenz von bis zu 240 Schlägen pro Minute bis zu einem maximalen Wert, dem so genannten steady state, erreicht. Dieser Plateauwert lässt sich nach PERSSON (1967) durch die Speichermilz des Pferdes erklären. Bei Belastung kommt es verzögert zur Freisetzung der Erythrozyten aus der Milz, so dass der erhöhte Sauerstoffbedarf vorübergehend durch den schnellen Anstieg der Herzfrequenz kompensiert wird. Das Pferd kann bei Bedarf das fast Achtfache der Ruheherzfrequenz entwickeln (KRZYWANEK, 2006). Im Regelfall nimmt die Herzfrequenz anfänglich sehr schnell zu, bis sie sich dann einpendelt. Ähnlich stellt sich die Situation nach der Belastung dar – zunächst kommt es zum raschen Abfall der Herzfrequenz, dann nimmt sie nur noch langsam ab. Die Zeit bis zum Erreichen des Ruhewertes hängt von der Belastung und dem Trainingszustand ab. Sie beträgt nach PERSSON (1967) 20-60 Minuten.

Die Herzfrequenz eignet sich als Beurteilungskriterium der Leistungsfähigkeit von Sportpferden (STRAUB, 1984). Ihr Verhalten in Ruhe, während und nach der Belastung sowie die Abhängigkeit zur Laufgeschwindigkeit spielen eine wichtige Rolle. LINDNER (2001) wies in ihrer Studie sogar auf die mögliche Trainingssteuerung anhand der Herzfrequenz hin, wie sie im Breitensport beim Menschen bereits üblich ist. Unter Belastung benötigt der Pferdekörper durch die starke Muskelarbeit mehr Sauerstoff (GYSIN, 1987). Um diesen Bedarf decken zu können, bedient sich der Körper verschiedener Mechanismen. So führt der erhöhte Energiestoffwechsel zum Anstieg der Herzfrequenz. EHRLEIN et al. (1973) vermuteten einen Zusammenhang zwischen der maximalen Herzfrequenz und der maximalen Sauerstoffaufnahme. Über die Aussagekraft der Herzfrequenz über den Trainingszustand gibt es jedoch unterschiedliche Auffassungen. STRAUB (1984) und GYSIN (1987) betonten, dass nur die Belastungsherzschlagfrequenz bei standardisierter Belastung aussagefähig ist und die Abhängigkeit von der Blutlaktatkonzentration berücksichtigt werden muss. OHMURA (2002) beschrieb die Messung der Sauerstoffsättigung im Blut als effizientes Beurteilungskriterium, jedoch sei die Herzfrequenz ein praktikablerer Messwert. Interessant ist die Beobachtung der Entwicklung der Herzschlagfrequenz im Rahmen von Trainingsintervallen. HARKINS (1991)

stellte in einer Studie dar, dass sich die Herzfrequenzen bei Vollblutpferden während eines standardisierten Trainingstestes deutlich reduzierten. Man ging davon aus, dass das Training Einfluss auf die Höhe der Herzfrequenz nahm. VON ENGELHARDT (2009) beschrieb, dass trainierte Vollblüter, die ein erhöhtes Herzmuskelgewicht aufweisen, in Ruhe über ein um 20-25 % erhöhtes Herzschlagvolumen verfügen und dabei niedrigere Schlagfrequenzen zeigen. FOREMAN (1990) konnte in seiner Studie eine trainingsinduzierte Bradykardie nicht nachvollziehen. Nach EVANS (1985) und ART und LEKEUX (1993) ist die maximale Herzfrequenz bei Belastung durch Training nicht zu verändern. VON ENGELHARDT (1992) wies darauf hin, dass die Leistungsfähigkeit von Pferden bereits genetisch festgelegt ist, so dass sie durch Training kaum beeinflussbar ist. Dass in verschiedenen Studien trotzdem abschließend niedrigere Ruhewerte gemessen wurden, erklärte UHDE (2009) durch die mit zunehmendem Trainingszustand in Ruhe zu verzeichnende Abnahme der Sympathikuserregbarkeit bei unverändertem Vagotonus. In einer weiteren Untersuchung zeigte HARKINS (1991), dass trainierte Pferde schneller ihren Ruhepuls erreichen.

2.2 Die Lunge

2.2.1 Allgemeine Einführung

Der Atmungsapparat setzt sich aus den oberen, luftleitenden und den unteren, luftaustauschenden Atemwegen zusammen und ermöglicht den Gasaustausch zwischen Luft und Blut. Luft wird über die Nase eingeatmet, passiert die Nasenhöhle, den Kehlkopf und gelangt schließlich über die Trachea in die Lunge als luftaustauschendes Organ (KÖNIG und LIEBICH, 2008).

Neben der Zufuhr von Sauerstoff (O₂) und dem Abtransport von Kohlendioxid (CO₂) dienen die Atemwege auch der Reinigung (Abwehr), Erwärmung und Anfeuchtung der inspirierten Luft (GROS, 2009; SCHEID, 2009).

WEISS und RUDOLPH (2007) beschrieben die Lunge sogar als aktives Stoffwechselorgan (Bildung von Phospholipiden). Ferner ist sie auch an der Regulierung von Wasser- und Elektrolythaushalt, Blut-pH und Körpertemperatur beteiligt.

2.2.2 Anatomie der Lunge

Die Lunge als eigentliches respiratorisches Organ nimmt beide Pleurasäcke der Brusthöhle ein. Die linke Lunge teilt sich in einen kranialen und kaudalen Lappen, die rechte Lunge weist zusätzlich einen akzessorischen Lappen auf (WAIBL, 2004). Tiefe interlobuläre Fissuren zur Trennung der Lungenlappen, wie sie bei anderen Haussäugetieren vorkommen, sind beim Pferd kaum ausgeprägt (HAUBOLD, 2006). Die Trachea geht im Bereich der Bifurkation in die Hauptbronchien der linken und rechten Lunge über. Die Hauptbronchien teilen sich in immer kleiner werdende Einheiten und enden in Bronchioli und Alveolen. Hier findet der Gasaustausch zwischen Blut und Lunge statt (KÖNIG und LIEBICH, 2008).

Die Innenauskleidung der Trachea und Bronchien besteht aus einem mehrreihigem zilientragendem Epithel. Die hier eingelagerten Becherzellen bilden muköses Sekret, das Fremdpartikel und Bakterien einlagern kann, so dass diese durch Zilienbewegungen des Flimmerepithels Richtung Kehlkopf befördert werden. In den Alveolen als letztem Abschnitt des luftleitenden Systems finden erste Prozesse des Gasaustausches statt (WEYRAUCH und SMOLLICH, 1998). Die Lungenalveolen sind mit einschichtigem Epithel (Pneumozyten Typ I) ausgekleidet, das einer Basalmembran aufliegt (WEYRAUCH und SMOLLICH, 1998; WAIBL, 2004). Zusätzlich befinden sich hier in geringerer Anzahl Nischenzellen (Pneumozyten Typ II). Sie sind zuständig für die Surfactantbildung (ASKIN und KUHN, 1971; GROS, 2009; SCHEID, 2009). Diese oberflächenaktive, Phospholipide enthaltende Substanz legt sich als Flüssigkeitsfilm auf das Epithel, wo sie ihre antiateloektatische Wirkung entfalten kann – ein Kollabieren der Alveolen in der expiratorischen Phase wird verhindert (KAUP und DROMMER, 1985). Weiter soll Surfactant den interstitiellen Flüssigkeitsstrom steuern, Ödembildung verhindern (GUYTON und MOFFAT, 1981) und am Gasaustausch durch Sauerstofflösung beteiligt sein. Auch bei der unspezifischen Partikelabwehr spielen die Phospholipide eine nicht unbedeutende Rolle (KAUP und DROMMER, 1985).

2.2.3 Physiologie der Lunge

Die Lungenatmung gliedert sich in die äußere (Gasaustausch in der Lunge) und innere (Gewebeatmung) Atmung. Dabei gelten für beide Ventilation bzw. Konvektion (Transport des O₂ und CO₂) und Diffusion (Übertritt der Stoffe über eine Trennwand) als grundlegende Mechanismen der Atmung (GROS, 2009; SCHEID, 2009).

Durch Kontraktionen der Rippenmuskulatur und des Zwerchfells kommt es zur Vergrößerung des Thoraxraums, das intrathorakale Volumen verändert sich, die Inspiration wird eingeleitet. Dabei werden der Atemwegs- wie auch der Alveolarraum belüftet (Ventilation). Es folgt die Expirationsphase. Die Muskulatur erschlafft, Ausatemluft wird abgegeben (REINHOLD, 1997; GROS, 2009; SCHEID, 2009).

Pferde besitzen ein einzigartiges Atemmuster (HALTMEYER, 2008) mit biphasischem Charakter. Nach KOTERBA et al. (1988) lassen sich die Inspiration und Expiration jeweils in eine passive und aktive Phase gliedern, die wiederum individuell unterschiedlich zu beobachten sind. Die Einatemphase beginnt mit passivem Lufteinstrom, gefolgt von einer aktiven Kontraktion des Zwerchfells und der Interkostalmuskulatur. Der Rippenbogen dehnt sich kaudal aus. Die Ausatemphase leitet sich ein und beginnt mit dem passiven Ausstrom von Luft. Durch anschließende aktive Kontraktion der abdominalen Muskulatur wird die Phase beendet. Die Muskulatur relaxiert wieder, die Einatemphase beginnt erneut (ROBINSON, 2006; HALTMEYER, 2008). BAUMGARTNER (2009) und DEEGEN und GLITZ (2010) beschrieben dies als costoabdominalen Atemtyp. Gestützt werden die Inspiration und Expiration durch sich verändernde Drücke in Thorax und Abdomen. GALLIVAN (1989) führte das zweiphasige Atemmuster auf die Form des Thorax und Abdomens zurück. Außerdem konnte GILLESPIE (1966) in einer Studie herausfinden, dass die Biphasigkeit mit zunehmender Aufregung, Anstrengung oder Lungenfunktionsstörungen verloren geht. Dies scheint mit der damit verbundenen erhöhten Atemfrequenz zusammenzuhängen (ART und LEKEUX, 1988).

Ein weiteres Phänomen beim Pferd ist, dass die Inspiration an die Fußung gekoppelt ist (JONES, 1984). Dies ist besonders im Galopp zu beobachten – jeder Galoppsprung geht mit einem Atemzug einher. Nach KRZYWANEK (2006) ist

die Kopplung mechanisch bedingt, da im Galopp der Körper gestreckt wird, so dass die Organe der Bauchhöhle hinter der Bewegung zurückbleiben und einen indirekten Zug auf das Zwerchfell ausüben. Landet das Pferd aus dem Galoppsprung, drücken die gleichen Organe auf das Zwerchfell – Ausatemluft kann besser abgegeben werden.

Lediglich ein geringer Anteil der sauerstoffreichen Einatemluft gelangt nach Überwindung des Totraums in die Alveolen (HAUBOLD, 2006). Durch Diffusion überwindet der Sauerstoff die alveolo-kapilläre Barriere und gelangt ins Blut. Die kurze Diffusionsstrecke (Alveolarmembran, Interstitium, Kapillarendothel) von 0,5-1 µm und die große Kontaktfläche zwischen Alveolen und Kapillaren begünstigen dies (KRZYWANEK, 2006; GROS, 2009). Nach KRZYWANEK (2006) ist die Ventilation der Lungenalveolen nicht gleichmäßig. So werden beim inaktiven ruhenden Pferd ventrale Lungenbezirke besser belüftet als die dorsalen. Bei zunehmender Belastung nehmen Atemzugvolumen und somit der intrapleurale Druck zu und führen zur Entfaltung und verbesserten Ventilation der dorsalen Lungenbereiche.

Nach der Ventilation gelangt der eingeatmete Sauerstoff durch Konvektion in die Alveolen. Kohlendioxid wird in der Expirationsphase abgegeben. Durch Diffusion aufgrund eines Gasdruckgefälles passieren die Gase die alveolo-kapilläre Barriere. Sie folgen dabei dem Fick'schen Gesetz:

$$dm/dt = - D * F * \Delta c / d$$

Es beschreibt die Proportionalität der pro Zeiteinheit (dt) diffundierten Stoffmenge (dm) zum Diffusionskoeffizienten (D), der Diffusionsfläche (F) und der Konzentrationsdifferenz (Δc), die umgekehrt proportional zur Diffusionsstrecke (d) ist (HAUBOLD, 2006; GROS, 2009). Die Diffusionskapazität der Lunge (individuelle Diffusionseigenschaften der Lunge) und die Kontaktzeit der Erythrozyten in der Lungenkapillare müssen dabei berücksichtigt werden. Die Kontaktzeit der Lunge beträgt ca. 0,7 sek. Nach GROS (2009) ist bereits nach 0,2 sek der Gasaustausch abgeschlossen. Bei körperlicher Anstrengung nimmt die Strömungsgeschwindigkeit zu, die Kontaktzeit verkürzt sich. Durch die Diffusionskapazität der gesunden Lunge ist ein ausreichender Austausch des Sauerstoffs noch gewährleistet. Ist die

Diffusionskapazität jedoch gestört wie beispielsweise durch eine Lungenfibrose, reicht die Kontaktzeit bei erhöhter körperlicher Anstrengung nicht mehr aus, das Blut kann nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff gesättigt werden (GROS, 2009). Nach HOPPELER (1990) benötigen Pferde ihre gesamte zur Verfügung stehende strukturelle Kapazität zur Sauerstoffdiffusion, da 75 % der kapillären Kontaktzeit für eine maximale Sauerstoffaufnahmekapazität gebraucht wird. Chronische Atemwegserkrankungen können zu Ventilations- und Diffusionsstörungen führen, das Hämoglobin ist nur noch unzureichend mit Sauerstoff gesättigt. Sie stellen einen leistungsbegrenzenden Faktor dar (HOPPELER, 1990; HERHOLZ et al., 1994; REINHOLD, 1997).

Im Anschluss an den pulmonalen Gasaustausch kann das Blut den Sauerstoff zu den Geweben transportieren und dort Kohlendioxid aufnehmen. Sauerstoff liegt im Blut zu 98 % an Hämoglobin chemisch gebunden und zu 2 % physikalisch gelöst vor. Kohlendioxid ist ebenfalls physikalisch gelöst oder chemisch gebunden als Bicarbonat oder Carbamat (GROS, 2009; SCHEID, 2009). Im Rahmen der Gewebeatmung wird der O₂ aus der Kapillare zum Mitochondrium befördert, dort verbraucht und als CO₂ zurück in die Kapillare abgegeben (GROS, 2009; SCHEID, 2009).

2.2.4 Atemfrequenz und Atemvolumina

Das Atemminutenvolumen (Gesamtventilation) ergibt sich aus dem Produkt von Atemfrequenz und Atemzugvolumen. Die Atemfrequenz hängt neben anderen Faktoren vom Körpergewicht des Tieres ab, das heißt, sie nimmt mit abnehmendem Körpergewicht zu (GROS, 2009). Atemfrequenz und Atemzugvolumen können bei Bedarf wie beispielsweise vermehrter körperlicher Anstrengung gesteigert und so die Sauerstoffaufnahme nach VON ENGELHARDT (1992) um das 30-35-fache erhöht werden. In Ruhe atmet ein adultes Pferd mit niedriger Atemfrequenz, aber hohem Atemzugvolumen (KOTERBA, 1988). Das Ruheatemzugvolumen beim Pferd beträgt ca. 4-5 Liter (HALTMEYER, 2008) und kann bei Belastung ein Volumen von 15-20 Litern annehmen (KRZYWANEK, 2006).

2.2.5 Regulatorische Mechanismen der Atmung

Das vegetative Nervensystem innerviert sämtliche Lungenstrukturen. Der Tonus der glatten Atmungsmuskulatur kann verändert werden. Weiter nimmt es Einfluss auf die Sekretproduktion submuköser Drüsen, auf den Flüssigkeitstransport im Bereich des Atemwegsepithels, auf die Permeabilität und den Blutfluss der bronchialen Zirkulation sowie auf die Freisetzung von Mediatoren aus Mastzellen und anderer Entzündungszellen (BARNERS, 1986).

Für die Steuerung der Atmung ist das Atemzentrum der Medulla oblongata zuständig. Dessen Neuronen geben den Atemrhythmus an. Einteilen lassen sich die Nervenzellen in inspiratorische Neuronen für die Einatemphase (Aktivierung der Atmungsmuskulatur), postinspiratorische Neuronen für die passive Ausatemphase (Erschlaffung der Atmungsmuskulatur) und expiratorische Neuronen für die aktive Ausatemphase (Aktivierung der Ausatemungsmuskulatur) – tatsächlich verläuft die Expirationsphase passiv. Das Atemzentrum gewährleistet den Atemrhythmus aus stetem Wechsel zwischen In- und Expiration (GROS, 2009). Durch andere Einflüsse (Atemreize) von höheren Hirnzentren oder aus der Körperperipherie kann der Rhythmus den jeweiligen Bedürfnissen angeglichen werden (SCHEID, 2009).

Im Bronchialbaum sind Rezeptoren lokalisiert, die auf Lungendehnung reagieren und über afferente Bahnen des N. vagus das Atemzentrum kontaktieren. Durch Dehnung der Lunge in der Inspirationsphase wird über die Afferenzen die postinspiratorische Phase aktiviert. Eine Überdehnung der Lunge wird verhindert. Sind diese Nerven ausgeschaltet, würde die Atemtiefe zu und die Atemfrequenz abnehmen. Dieser Reflex wird Hering-Breuer-Reflex genannt (GROS, 2009; SCHEID, 2009).

Als Schutzreflex dienen Rezeptoren in der Submukosa der Nasenschleimhaut, die auf mechanische und chemische Reize reagieren und zum Niesen führen. Subepitheliale Rezeptoren in Kehlkopf und Luftröhre lösen einen Hustenreflex aus (GROS, 2009; SCHEID, 2009).

Der Deflationsreflex wird durch starke Abnahme des Lungenvolumens ausgelöst und führt zur gesteigerten Atemtätigkeit mit Hyperpnoe (GROS, 2009; SCHEID, 2009).

Periphere Chemorezeptoren im Glomus karotikum und in den Glomerula aortika messen arterielle Blutgasparameter (Partialdrücke für Sauerstoff und Kohlendioxid im Blut sowie dessen pH-Wert). Zentrale Chemorezeptoren in der Medulla oblongata registrieren ebenfalls Blut-pH und Kohlendioxid-Partialdruck. Auf diese Weise werden Atemzugvolumen und Atemfrequenz der jeweiligen Stoffwechselsituation angepasst (GROS, 2009).

2.3 Thermoregulation

Das Pferd als Säugetier ist homoiotherm (gleichwarm). Es kann seine Körpertemperatur unabhängig von Kälte- und Wärmebelastungen weitgehend konstant halten (JESSEN, 2009). Dabei bezieht es seine Körperwärme vor allem aus dem eigenen Stoffwechsel (CAMPBELL und REECE, 2003). Der Körper produziert Energie, von der nur 25-35 % in Bewegung umgesetzt wird, der Rest geht in Wärme über (MEYER und COENEN, 2002). Durch vermehrte Wärmeproduktion schützt sich der Körper vor tiefen Umgebungstemperaturen, durch vermehrte Wärmeabgabe vor Hitze. Strahlung, Leitung und Konvektion ermöglichen dem Pferdekörper Wärme trocken abzugeben, dies erfolgt proportional zur Temperaturdifferenz zwischen der wärmeren Körperoberfläche und der kälteren Umgebungstemperatur. Ist die Temperaturdifferenz zu klein, kann zusätzlich die Körpertemperatur durch Verdunstung in Form von Schwitzen (feuchte Wärmeabgabe) konstant gehalten werden (JESSEN, 2009).

Die Kerntemperatur bzw. Innentemperatur des Körpers wird durch Messfühler im Körper registriert und mit einem Sollwert verglichen. Dies führt zur Aktivierung von Stellgliedern, Wärmeabgabe oder Wärmeproduktion werden eingeleitet. Es gibt unterschiedliche Störgrößen, die zu einem veränderten Sollwert der Kerntemperatur führen können. Störfaktoren, die von innen kommen beispielsweise Infektionserreger, wirken sich direkt auf den Kern aus. Äußere Störgrößen wie zum Beispiel hohe Umgebungstemperaturen bedingen zunächst nur eine erhöhte Temperatur der Körperoberfläche bzw. der Haut (JESSEN, 2009).

Neben Warm- und Kaltrezeptoren der Haut und Messfühlern im Rückenmark fungiert vornehmlich der Hypothalamus als Temperaturregelzentrum. Er erhält

aus verschiedensten Körperregionen Temperatursignale über afferente Nervenbahnen und vergleicht sie mit dem Sollwert. Über efferente Bahnen gibt er den Stellgliedern Anweisungen. HENSEL (1952), THAUER (1958), HARDY (1961) und HEMINGWAY (1963) kamen ebenfalls überein, dass die körperliche Kerntemperatur in Ruhe durch Rezeptoren im Körperkern und Hautrezeptoren geregelt wird. Unterstützend wirkt das sympathische Nervensystem. Durch Botenstoffe wie Noradrenalin und Adrenalin steuert es die Hautdurchblutung und Schweißsekretion (JESSEN, 2009).

2.3.1 Physik der Wärmebildung und Wärmeabgabe

Physikalische Prozesse ermöglichen dem Körper den Austausch von Wärme mit seiner Umgebung.

Bei der Konduktion tritt der Körper durch direkte Berührung mit seiner Umgebung in Kontakt. JESSEN (2009) erklärte diesen Vorgang dadurch, dass kinetische Energie von einem Molekül aufs andere übertragen wird, Wärme gelangt von der wärmeren Schicht in die kältere, beispielsweise wenn sich ein Pferd im kalten Matsch wälzt.

Bei der Konvektion wird Wärme an die das Fell umgebende Luft abgegeben. Luftbewegung in Form von Wind begünstigt dies. BOOS et al. (1991) konnten in einer Studie eine Verbesserung der Wärmeabgabe bei Belastung unter Einfluss eines Windsimulators darstellen. Dabei wurden Pferde auf einem Laufband mit und ohne Windsimulator trainiert. Die unter Windeinfluss trainierten Testpferde zeigten eine signifikant niedrigere Rektaltemperatur.

Radiation bedeutet die Emission elektromagnetischer Wellen durch Objekte (CAMPBELL und REECE, 2003). Ein in der Sonne liegendes Pferd kann sich über die langwelligen Infrarotstrahlen aufwärmen.

Am effektivsten ist der Wärmeverlust über Evaporation, das heißt die Wärmabgabe durch Verdunstung von Schweiß auf der Haut oder von Wasser in den Atemwegen. Ein 600 kg schweres Pferd kann pro Stunde 3 Liter Schweiß produzieren bei einer Verdampfungswärme von 2000 W (JESSEN, 2009). KRZYWANEK (2006) beschrieb, dass bei einer Verdunstung von 1 Liter Wasser dem Pferdekörper bis zu 2500 KJ Wärmeenergie entzogen werden. Dies erfolgt durch Schweißdrüsen, die beim Pferd über den ganzen Körper verteilt

vorkommen, davon die meisten im Bereich der Schulter, des Halses, des Unterbauchs und der Schenkelinnenflächen. Abhängig ist die Verdunstung von der Wasserdampfsättigung der Luft und ihrer Bewegung. Der Vorteil beim Schwitzen ist die große verfügbare Verdunstungsfläche (JESSEN, 2009). In der Studie von BOOS et al. (1991) konnte festgestellt werden, dass sich Luftbewegung positiv durch schweißmindernde Effekte auf die evaporative Wärmeabgabe auswirkt. Ähnliche Ergebnisse lieferten KITZINGS Untersuchungen 1968 über die Thermoregulation bei langdauernder schwerer körperlicher Arbeit. BETROS et al. (2002) und McKEEVER et al. (2010) wiesen darauf hin, dass bei älteren Pferden durch ein vermindertes Plasmavolumen ihre Schweißproduktion herabgesetzt ist und sie folglich in ihrer Thermoregulation eingeschränkt sind.

2.3.2 Thermoregulation als Anpassung von Physiologie und Verhalten

Wärmeaustausch erfolgt proportional zur Körperoberfläche, das heißt, die Oberflächentemperatur muss angepasst werden, um effektiv vor Wärmeverlust zu schützen (JESSEN, 2009). Das Fell der Pferde kann sich veränderten Temperaturbereichen zum Jahreszeitenwechsel anpassen. Es ähnelt den Eigenschaften einer ruhenden Luftschicht gleicher Dicke. Der im Winter gebildete dichte Pelz unterdrückt konvektive Prozesse, hält dadurch warm und isoliert vor Kälte und Feuchtigkeit (CAMPBELL und REECE, 2003; JESSEN, 2009). Jahreszeitliche Temperaturschwankungen bzw. die Änderung der Tageslänge leiten den Fellwechsel ein. Im Sommer, wenn die Pferde Hitze ausgesetzt sind, reflektiert das kurze dünne Fell kurzwellige Strahlen oder gibt diese als langwellige Strahlung wieder ab (JESSEN, 2009).

Auch das Kreislaufsystem ist an die Thermoregulation gekoppelt. Eine Vasodilatation führt zur erhöhten Durchblutung der Haut. Wärme vom Körperkern ausgehend wird in der Muskulatur vom Blut aufgenommen und kann über die stark durchblutete Haut abgegeben werden. Eine Vasokonstriktion der Hautgefäße führt zum gegenteiligen Effekt, die Wärmeabgabe wird reduziert (JESSEN, 2009). EHRLEIN et al. (1969) konnten in Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Herzschlagfrequenz und Leistung bei Pferden einen Zusammenhang zwischen der Erholungspulssumme mit der Körpertemperatur und Schweißsekretion belegen. Die Herzschlagfrequenz kehrte erst auf den

Ruhewert zurück, wenn die Pferde abgetrocknet waren. EHRLEIN et al. (1969) vermuteten, dass die vermehrte Durchblutung der Haut zum Ausgleich der inneren Körpertemperatur, ein erhöhtes Herzzeitvolumen und eine erhöhte Herzschlagfrequenz erfordert. DUŠĚK (1967) bestätigte ebenfalls die Beziehung zwischen erhöhter Pulsfrequenz und höherer Temperatur infolge der vermehrten Durchblutung der Körperoberfläche. Eine weitere Besonderheit im Kreislaufsystem stellen Arterien und Venen im Gliedmaßenbereich dar, die durch ihre Anordnung als Gegenstrom-Wärmeaustauscher funktionieren und Wärmeverluste minimieren (CAMPBELL und REECE, 2003). Bei Wärmebelastung öffnen sich arteriovenöse Anastomosen (JESSEN, 2009). Die Thermogeneserate kann durch vermehrte Muskelkontraktionen (Kältezittern) oder durch hormonelle Stimulierung des Stoffwechsels und der Produktion von Wärme anstelle von ATP erhöht werden (CAMPBELL und REECE, 2003).

Durch erhöhte Speichelsekretion und erhöhtes Atemminutenvolumen kann vermehrt Wärme über die Atmung abgegeben werden. Eine erhöhte flache Atemfrequenz bedingt die gesteigerte Ventilation des Totraums, indem Wasser verdunstet. Diese thermoregulierende Funktion ist beim Pferd jedoch bei weitem nicht so ausgeprägt wie bei anderen Tierarten (DUŠĚK, 1967).

Veränderungen der Körperhaltung wie zum Beispiel Zusammenrollen und Ortswechsel beispielsweise an schattige oder windgeschützte Plätze spielen ebenfalls eine nicht unerhebliche Rolle bei der Kontrolle der Körpertemperatur (CAMPBELL und REECE, 2003).

2.3.3 Veränderungen der Körpertemperatur

Bei starker körperlicher Arbeit kommt es zu einem erheblich gesteigerten Energieumsatz und infolge davon zur Wärmeproduktion, da nur ein Teil der Energie in Bewegungsenergie umgewandelt werden kann (KRZYWANEK, 2006). Diese Arbeitshyperthermie führt beim Pferd zu maximaler Schweißproduktion. Kreislauf und Temperaturregulation sind schnell überfordert. Der Schweiß kann nur unzureichend verdunsten und tropft ab. Die Wärmeabgabe hängt der Wärmeproduktion nach (JESSEN, 2009), dessen Differenz wird als Wärme gespeichert, so dass die Körperinnentemperatur ansteigt. NIELSEN (1938) beschrieb die Arbeitshyperthermie nicht als thermoregulatorisches Versagen, sondern als Folge einer Verstellung thermoregulatorischer Zentren.

Nach KRZYWANEK (2006) wurden nach maximalen Kurzzeitbelastungen rektal Temperaturen bis zu 41 °C gemessen. THOMAS et al. (2003) beschrieben in diesem Zusammenhang eine mögliche Schädigung des Gehirns mit nachfolgendem Hitzschlag. Ein Hitzschlag kommt vor allem im Zusammenhang mit hoher Außentemperatur und hoher Luftfeuchtigkeit vor. Mehr Wärme wird gebildet, wovon nur wenig durch ausbleibende Verdunstung abgegeben werden kann, es folgt der Wärmestau. Die innere Körpertemperatur steigt an. Es setzt ein Circulus vitiosus ein, der in einer Gewebehypoxie mit metabolischer Acidose endet. Zellschädigungen führen zu krankhaften Veränderungen des ZNS. Typischerweise tritt ein Hitzschlag in schlecht klimatisierten Stallungen oder auf Transporten auf (DIETZ, 2006).

Je trainierter ein Pferd ist, desto mehr setzt die Wärmeadaptation ein. Die Schweißbildung beginnt bei noch niedriger Kerntemperatur des Körpers und ist bei höheren Temperaturen stärker ausgeprägt, das Plasmavolumen erhöht sich im Laufe der Adaptation, die Leistungsfähigkeit des Kreislaufsystems ist gesteigert (JESSEN, 2009). Bei höchster körperlicher Arbeit kann ein Pferd bis zu 11 % seines Gesamtwassers als Schweiß abgeben (KRZYWANEK, 2006), große Mengen Elektrolyte, vornehmlich Natrium und Chlorid, gehen verloren (VON ENGELHARDT, 1992; MEYER und COENEN, 2002). Pferdeschweiß ist deutlich hyperton und reich an Glykoproteinen. Sie setzen die Oberflächenspannung herab, die daraus resultierende Schaumbildung und der Glanzschimmer an der Haaroberfläche bedingen zusätzlich eine Reflexion der Sonneneinstrahlung und verbessern damit die Kühlung des Körpers (VON ENGELHARDT, 2009). Langfristige Belastungen bei warmer Witterung können durch körperliche Überhitzung zu erheblicher isotoner bzw. hypotoner Dehydratation und nach VON ENGELHARDT (2009) sogar zum Hitzekollaps führen. Das Tränken der Pferde während Belastungspausen soll dem vorbeugen.

Eine Hypothermie, das heißt das Absinken der Körpertemperatur unter 35 °C, entsteht durch Unterkühlung oder als Folge eines Schockgeschehens. Kälte von außen kann zur Unterschreitung der unteren Regelgrenze führen, die Wiederherstellung einer konstanten Körpertemperatur erfordert eine Wärmeproduktion von mehr als dem fünffachen Ruheumsatz. Dies ist nach JESSEN (2009) bei gut genährten größeren Tierarten selten der Fall. Einer bei Unterkühlung zunächst stark gesteigerten Stoffwechselrate folgt bei anhaltender

Abkühlung der Erschöpfungstod (THOMAS et al., 2003). Im Schockgeschehen kann es durch die Entgleisung des Stoffwechsels ebenfalls zur Hypothermie kommen (GLITZ und DEEGEN, 2010).

Eine Störung der Wärmeregulation des Körpers mit krankhafter Steigerung der inneren Körpertemperatur führt zum Fieber (BAUMGARTNER, 2009). JESSEN (2009) beschrieb Fieber als eine Reaktion auf Infektionen. Interleukine werden freigesetzt und lösen eine Immunantwort aus, die Körpertemperatur steigt. Prostaglandine scheinen dabei eine stimulierende Wirkung auf den Hypothalamus als Thermoregulationszentrum zu haben. Der Sollwert für die Kerntemperatur wird erhöht, Mechanismen, die zur Wärmeabgabe führen, werden gedrosselt. Fieber ist demnach ein krankhafter Zustand und ist dabei nach GLITZ und DEEGEN (2010) ein wichtiger Bestandteil der Heil- und Abwehrprozesse des Organismus.

2.4 Die klinische Untersuchung des Pferdes

Zu Beginn des Untersuchungsganges eines Pferdes steht immer die Feststellung des Signalements und der Anamnese. Anschließend wird die allgemeine Untersuchung durchgeführt gefolgt von der speziellen Untersuchung. Die exakte klinische Untersuchung ist Grundlage und notwendige Voraussetzung für die Erkennung und Unterscheidung pathologischer Befunde und ihrer diagnostischen Einordnung (TAYLOR und HILLYER, 2004). Abweichungen vom physiologischen Zustand müssen als Symptome erkannt, gesammelt und gewertet werden. Sie sind der zielgerichtete Weg zur gesicherten Diagnose, die eine Therapie ermöglicht. Es ergibt sich die Notwendigkeit eines strukturierten Untersuchungsganges, um einzelne Untersuchungspunkte nicht zu übersehen, dabei auffallende Abweichungen zu präzisieren und einzelnen Organsystemen zuzuordnen. Eine weiterführende spezielle Untersuchung und entsprechende diagnostische Maßnahmen können dann der allgemeinen klinischen Untersuchung gezielt angeschlossen werden. Kenntnisse über Physiologie müssen dabei vorausgesetzt und beeinflussende Faktoren berücksichtigt werden.

Untersuchungsgänge lassen sich in unterschiedlicher Reihenfolge durchführen. Man kann sich an der topographischen Reihenfolge orientieren, indem man zum

Beispiel kranial anfängt und kaudal endet oder man untersucht der Reihe nach die einzelnen Organsysteme wie Herz-Kreislaufsystem oder das respiratorische System.

2.4.1 Die allgemeine klinische Untersuchung

Die allgemeine klinische Untersuchung ist immer der speziellen Untersuchung vorangestellt. Im Folgenden sollen die einzelnen Schritte der allgemeinen klinischen Untersuchung des Pferdes erläutert werden. Sie umfasst beim Pferd 12 Punkte und erfolgt mittels Adspektion und Palpation. Es ergeben sich Rückschlüsse auf das Allgemeinbefinden (ungestört oder gestört), auf den Ort der Erkrankung und ggf. auf das Vorliegen einer Infektionskrankheit (GLITZ und DEEGEN, 2010). Die Untersuchung sollte an jedem Ort durchzuführen sein, so dass auf instrumentelle Hilfe weitgehend verzichtet werden kann (lediglich ein Fieberthermometer muss als Hilfsmittel herangezogen werden). Signalement und Anamnese sind der allgemeinen klinischen Untersuchung vorangestellt. Eine Auskultation von Lunge und Herz kann der allgemeinen Untersuchung angeschlossen werden, sollten sich bereits Befunde hinsichtlich dieser Organsysteme im Rahmen der allgemeinen Untersuchung ergeben haben.

I. Körperhaltung

Beurteilt wird die Haltung verschiedener Körperabschnitte, insbesondere von Kopf, Hals, Rumpf/Rücken und Gliedmaßen (GLITZ und DEEGEN, 2010). Eine Kopfschiefhaltung kann beispielsweise hinweisend auf eine neurologische Störung sein (BAUMGARTNER, 2009), ein gesenkter Kopf kann als Indiz für eine orthopädische Halsproblematik oder auch nur für eine Erschöpfung sprechen. Wechselnde trippelnde Bewegungen der Gliedmaßen sind häufige Symptome einer Hufrehe, eine einseitige Entlastung kann eine Stützbeinlahmheit unterschiedlicher Ursache andeuten und auch Rückschlüsse auf den Grad der Lahmheit geben (beispielsweise hoch- bis höchstgradig) (STASHAK, 2008).

Im physiologischen Zustand belastet das Pferd alle Gliedmaßen gleichmäßig, Kopf und Nacken werden im Gleichgewicht gehalten (GLITZ und DEEGEN, 2010).

II. Verhalten

Es werden das Bewusstsein und die Reaktionen auf die bzw. die Anteilnahme an der Umwelt des Pferdes beurteilt. Dabei beobachtet der Untersucher das Augen- und Ohrenspiel des Pferdes. Zusätzlich können bestimmte Umwelteinwirkungen herbeigeführt werden (BAUMGARTNER, 2009).

Das Verhalten kann verändert sein und äußert sich in Apathie, Depression, Somnolenz, Koma oder Erregbarkeit.

Im physiologischen Zustand ist das Pferd aufmerksam (GLITZ und DEEGEN, 2010).

III. Ernährungszustand

Durch Adspektion und Palpation beurteilt man den Ernährungszustand. Dabei fällt das Augenmaß auf Konturen, Knochenvorsprünge, Fettablagerungen an Hals, Schulter, Brustwand, Rücken und Kruppe (MEYER und COENEN, 2002). Je mehr ein Pferd an Gewicht verliert, umso sichtbarer sind die Rippenzwischenräume und die Skelettmuskulatur, insbesondere der M. longissimus lumborum et thoracis. Rippen, Hüft- und Sitzbeinhöcker sowie Schulterblatt geben palpatorische Hinweise auf den Ernährungszustand.

GLITZ und DEEGEN (2010) teilten anhand der Untersuchungsergebnisse den Ernährungszustand in sehr schlecht (kachektisch), schlecht, mäßig, gut, sehr gut und überfett (adipös) ein.

Adipositas ist durch subkutane Fettdepots vornehmlich am Kamm und an der Kruppe gekennzeichnet und kommt oft bei Stoffwechselerkrankungen wie Equines Cushing Syndrom oder Metabolisches Syndrom vor (BRÜNS, 2001). Kachektische Pferde zeigen deutlich ausgeprägte Knochenvorsprünge bei schlecht ausgeprägter Muskulatur. Bei Gewichtsverlust sind ursächlich gestörte Futteraufnahme/Mangelernährung, gestörte Futtermittelverwertung oder vermehrter Verbrauch voneinander abzugrenzen.

Im physiologischen Zustand ist der Ernährungszustand gut oder sehr gut (GLITZ und DEEGEN, 2010).

IV. Pflegezustand

Das Haarkleid und die Pflege der Hufe werden beurteilt.

V. Habitus

Aus den vorangegangenen Untersuchungspunkten lässt sich auf den Habitus schließen. Dieser beschreibt den augenblicklichen äußeren klinischen Gesamteindruck des Patienten. Der Habitus ist der eines gering-, mittel- oder hochgradig akut oder chronisch erkrankten Tieres (GLITZ und DEEGEN, 2010).

Im physiologischen Zustand sollte der Patient den Habitus eines gesunden Pferdes zeigen.

VI. Atemfrequenz und Atemtyp

Durch einfaches Auszählen der Atemzüge kann die Atemfrequenz ermittelt werden. Ein Atemzug deutet sich mit der kaudalen Dehnung des Rippenbogens an. Die Zählung sollte über mindestens 30 bis 60 sek erfolgen (GLITZ und DEEGEN, 2010). Angegeben wird immer die Atemfrequenz pro Minute. Die Normalwerte in Ruhe unterscheiden sich in der Literatur und werden in Tabelle 1 aufgelistet.

Eine erhöhte Atemfrequenz wird als Tachypnoe bezeichnet, eine verringerte Atemfrequenz als Bradypnoe. Abweichungen von der Norm bestehen bei gestörtem Allgemeinbefinden oder bei fehlenden Ruhebedingungen (BAUMGARTNER, 2009).

Der Atemtyp sollte costoabdominal sein. Ein vermehrt costales oder abdominales Atemmuster oder eine doppelschlägige Expiration sind pathologisch (DEEGEN und GLITZ, 2010).

VII. Pulsfrequenz

Um den Puls zu ermitteln, palpiert der Untersucher eine periphere Arterie. Im Bereich der Incisura vasorum facialis ist die A. facialis gut zugänglich. Diese verläuft gemeinsam mit der gleichnamigen Vene und dem Speichelgang. Mit den Fingerkuppen lassen sich die Pulswellen erfühlen und sollten über mindestens 15 sek gezählt werden (BAUMGARTNER, 2009; GLITZ und DEEGEN, 2010). Die Ruhepulsfrequenz wird ebenfalls in unterschiedlicher Literaturstellen abweichend aufgeführt (Tab. 1).

VIII. Innere Körpertemperatur

Die innere Körpertemperatur wird beim Pferd rektal mit einem Fieberthermometer gemessen. Hierfür eignen sich Digitalthermometer, Maximalthermometer, die während der Messung über eine Schnur und Klammer am Schweif des Pferdes fixiert werden, finden heute nur noch wenig Verwendung und wurden durch die digitalen, schnell messenden Instrumente weitgehend abgelöst. So beträgt nach BAUMGARTNER (2009) die Messzeit der Quecksilber-Thermometer bis zu vier Minuten. Zum Messen kann das Thermometer mit Gleitmittel oder Fett schlüpfrig gemacht werden, um dann nach Anheben des Schweifes in die Mastdarmampulle eingeführt zu werden. BAUMGARTNER (2009) beschrieb die Messung weiblicher Tiere auch über die Scheide, wies jedoch darauf hin, dass die Temperatur hier einige Zehntel erhöht sein kann. Die innere Körpertemperatur ist durch unterschiedliche Faktoren wie tageszeitliche Schwankungen, Luftfeuchtigkeit, geleistete Arbeit, Nahrungsaufnahme oder Erregung der Tiere beeinflussbar (GLITZ und DEEGEN, 2010). Das Wetter soll nach HAYES (2003) keinen Einfluss auf die Körpertemperatur nehmen. Morgens ist die Temperatur am niedrigsten und zum Abend nimmt sie wieder zu (BAUMGARTNER, 2009; VON ENGELHARDT, 2009). HAYES (2003) wies auf einen Temperaturunterschied bis zu 1 °C zwischen diesen beiden Tageszeiten hin. Bei kontinuierlichen Messungen sollten Pferde morgens und am späten Nachmittag gemessen werden. Auf diese Weise können Fieberkurven erstellt und der Verlauf beurteilt werden. Übersteigt die morgendliche Temperatur die des Abends, wird dies als Typus inversus bezeichnet. Nach körperlicher Arbeit sollten die Pferde vor der Messung mindestens eine Stunde ruhen. Bei einem Rennpferd kann es mehr als eine Stunde (JESSEN, 2009) bzw. bis zu zwei Stunden (HAYES, 2003) dauern, bis die Arbeitshyperthermie abgeklungen ist. Weibliche, trächtige und junge Tiere weisen allgemein höhere Körpertemperaturen auf. Fehlerhafte Messwerte entstehen bei Entzündungen des Rektums oder Obstipationen, die zur Selbsterhitzung des Kotes führen. Zu niedrige Messwerte lassen sich durch unzureichenden Anusschluss, andauernde Durchfälle oder durch eine vorangegangene rektale Untersuchung erklären (BAUMGARTNER, 2009).

Die physiologische Körpertemperatur des adulten Pferdes beträgt nach GLITZ und DEEGEN (2010) 37,5-38,0 °C. In der Tabelle 1 werden unterschiedliche

Werte verschiedener Literaturstellen aufgezeigt.

IX. Nasenausfluss

Nasenausfluss wird nach dem Grad, der Konsistenz und dem Auftreten aus einer oder beider Nüstern beurteilt. Die Konsistenz kann serös, mukös, purulent, blutig oder füttrig sein und geringgradig, mittelgradig oder hochgradig auftreten. Seröses Sekret stellt sich wässrig klar da, muköser Ausfluss wird von Schleimdrüsen produziert und ist weißlich fadenziehend. Gelbliche rahmartige Sekretion deutet auf purulente Konsistenz hin. Einseitiger Nasenausfluss spricht für die Beteiligung der oberen Atemwege vor allem der Nasennebenhöhlen. Beidseitig tritt er insbesondere bei Erkrankungen der tiefen Atemwege auf. Entleert sich Sekret nur schubweise beispielsweise bei gesenktem Kopf während des Fressens, muss an eine Erkrankung der Luftsäcke gedacht werden. Füttriger Nasenausfluss kann im Zusammenhang mit Schluckstörungen beispielsweise in Folge einer Schlundverstopfung auftreten (BAUMGARTNER, 2009; GLITZ und DEEGEN, 2010).

Das gesunde Pferd hat keinen bzw. geringgradig serösen Nasenausfluss.

X. Spontaner Husten/Hustenreflex

Aus dem Vorbericht geht hervor, ob das Pferd spontan hustet. Auch im Rahmen der Untersuchung sollte auf Spontanhusten geachtet werden. Zusätzlich wird der Hustenreflex geprüft, indem der Untersucher Druck auf die erste Trachealspange hinter dem Kehlkopf ausübt. Physiologisch sollte das Pferd hierbei maximal einmal husten. Auf Auswurf und dessen Konsistenz muss dabei geachtet werden (GLITZ und DEEGEN, 2010).

Beim gesunden Pferd ist kein oder nur ein Hustenstoß auslösbar.

XI. Unterkieferlymphknoten

Im Kehlgang des Pferdes palpiert der Untersucher die beidseitig angelegten Mandibularlymphknoten. Zum Kinnwinkel hin sind die beiden Lymphknoten miteinander verbunden. Sie können in diesem Bereich nicht ertastet werden. Die Lymphknoten werden nach Größe, Konsistenz, Lappung, Verschieblichkeit und Schmerzhaftigkeit beurteilt (GLITZ und DEEGEN, 2010).

Physiologisch sind die ertastbaren Teile der Unterkieferlymphknoten

haselnussgroß, weich, verschieblich, gelappt und nicht schmerzhaft (GLITZ und DEEGEN, 2010).

XII. Schleimhäute

Beurteilt werden Maulschleimhäute und Konjunktivalschleimhäute der Augenlider. Mittels Adspektion werden krankhafte Veränderungen notiert. Typische Abweichungen sind ikterische, zyanotische, anämische oder gerötete Schleimhäute. Die Rötung wird graduiert in geringgradig, mittelgradig oder hochgradig oder schmutzig-verwaschen. Weiter sollte auf petechiale Blutungen, Makula, Papeln oder Vesikel geachtet werden. Die Farbe der Schleimhäute kommt durch die Durchblutung zustande und ist somit abhängig von der Menge des durchströmenden Blutes und von dessen Gehalt an Erythrozyten und Hämoglobin. Bei verstärkter Durchblutung stellen sich die Kapillaren weit, die Schleimhäute verfärben sich rötlich (Hyperämie) (BAUMGARTNER, 2009; GLITZ und DEEGEN, 2010).

Das gesunde Pferd hat feucht-glänzende, glatte und blassrosa-farbene Schleimhäute.

Zusätzlich testet der Untersucher die kapilläre Füllungszeit (KFZ) der Maulschleimhaut durch leichten Druck mit dem Finger auf die Schleimhaut. Sie gibt Rückschlüsse auf den Zustand des peripheren Kreislaufs und sollte nicht mehr als 2 sek betragen. Eine verlängerte Füllungszeit weist auf Durchblutungsstörungen unterschiedlicher Ursachen hin (TAYLOR und HILLYER, 2004).

Tab.1: Übersicht der Ruhewerte von Atemfrequenz, Pulsfrequenz und innerer Körpertemperatur bei adulten Pferden in deutsch- und englischsprachiger Literatur

	Atemfrequenz (Schläge pro Minute)	Pulsfrequenz (Schläge pro Minute)	Innere Körpertemperatur (°C)
PHYSICK-SHEARD, 1985	keine Angabe	28-40	keine Angabe
SCHATZMANN, 1995	8-14	28-32	37,0-38,0
EDWARDS und SAVAGE, 1999	keine Angabe	26-48	keine Angabe
ROSE und HODGSON, 2000	8-16	28-36	keine Angabe
MARLIN und NANKERVIS, 2002	keine Angabe	28-40	keine Angabe
HAYES, K. E. N., 2003	10-15	30-44	37,5-38,9
TAYLOR und HILLYER, 2004	keine Angabe	24-40	keine Angabe
KRZYWANEK, 2006	10-15	30-35	keine Angabe
REEF, 2007	keine Angabe	28-44	keine Angabe
GERBER et al., 2008	8-14	28-36	37,3-38,0
BAUMGARTNER, 2009	10-14	28-40	37,5-38,0
HARMEYER, 2009 GROS, 2009, VON ENGELHARDT, 2009	12	30-40	37,5-38,5
SCHAER und ORSINI, 2010, JESTY und REEF, 2010	8-15	28-44	38,0 ± 1
GLITZ und DEEGEN, 2010	8-18	28-48	37,5-38,0

2.4.2 Auskultation

Die allgemeine Untersuchung kann bereits neben vorberichtlichen Hinweisen wie Leistungsinsuffizienz, Tachypnoe oder Husten (REIMER, 1993; REED, 1995) hinsichtlich des Herz-Kreislaufsystems und Atmungssystems wichtige Befunde liefern (KAEMMERER, 1983). Bei der Palpation des Pulses kann der Untersucher durch Beurteilung der Qualität, des Rhythmus und der Gleichmäßigkeit der Pulswellen Rückschlüsse auf mögliche Herzerkrankungen ziehen, auch die Farbe der Schleimhaut und die kapilläre Füllungszeit geben Aufschluss über die kardiovaskuläre Funktion. GLITZ und DEEGEN (2010) betonten jedoch, dass viele Herzpatienten im Rahmen der allgemeinen Untersuchung keine Abweichungen zeigen, so dass die Auskultation von Herz und Lunge bereits in diesem Rahmen angeschlossen werden sollte. Dass die Auskultation schon 1816 von LAENNEC durchgeführt wurde, unterstreicht ihre Bedeutung.

Herzauskultation

Die Herzauskultation als wichtigste Grundlage der Herzdiagnostik wird mithilfe eines Phonendoskopes in einer ruhigen Umgebung durchgeführt. Man beginnt an der linken Thoraxseite über den Punkta maxima der Mitral-, Aorten- und Pulmonalklappen und endet mit der Untersuchung an der rechten Körperseite über dem Punktum maximum der Trikuspidalklappe. Bewertet werden Frequenz, Intensität, Rhythmus und Qualität der Herztöne (REIMER, 1993). Herzgeräusche müssen abgegrenzt werden. Sie stellen abnorme Geräusche im Herzzyklus dar, die durch Strömungsturbulenzen des Blutes bei unvollständigem Klappenschluss entstehen. Auch die Herzgeräusche werden hinsichtlich ihrer Intensität, ihrem Charakter, Zeitpunkt des Auftretens und Dauer und ihrem Punktum maximum beurteilt (TAYLOR und HILLYER, 2004). Herztöne und Herzgeräusche werden unterschiedlich auf die Brustwand projiziert (FREGIN, 1992; STADLER et al., 1994), ihre Lautstärke ist von extrakardialen Faktoren abhängig. Adipositas und dickes Fell dämpfen die Töne, magere, gut trainierte oder stark aufgeregte Pferde weisen hingegen eine hohe Lautstärke der Herztöne auf (KAEMMERER, 1983).

Lungenauskultation

Auch die Auskultation der Lunge muss in ruhiger Umgebung mittels eines Phonendoskopes durchgeführt werden und ist abhängig vom Ernährungszustand des Pferdes und dem Hörvermögen des Untersuchers (DEEGEN und ZICHNER, 1970). Durch festes Andrücken des Stethoskopes an die Brustwand wird der Thorax beiderseits abgehört. Dabei orientiert man sich ähnlich der Perkussion an den Lungengrenzen. Auf Höhe des Hüfthöckers (17. IKR), der Thoraxmitte (13. IKR) und der Schulterblattbeule (11. IKR) können der Bronchialbaum, die kaudalen Lungenlappen und die Spitzenlappen beurteilt werden. Die Auskultation erfolgt in Ruhe bei normaler Atmung und anschließend bei vertiefter Atmung, da die Abwesenheit von krankhaften Auskultationsbefunden in Ruhe kein Beweis für ein nicht Vorliegen pathologischer Veränderungen ist (DEEGEN und GLITZ, 2010). Durch das Zuhalten der Nüstern oder das Überstülpen beispielsweise eines Plastikbeutels über Maul und Nase reichert sich Kohlendioxid in der Atemluft an und provoziert das tiefere Einatmen. Es wird auf Atmungsgeräusche und Nebengeräusche geachtet. Physiologisch lässt sich ein geringgradig verschärftes oder vesikuläres Atmungsgeräusch feststellen, dass in der Inspirationsphase lauter ist als in der Expiration. Atemgeräusche sind auf der rechten Thoraxseite deutlicher ausgeprägt (ROSE und HODGSON, 2000; TAYLOR und HILLYER, 2004; BAUMGARTNER, 2009).

Pathologische Atemgeräusche erkennt der Untersucher durch eine Intensitätssteigerung der Geräusche bzw. wenn diese in der Expiration lauter werden als in der Einatmung. Einseitige oder beidseitige Veränderungen als Zunehmen oder Abnehmen der Atmungsgeräusche sind ebenfalls als krankhafte Abweichungen zu deuten. Rasseln, Reiben, Knistern oder Giemen sind pathologische Nebengeräusche, die häufig im Zusammenhang mit chronisch obstruktiver Bronchitis auftreten (ROSE und HODGSON, 2000; TAYLOR und HILLYER, 2004).

2.5 Merkmale ausgewählter Rasse-Gruppen

Im Lauf der Jahrhunderte haben sich verschiedenste Pferderassen entwickelt. In prähistorischer Zeit waren Wildpferde über ganz Asien und Europa verteilt. Schwere Pferderassen stammen vor allem vom Prezewalskipferd ab, die feinen zartgliedrigen Pferde finden ihre Wurzeln im Tarpan. Zwischen 3000 und 2000 v. Chr. begann der Mensch das Pferd zu domestizieren (SAYER, 1984). Später entstanden Zuchten, die die heute bekannten Rassen prägten. Der Einfluss der Umwelt und der Verwandtschaft formte charakteristische Rassemerkmale wie Fellfarbe, Exterieur, Fortbewegungseigenschaften und Interieur, die in der Zucht weiter selektiert wurden (EDWARDS, 1997). Heutzutage gibt es über 200 Pferderassen weltweit. Dabei unterscheidet man die Rassegruppen Kaltblüter, Vollblüter und Warmblüter abhängig von ihrem Temperament. In die Gruppe der Vollblüter fallen die Araber als Urquelle der leichten temperamentvollsten Pferderassen und das Englische Vollblut, die wesentlich zur Entwicklung vieler Rassen in Europa und Amerika beigetragen haben. Kaltblüter hingegen sind charakterisiert durch ihr schweres massiges Auftreten bei ruhigem Temperament. Warmblüter ergeben sich aus der Kreuzung der Voll- und Kaltblutpferde und zeigen ein mittleres Temperament (SAYER, 1984; EDWARDS, 1997). Aufgrund der sehr unterschiedlich geprägten Rassen, die durch ihre spezifischen Eigenschaften charakterisiert sind, kann auch von verschiedenen Ruhewerten der Atem- und Pulsfrequenz ausgegangen werden. Im Folgenden werden das Englische Vollblut aus der Gruppe der Vollblüter, die Gruppe Warmblüter und das Islandpferd kurz beschrieben.

2.5.1 Das Englische Vollblut

Das Englische Vollblut entstand im 17./18. Jahrhundert in England durch die Kreuzung einheimischer Rennpferde mit orientalischen Araber- und Berberhengsten (GUTTMANN, 1961). Es zeichnet sich durch hohe Leistungsbereitschaft, Schnelligkeit und aufgrund des Temperamentes oft schwierigen Charakter aus. So gehört diese Vollblutart der wertvollsten Pferdegattung der Welt an, indem es Mittelpunkt einer multinationalen Zucht- und Rennsportindustrie geworden ist. Als Hochleistungspferde im Rennsport müssen sie sich weltweit im Flach- und Hindernisrennen beweisen (SAYER, 1984; EDWARDS, 1997). Der Erfolg der Pferde bestimmt die Zucht. Die Leistung auf

der Rennbahn ist wichtigster Auslesefaktor (GUTTMANN, 1961). Die körperliche Konstitution stellt die Grundlage der Leistungsfähigkeit dar. Folgendes Zitat von TESIO (1959) bringt die Charakterisierung des Englischen Vollblutes auf den Punkt: „Das Vollblut galoppiert mit seinen Lungen, hält durch mit seinem Herzen und gewinnt mit seinem Charakter!“

Vollblutpferde zeigen häufig niedrigere Herzfrequenzen als andere Pferderassen. Dieses Phänomen wird durch den hohen Vagotonus erklärt. In diesem Zusammenhang treten ebenfalls Atrioventrikular-Blöcke auf, da der Parasympathikus Einfluss auf den Atrioventrikularknoten nimmt. Unter Belastung bzw. körperlicher Bewegung gehen diese Arrhythmien zurück (FEY und VERTER, 2006).

2.5.2 Das Warmblutpferd

Die Urahnen des Warmblutpferdes waren fast immer primitive Landpferde, die durch Einkreuzung mit Kaltblutpferden und Vollblütern ihre rassespezifischen Merkmale entwickelten. Weltweit ist das Warmblutpferd vertreten, es entstand eine Vielzahl von Rassen – in Deutschland prägen Trakehner, Holsteiner, Oldenburger, Hannoveraner, Westfalen, Bayerisches Warmblut, Württemberger und viele andere diesen Pferdetyp. Durch die Veredelung und Verstärkung der Zucht ist der Warmblüter zu einem vielseitigen Pferd geworden und findet seine Verwendung in Freizeit und Sport. Die modernen Pferdesportarten Dressur und Springen prägten die weitere Zucht der mittelgroßen großrahmigen Pferde mit angenehmem Temperament (GUTTMANN, 1961; EDWARDS, 1997).

2.5.3 Das Islandpferd

Die Insel Island im Nordatlantik wurde vor mehr als 1100 Jahren neu besiedelt, dabei brachten die Einwanderer der Wikingerzeit Pferde aus Norwegen und Britannien mit. Diese kleinen (Stockmaß 1,30-1,45 Meter) aber robusten Pferde zeichneten sich durch Kraft und Ausdauer aus. Da seit nun mehr als 800 Jahren ein Einfuhrverbot für Pferde nach Island besteht, zählt das Islandpferd zu der reinsten Rasse der Welt und verfügt über Eigenschaften, die in der Zucht anderer Rassen längst verloren gegangen sind. Die Gangarten Tölt und Pass blieben den Islandpferden erhalten und stellen seit der Stammzucht in Skagafjörður im Jahre 1879 wichtige Merkmale für die Zuchtselektion dar. Die gnadenlose

Umweltauslese der Nordatlantikinsel trug zur Ausformung und Entwicklung der robusten Islandpferde bei. Widerstandsfähigkeit, Genügsamkeit, Nervenstärke und schnelles Regenerationsvermögen charakterisieren sie, ein dem rauen Klima angepasstes Fell mit üppiger Mähne und Schweif und langen Behängen schützt die Tiere vor eisiger Kälte und Hitze. Sie gelten als langlebige Pferde mit robuster Gesundheit (MAGNÚSSON und ISENBÜGEL, 1993; FRÍMANNSSON et al. 1995; ISLANDPFERDE-REITER- und ZÜCHTERVERBAND IPZV e.V., 2011). Dennoch fielen bei dieser Rasse gesundheitliche Besonderheiten auf. STORZ (1962) und HAUBOLD (2006) beschrieben in ihren Studien, dass die Pferde immer wieder durch erhöhte Atem- und Herzfrequenzen sowie verlängerter Beruhigungsphase nach Belastung auffallen.

Die Vielseitigkeit der Islandpferde führte zu starker Beliebtheit. Vor knapp 50 Jahren wurden Pferde der Insel Island nach Europa exportiert. Inzwischen leben in Deutschland mehr als 50 000 Islandpferde, die vorwiegend im Freizeitbereich für Ausritte wie Wanderritte genutzt werden und sich auch im Sportpferdebereich im Rahmen spezieller Gangturniere etabliert haben (ISLANDPFERDE-REITER- und ZÜCHTERVERBAND IPZV e.V., 2011).

3 Material und Methoden

3.1 Auswahl des Probandengutes und Anzahl der Messungen

Für die vorliegende Studie wurden von Juli bis Dezember 2010 wiederholt Untersuchungen zu verschiedenen Jahreszeiten und somit unterschiedlichen Außentemperaturen durchgeführt. Im Rahmen der Untersuchungen wurden die Parameter der allgemeinen klinischen Untersuchung bei unterschiedlichen Rassen erhoben. Dafür wurden insgesamt 123 Islandpferde eines Islandpferdebetriebes bei Landshut in Niederbayern, 258 Warmblutpferde des bayerischen Haupt- und Landgestüt Schwaiganger und 133 Vollblutpferde zweier Gestüte am Starnberger See sowie eines Trainingsstalles an der Rennbahn in München-Riem gemessen. Die abweichende Anzahl der verschiedenen Rassen kam dadurch zustande, dass die Betriebe eine unterschiedliche Anzahl Pferde zur Verfügung stellten. In jedem Betrieb wurden die Pferde insgesamt viermal untersucht, wobei möglichst dieselben Probanden gewählt wurden. Das war von Seiten der jeweiligen Betriebe aus organisatorischen Gründen jedoch nur eingeschränkt möglich, so dass viele Pferde weniger als viermal untersucht wurden. Ziel der wiederholten Untersuchungen gleicher Pferde sollte sein, die Ruhewerte beeinflussende Faktoren erkennen zu können. Ausgewählt wurden Probanden, die vorberichtlich gesund waren. Pferde, die im Rahmen der Untersuchung sehr ängstlich oder aufgereggt waren, wurden von der Studie ausgeschlossen. Da das Ziel dieser Studie die Erstellung von Referenzwerten für die Puls- und Atemfrequenz sowie die innere Körpertemperatur von Pferden in Ruhe war und diese im praktischen Alltag eines Tierarztes Anwendung finden sollen, wurde für die Untersuchungen ein breites Spektrum unterschiedlicher Pferde ausgewählt. Das Geschlecht Stute, Hengst oder Wallach wurde notiert. Das Alter der Pferde variierte zwischen zwei und 27 Jahren. Zugeordnet wurden die Pferde zwei Gruppen: < 20 Jahre und ≥ 20 Jahre. Nach vorberichtlichen Angaben durch den Besitzer wurde die Nutzungsart bzw. der Trainingszustand nach keine Arbeit, leichte bis mittlere Arbeit, schwere Arbeit und Zucht eingeteilt. Die Gruppe leichte bis mittlere Arbeit ergab sich aus Pferden, die nicht täglich gearbeitet wurden, und jungen Pferden, die sich in Ausbildung befanden. Probanden, die täglich trainiert und zu Sportzwecken wie Dressur, Springen, Gangreiten oder Galopprennen verwendet wurden, fielen unter schwere Arbeit. Zuchtpferde waren Hengste ausschließlich im Deckeinsatz und

Stuten, die Fohlen bei Fuß hatten oder in der entsprechenden Saison belegt wurden. Außerdem wurde das Probandengut nach ihrer Haltungsart Offenstallhaltung, Boxen- oder Weidehaltung unterschieden.

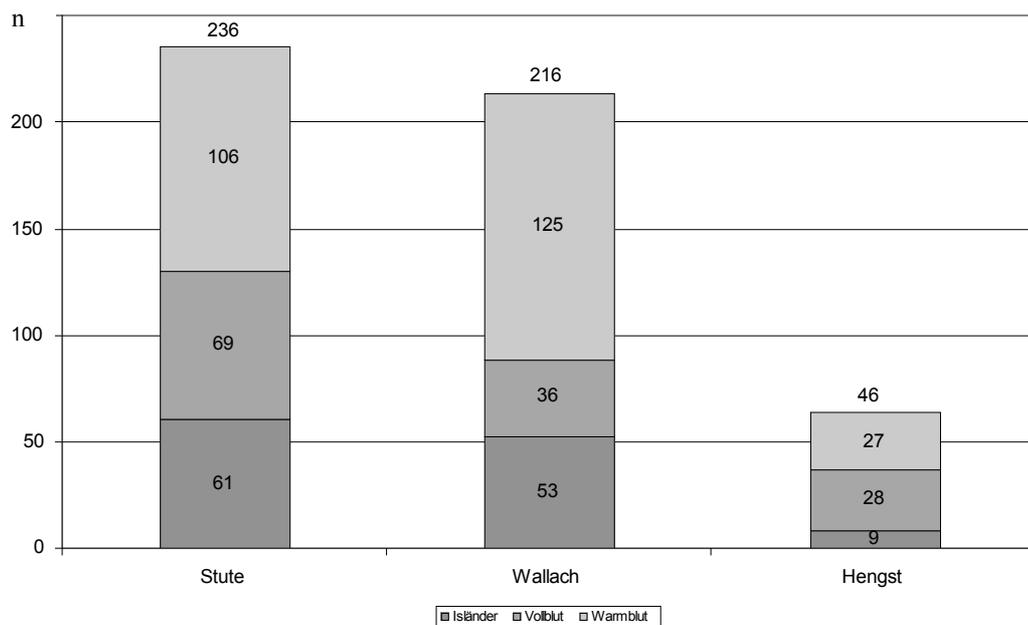
3.2 Methode

Bei allen zur Verfügung gestellten Pferden (n = 514) wurde eine allgemeine klinische Untersuchung durchgeführt. Die Tageszeit der Untersuchung konnte nicht frei gewählt werden und war abhängig vom betrieblichen Ablauf. Es wurde darauf geachtet, dass Pferde im Training mindestens zwei Stunden nach Belastung untersucht wurden, so dass die Erhebung der Ruhewerte als gesichert angesehen werden konnte. Bevor an den einzelnen Probanden herangetreten wurde, wurden die Haltung, das Verhalten, der Ernährungs- und Pflegezustand sowie der Habitus beurteilt. Im Anschluss wurde die Atemfrequenz anhand der mit jedem Atemzug einhergehenden kaudalen Dehnung des Rippenbogens über 60 sek ausgezählt. Der Abstand zum Pferd sollte dabei eine aufregungsbedingte Erhöhung der Atemfrequenz vermeiden. Die Pulsfrequenz wurde nach merklichem Absinken während der Palpation der A. facialis im Bereich der Incisura vasorum facialium ebenfalls in einer Zeit über 60 sek ermittelt und die innere Körpertemperatur mit einem Digitalthermometer (microlife® Vet-Temp 1831) gemessen. Vervollständigt wurde die allgemeine Untersuchung durch Palpation der Mandibularlymphknoten, Provokation des Hustenreflexes, Feststellung des Vorhandenseins von Nasenausfluss und dessen Bewertung sowie der Betrachtung der Maulschleimhäute und Bindehäute und Prüfung der kapillären Füllungszeit. Einige Vollblutpferde wiesen zum Zeitpunkt der Untersuchungen verdickte, schmerzhafte Lymphknoten auf, die aufgrund des jungen Alters dieser Probanden, und da die klinische Untersuchung ansonsten keinerlei Abnormitäten zeigte, im Zusammenhang mit dem Zahnwechsel gesetzt wurden. Im Anschluss an die allgemeine Untersuchung wurde eine Auskultation mit einem Phonendoskop (3M™ Littmann® Classic II S.E.) von Herz und Lunge vorgenommen, um mögliche krankhafte Abweichungen dieser Organsysteme zu überprüfen und die vorher erhobenen Ruhewerte zu evaluieren. Die Herzauskultation wurde von beiden Körperseiten aus im Bereich der Punkta maxima durchgeführt. Beurteilt wurden Frequenz, Intensität, Rhythmus und Qualität der Herztöne sowie das Vorhandensein von Herzgeräuschen. Dabei zeigte eins der gemessenen

Vollblutpferde ein systolisches Herzgeräusch Grad III von VI, was zum Ausschluss dieses Probanden aus der Studie führte. Bei allen weiteren Pferden fielen keine pathologischen Auskultationsbefunde des Herzens auf. Bei der beidseitigen Lungenauskultation konnten bei einigen Islandpferden mit vermehrt abdominaler Atmung deutliche in- und expiratorische Atemgeräusche festgestellt werden. Da hier der Verdacht einer chronisch obstruktiven Bronchitis nahe lag, wurden auch diese Probanden von der Studie ausgenommen.

3.3 Übersicht über die untersuchten Pferde

Insgesamt wurden 514 verschiedene Pferde untersucht, davon insgesamt 123 (24 %) Islandpferde mit 61 Stuten, 53 Wallachen und 9 Hengsten, 133 (26 %) Englische Vollblüter mit 69 Stuten, 36 Wallachen und 28 Hengsten und 258 (50 %) Warmblüter mit 106 Stuten, 125 Wallachen und 27 Hengsten.



n = Anzahl der Probanden

Abb. 1: Häufigkeitsverteilung der Geschlechter insgesamt.

Von den 514 Pferden wurden 314 (61,1 %) Pferde einmal, 73 (14,2 %) Pferde zweimal, 53 (10,3 %) Pferde dreimal und 74 (14,4 %) Pferde viermal untersucht. Insgesamt wurden 915 Messungen bzw. Untersuchungen durchgeführt. Bei wiederholt untersuchten Pferden wurde der aus diesen Untersuchungen berechnete Mittelwert für die Gesamtberechnung der Ruhewerte aller Pferde herangezogen.

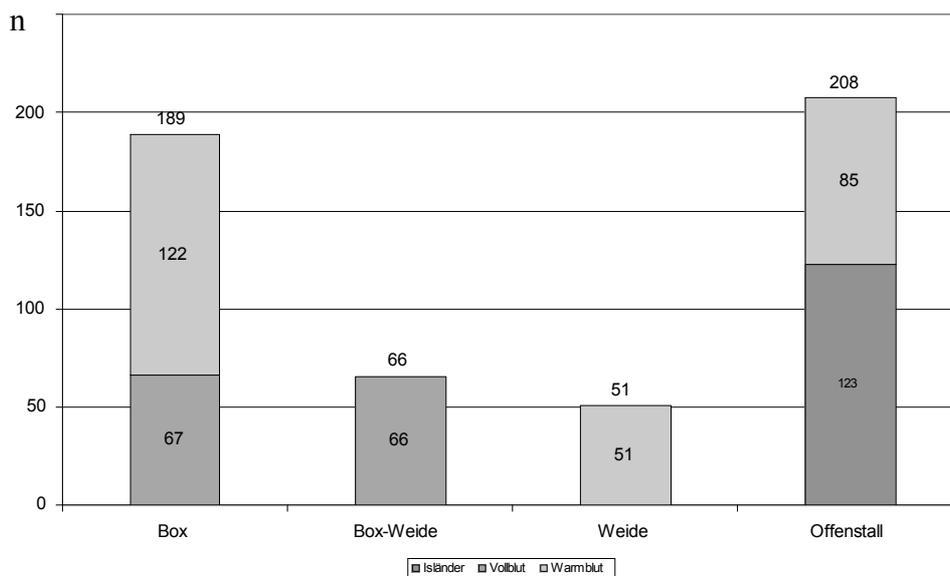
Die untersuchten Pferde wiesen ein Alter zwischen 2-27 Jahren auf. Davon waren 497 (96,7 %) gemessene Pferde unter 20 Jahre alt und nur 17 (3,3 %) Pferde 20 Jahre bzw. älter als 20 Jahre alt. Auf Grund der ungleichen Altersverteilung, wurde keine weitere statistische Auswertung bezüglich des Einflusses des Alters auf die Untersuchungswerte durchgeführt.

Tab. 2: Altersverteilung des Probandengutes

	Pferde < 20 Jahre	Pferde \geq 20 Jahre
Islandpferde (n)	107	16
Vollblutpferde (n)	133	0
Warmblutpferde (n)	257	1

n = Anzahl der Probanden

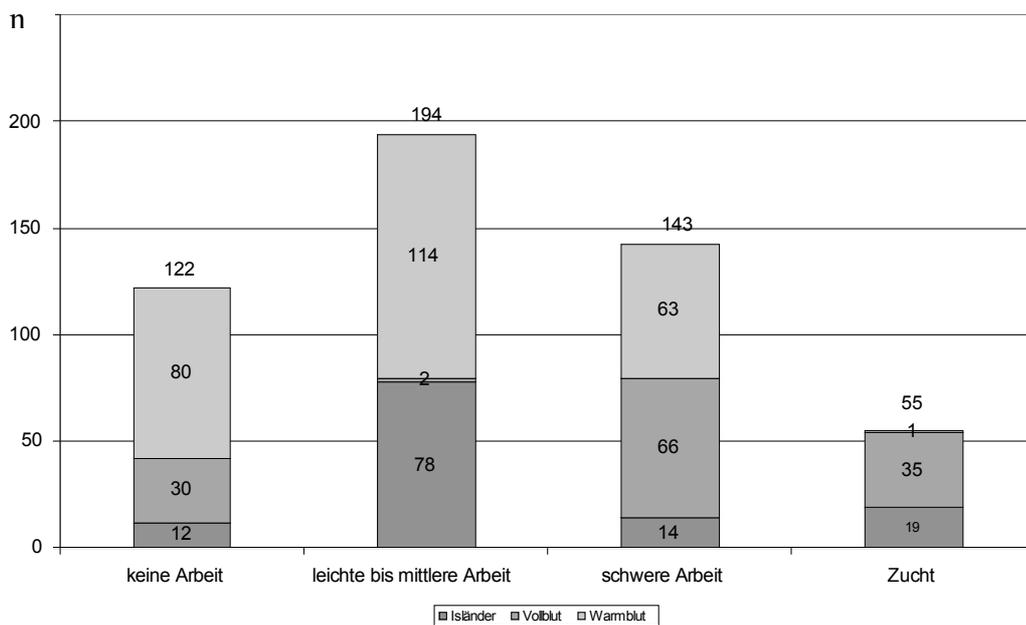
Alle 123 (100 %) Islandpferde wurden im Offenstall gehalten. 67 Probanden (50,4 %) der 133 Englischen Vollblutpferde kamen aus reiner Boxenhaltung, die anderen 66 (49,6 %) Vollblutpferde hatten zusätzlich tagsüber Weidegang. Von den 258 Warmblütern wurden ebenfalls 122 (47,3 %) Pferde rein in der Box gehalten, 85 Pferde (32,9 %) standen im Offenstall und 51 Pferde (19,8 %) ausschließlich auf der Weide.



n = Anzahl der Probanden

Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der untersuchten Pferde aus unterschiedlichen Haltungsarten.

12 (9,8 %) der 123 Islandpferde wurden nicht gearbeitet, 78 (63,4 %) bekamen leichte bis mittlere Arbeit und 14 (11,4 %) schwere Arbeit. 19 Islandpferde (15,4 %) wurden in der Zucht eingesetzt. Von den gemessenen Vollblutpferden wiesen 30 (22,6 %) keine Arbeit, 2 (1,5 %) leichte bis mittlere Arbeit und 66 (49,6 %) schwere Arbeit auf. 35 (26,3 %) wurden züchterisch genutzt. Bei den Warmblütern wurden 80 Pferde (31 %) gar nicht gearbeitet, 114 (44,2 %) leicht bis mittel und 63 (24,4 %) schwer. Nur ein Warmblüter (0,4 %) wurde ausschließlich in der Zucht eingesetzt.



n = Anzahl der Probanden

Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der untersuchten Pferde unterschiedlicher Nutzungsart bzw. Trainingstyps.

Während der Untersuchungen der Vollblutpferde eines Trainingstalles der Rennbahn München-Riem fiel auf, dass diese Probanden niedrigere Pulsfrequenzen als die Vollblüter der Gestüte, die hier vorwiegend in der Zucht eingesetzt wurden, aufwiesen. Aus diesem Grund wurden innerhalb dieser Gruppe zusätzlich trainierte und untrainierte Vollblutpferde unterschieden, um die Werte anschließend statistisch zu evaluieren. Zu den 68 trainierten Vollblutpferden zählten diejenigen Probanden, die leicht bis schwer gearbeitet wurden. Die 65 untrainierten Vollblüter waren Zuchttiere oder Pferde ohne Arbeit.

3.4 Statistische Auswertung

Zur statistischen Analyse der Messdaten wurde PASW 17 (SPSS Inc. Chicago Illinois USA) verwendet. Die statistische Einheit war das individuelle Pferd und das Signifikanzniveau für die Irrtumswahrscheinlichkeit p wurde mit 0,1 % ($p < 0,001$) festgelegt. Die Prüfung der Daten auf Normalverteilung erfolgte durch den Kolmogorow-Smirnow-Test (KS-Test). Mittels deskriptiver Statistik wurden die Werte zusammengefasst, Mittelwerte und Standardabweichungen bestimmt und zur Ermittlung von Referenzwertbereichen für die Atem-/ Pulsfrequenz sowie innere Körpertemperatur in Ruhe verwendet.

Eine Oneway Anova mit anschließenden Post-Hoc-Tests wurde angewendet, um die Rassen miteinander bezüglich Atem-/ Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur zu vergleichen und innerhalb der Rasse Unterschiede, entstehend durch Alter, Geschlecht, Trainingszustand, Haltungsart sowie Außentemperatur zum Zeitpunkt der Messung, zu analysieren.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der allgemeinen klinischen Untersuchung bezogen auf die Atem- und Pulsfrequenz sowie die innere Körpertemperatur in Ruhe beim Islandpferd

Die erste Untersuchung der Islandpferde hat im Juli 2010 auf einem Islandpferdegestüt bei Landshut in Niederbayern bei einer Außentemperatur von 33 °C stattgefunden. Untersuchung II wurde im August 2010 bei einer Außentemperatur von 18 °C, Untersuchung III im Oktober 2010 bei einer Außentemperatur von 14 °C und Untersuchung IV wurde Ende November 2010 bei einer Außentemperatur von 0 °C durchgeführt.

Während der Untersuchungen bei unterschiedlichen Jahreszeiten bzw. Außentemperaturen fiel auf, dass die Islandpferde vor allem zu den wärmeren Jahreszeiten vermehrte abdominale Atmung bei erhöhter Atemfrequenz zeigten. Die Untersuchungsdaten, die zu verschiedenen Außentemperaturen erhoben wurden, wurden in drei Gruppen gegliedert, die in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet sind.

Tab. 3: Vergleich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der untersuchten Islandpferde bei unterschiedlichen Außentemperaturen

	Atemfrequenz [AF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Innere Körpertemperatur [IKT] ($\bar{x} \pm s$) °C	Anzahl der Messungen (n=228)
≤ 0 °C	18 ± 5	37 ± 4	37,4 ± 0,4	58
14-23 °C	22 ± 5	39 ± 5	37,3 ± 0,2	97
> 23 °C	24 ± 7	39 ± 4	37,5 ± 0,3	73

n = Anzahl der Probanden

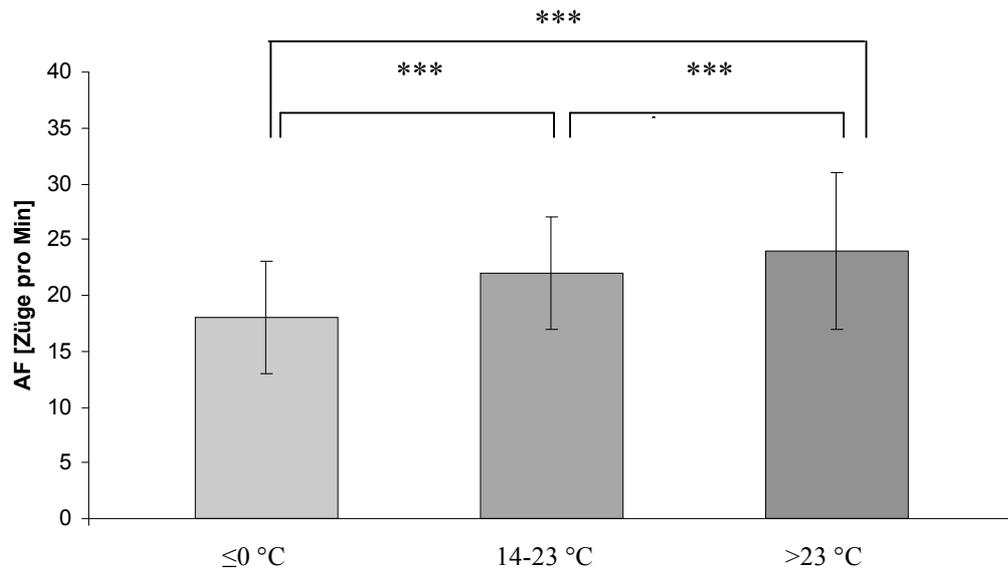
\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

°C = Temperatur

Die statistische Auswertung ergab signifikante Unterschiede der Atemfrequenz bei unterschiedlichen Außentemperaturen. Untersuchungen, die bei einer Außentemperatur $\leq 0^\circ\text{C}$ durchgeführt wurden, zeigten eine signifikant niedrigere Atemfrequenz der Islandpferde.



*** = höchst signifikant ($p < 0,001$)

Abb. 4: Ergänzung zu Tab. 3: Angabe der signifikanten Unterschiede der Atemfrequenz der untersuchten Islandpferde bei unterschiedlichen Außentemperaturen.

Es konnten hingegen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Pulsfrequenz bei unterschiedlichen Außentemperaturen festgestellt werden.

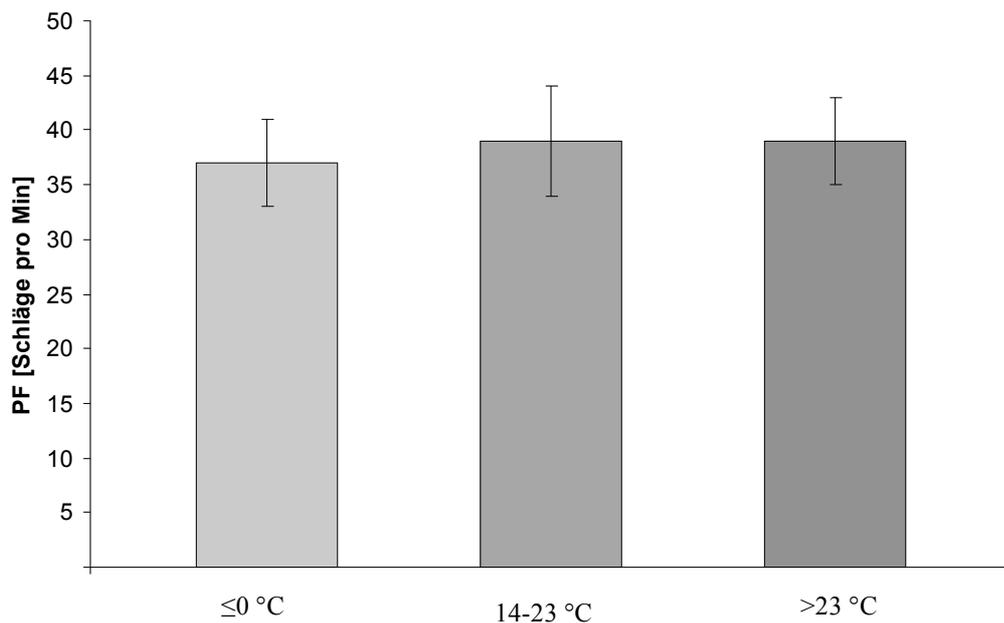


Abb. 5: Ergänzung zu Tab. 3: Pulsfrequenz der untersuchten Islandpferde bei unterschiedlichen Außentemperaturen.

Auch die innere Körpertemperatur der Islandpferde zeigte keine signifikanten Abweichungen bei den unterschiedlichen Außentemperaturen.

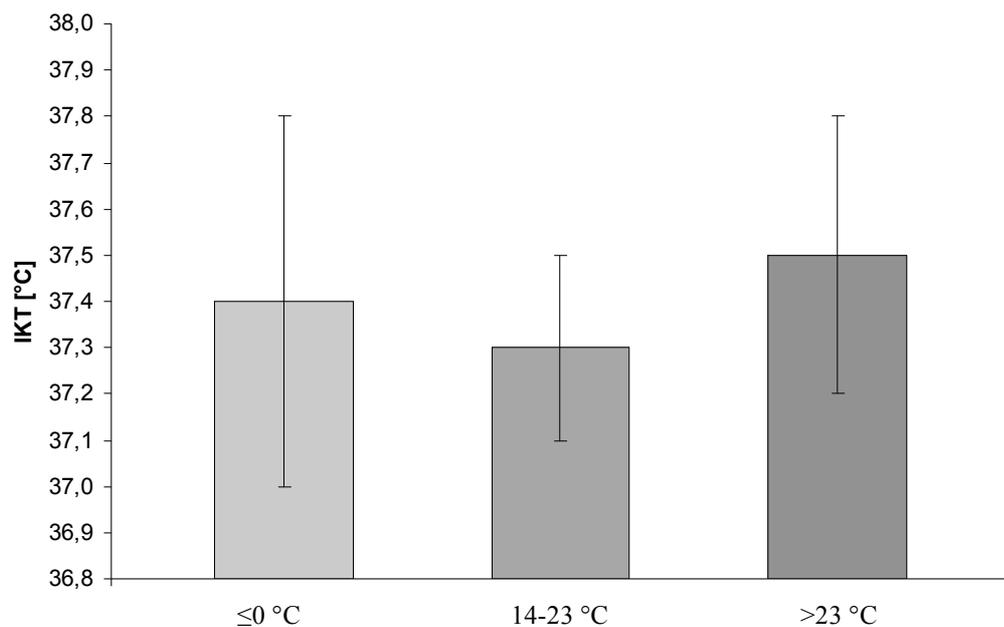


Abb. 6: Ergänzung zu Tab. 3: Innere Körpertemperatur der untersuchten Islandpferde zu unterschiedlichen Außentemperaturen.

Von den insgesamt 123 untersuchten Islandpferden ergaben sich folgende geschlechterbezogene Ruhewerte:

Tab. 4: Vergleich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der Islandpferd-Stuten, -Wallache und -Hengste

	Atemfrequenz [AF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Innere Körpertemperatur [IKT] ($\bar{x} \pm s$) °C	Anzahl der Isländer (n=123)
Stuten	20 ± 5	39 ± 4	37,5 ± 0,3	61
Hengste	23 ± 3	34 ± 4	37,4 ± 0,2	9
Wallache	21 ± 6	39 ± 3	37,3 ± 0,2	53

n = Anzahl der Probanden

\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

°C = Temperatur

Es fielen keine signifikanten geschlechterspezifischen Unterschiede bei den Islandpferden hinsichtlich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur auf.

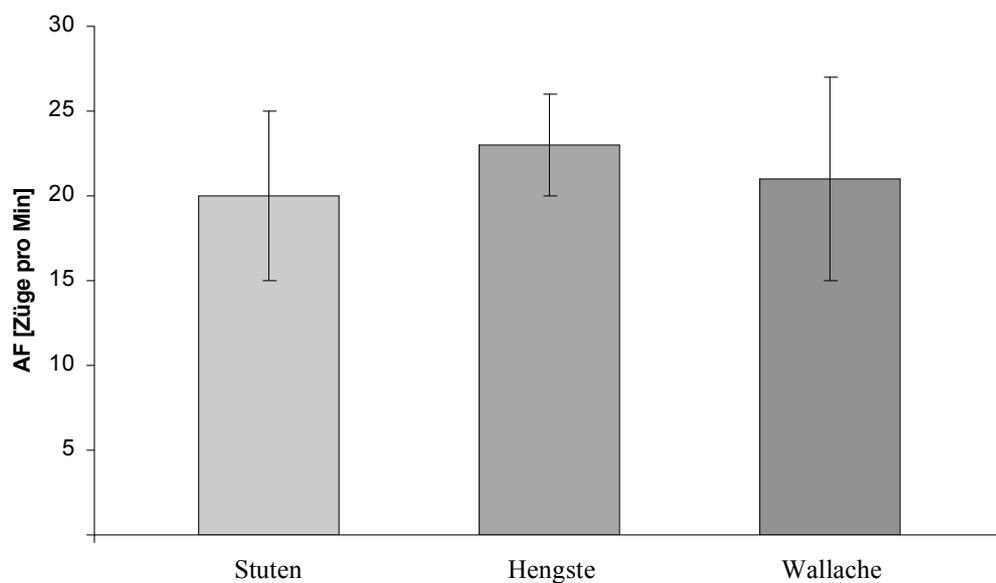


Abb. 7: Ergänzung zu Tab. 4: Atemfrequenz der untersuchten Islandpferd-Stuten, -Wallache und -Hengste.

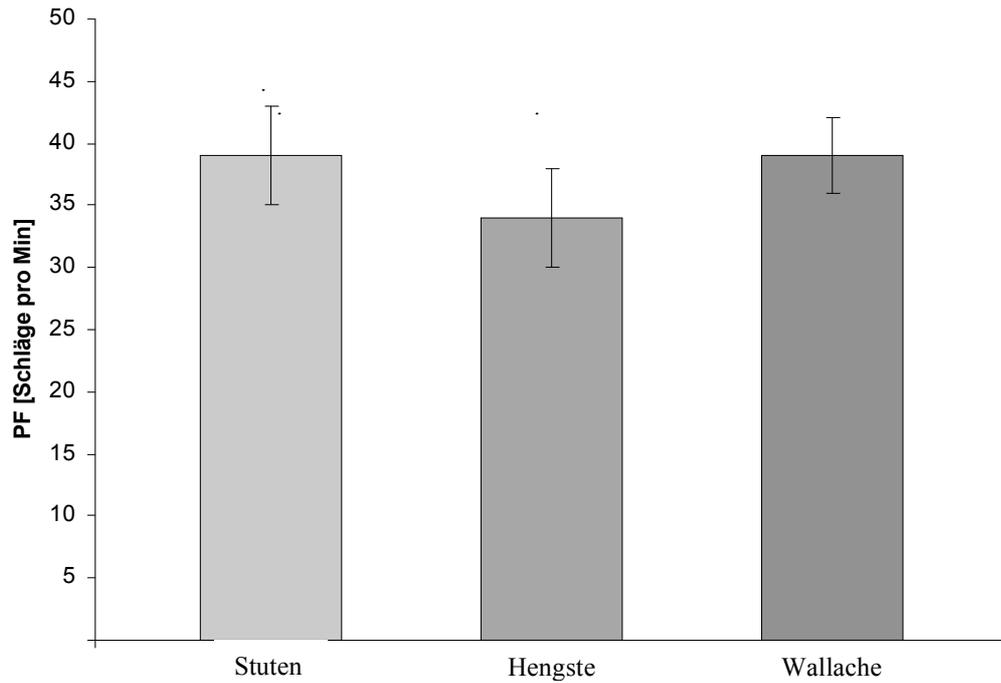


Abb. 8: Ergänzung zu Tab.4: Pulsfrequenz der untersuchten Islandpferd-Stuten, -Wallache und -Hengste.

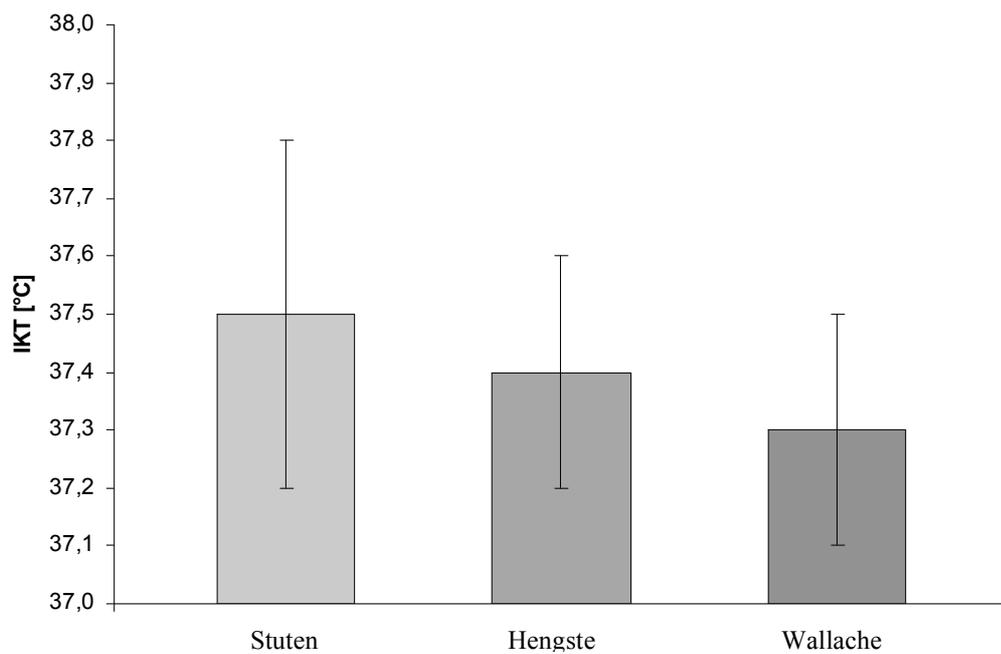


Abb. 9: Ergänzung zu Tab. 4: Innere Körpertemperatur der untersuchten Islandpferd-Stuten, -Wallache und -Hengste.

Anschließend wurden die Mittelwerte mit Standardabweichung für die Ruhewerte der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der unterschiedlich genutzten bzw. gearbeiteten Islandpferde ermittelt.

Tab. 5: Vergleich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der Islandpferde unterschiedlichen Nutzungstyps

	Atemfrequenz [AF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Innere Körpertemperatur [IKT] ($\bar{x} \pm s$) °C	Anzahl der Isländer (n=123)
keine Arbeit	21 ± 5	37 ± 6	37,4 ± 0,2	12
leichte bis mittlere Arbeit	21 ± 5	38 ± 3	37,4 ± 0,3	78
schwere Arbeit	21 ± 4	38 ± 3	37,3 ± 0,2	14
Zucht	21 ± 4	40 ± 5	37,6 ± 0,3	19

n = Anzahl der Probanden

\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

°C = Temperatur

Die Atem- und Pulsfrequenz sowie die innere Körpertemperatur der Islandpferde unterschiedlichen Trainings- bzw. Nutzungstyps wichen nicht signifikant voneinander ab.

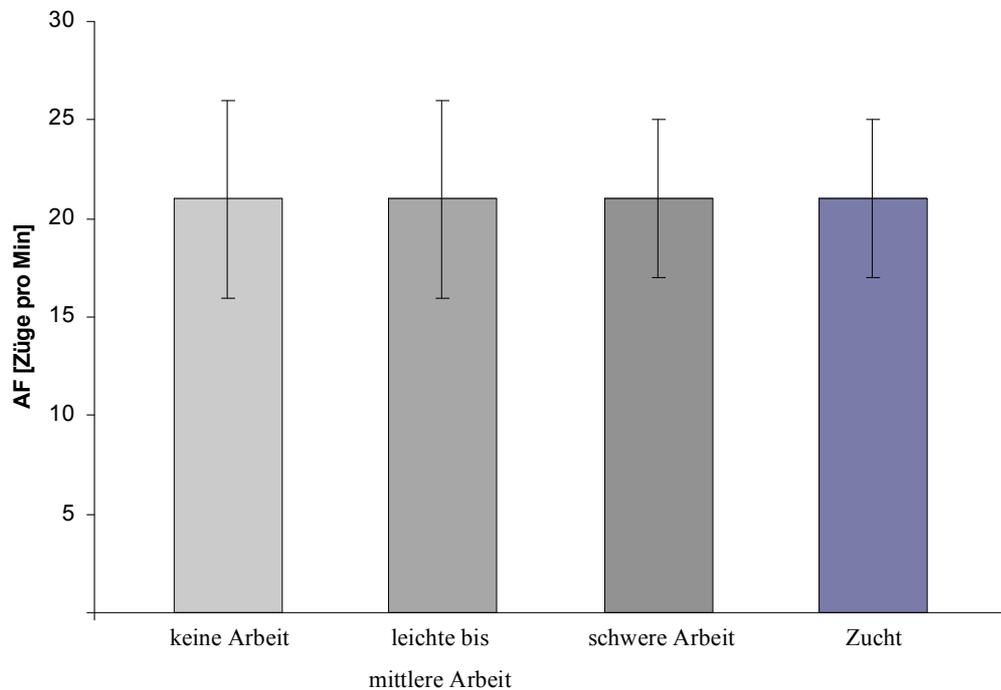


Abb. 10: Ergänzung zu Tab. 5: Atemfrequenz der untersuchten Islandpferde unterschiedlichen Nutzungstyps.

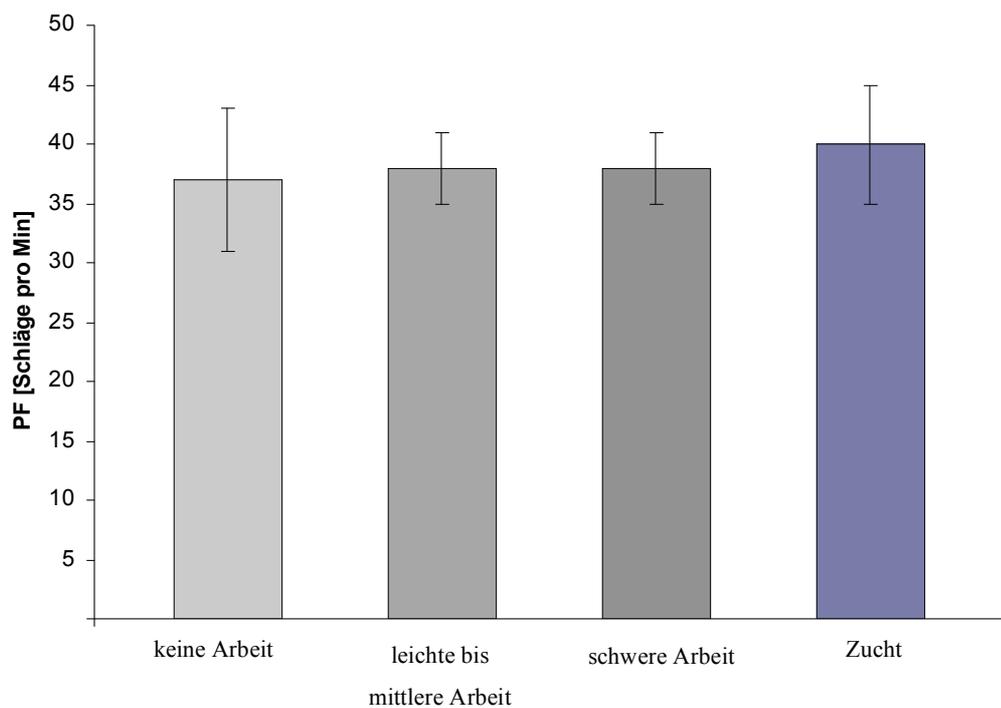


Abb. 11: Ergänzung zu Tab. 5: Pulsfrequenz der untersuchten Islandpferde unterschiedlichen Nutzungstyps.

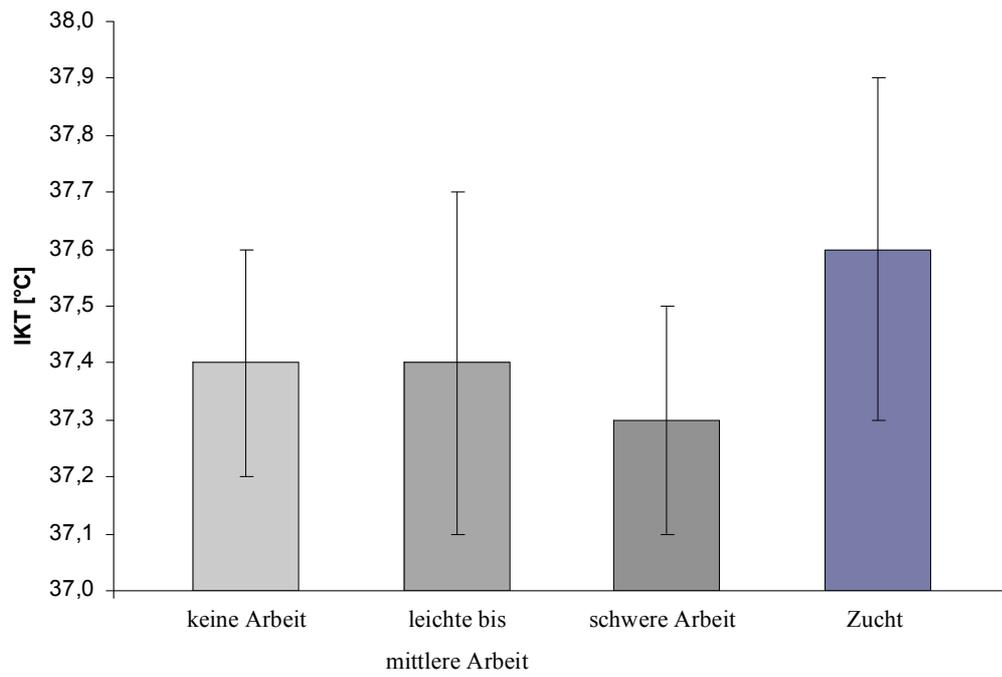


Abb. 12: Ergänzung zu Tab. 5: Innere Körpertemperatur der untersuchten Islandpferde unterschiedlichen Nutzungstyps.

4.2 Ergebnisse der allgemeinen klinischen Untersuchung bezogen auf die Atem- und Pulsfrequenz sowie die innere Körpertemperatur in Ruhe beim Vollblutpferd

Die erste Untersuchung der Englischen Vollblutpferde fand im Juli 2010 in einem Trainingstall der Rennbahn München-Riem und auf zwei Gestüten am Starnberger See bei einer Außentemperatur von 22 °C statt. Untersuchung II wurde im August 2010 bei einer Außentemperatur von 14 °C, Untersuchung III im Oktober 2010 bei einer Außentemperatur von 18 °C und Untersuchung IV wurde Anfang Dezember 2010 bei einer Außentemperatur von -4 °C durchgeführt.

Die daraus resultierenden Untersuchungsdaten wurden nach den Außentemperaturen in zwei Gruppen gegliedert. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen der Vollblutpferde waren die Außentemperaturen nie über 23 °C.

Tab. 6: Vergleich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der untersuchten Vollblutpferde bei unterschiedlichen Außentemperaturen

	Atemfrequenz [AF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Innere Körpertemperatur [IKT] ($\bar{x} \pm s$) °C	Anzahl der Messungen (n=177)
≤ 0 °C	15 ± 4	35 ± 4	37,5 ± 0,3	45
14-23 °C	15 ± 5	39 ± 6	37,5 ± 0,3	132

n = Anzahl der Probanden

\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

°C = Temperatur

Es konnten keine signifikanten Unterschiede der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der Vollblüter bei unterschiedlichen Außentemperaturen beobachtet werden.

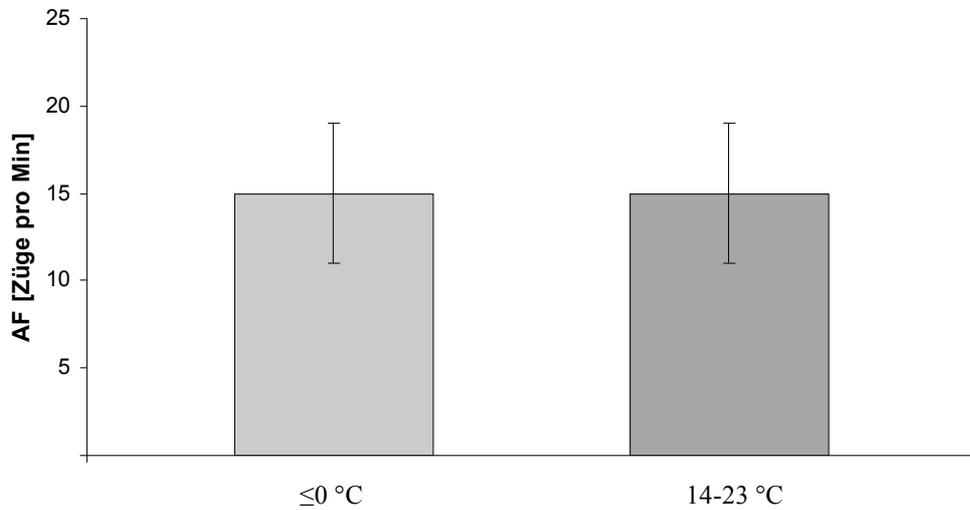


Abb. 13: Ergänzung zu Tab. 6: Atemfrequenz der untersuchten Vollblutpferde bei unterschiedlichen Außentemperaturen.

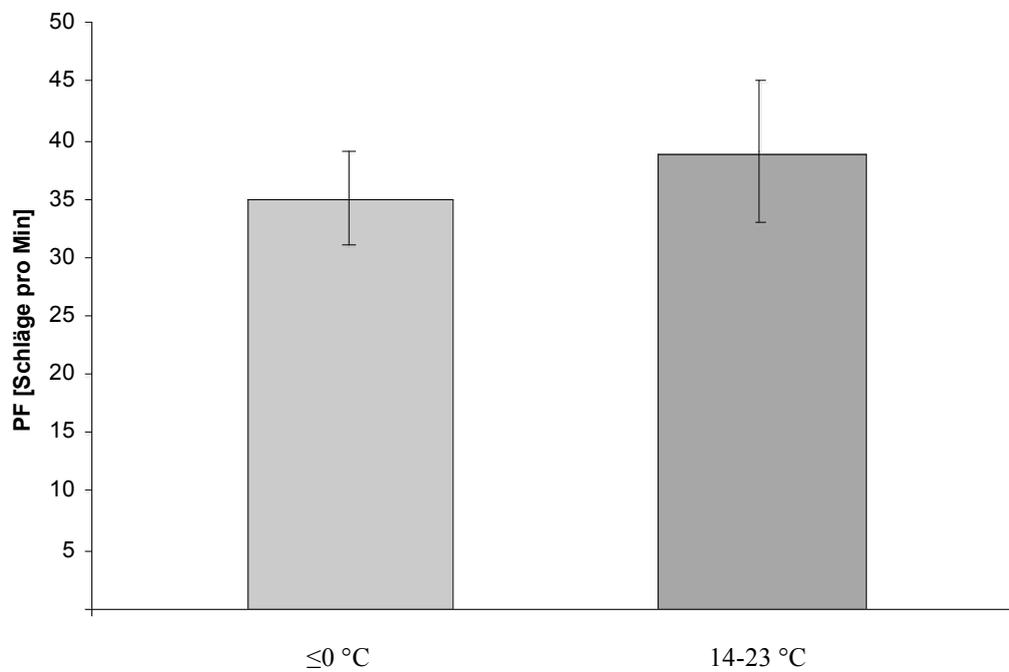


Abb. 14: Ergänzung zu Tab. 6: Pulsfrequenz der untersuchten Vollblutpferde bei unterschiedlichen Außentemperaturen.

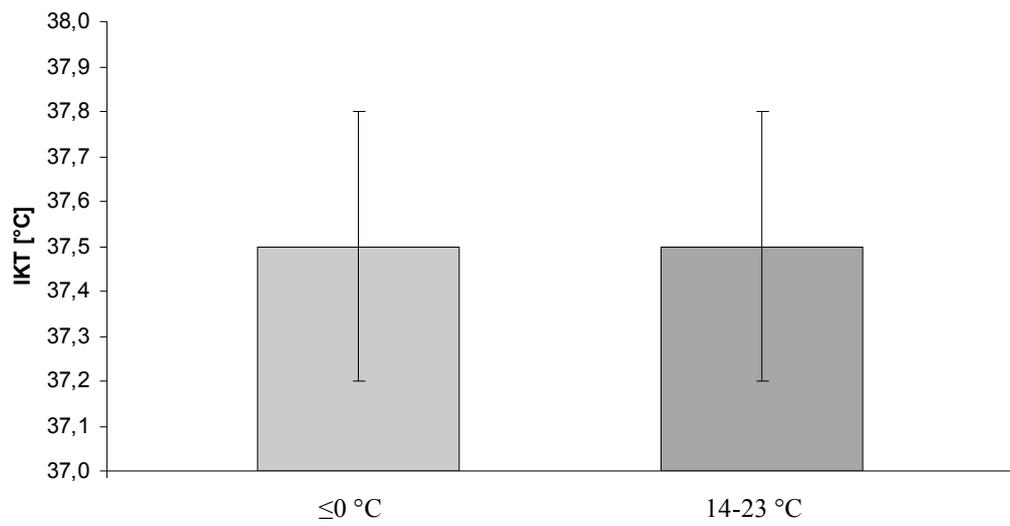


Abb. 15: Ergänzung zu Tab. 6: Innere Körpertemperatur der untersuchten Vollblutpferde bei unterschiedlichen Außentemperaturen.

Von den insgesamt 133 untersuchten Vollblutpferden ergaben sich folgende geschlechterbezogene Ruhewerte:

Tab.7: Vergleich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der Vollblut-Stuten, -Hengste und -Wallache

	Atemfrequenz [AF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Innere Körpertemperatur [IKT] ($\bar{x} \pm s$) °C	Anzahl der Vollblüter (n=133)
Stuten	16 ± 4	40 ± 5	37,5 ± 0,3	69
Hengste	14 ± 4	41 ± 8	37,8 ± 0,3	28
Wallache	15 ± 4	36 ± 4	37,5 ± 0,2	36

n = Anzahl der Probanden

\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

°C = Temperatur

Es gab keine signifikanten geschlechterspezifischen Unterschiede hinsichtlich der Atemfrequenz bei den Vollblutpferden.

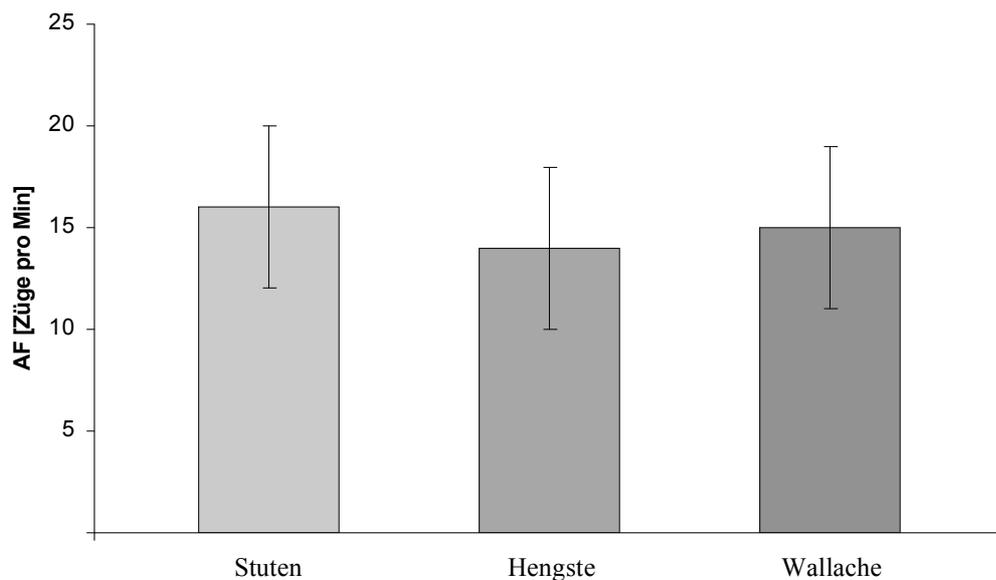
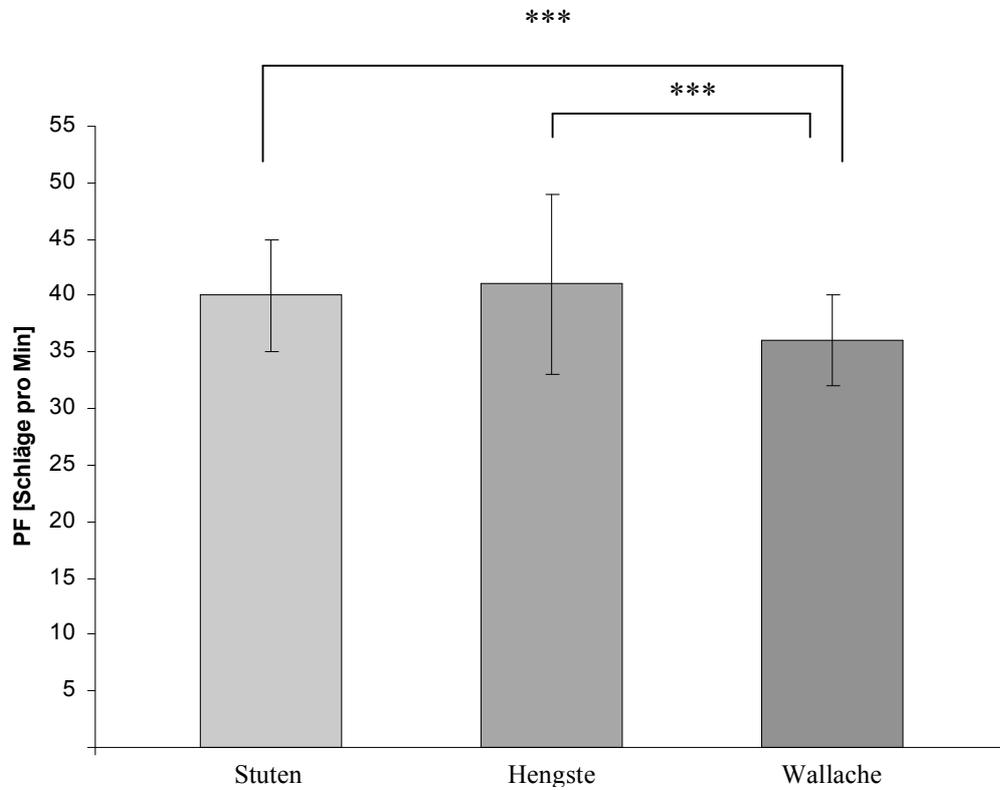


Abb. 16: Ergänzung zu Tab. 7: Atemfrequenz aer Vollblut-Stuten, -Hengste und -Wallache.

Es zeigten sich signifikante Differenzen der Pulsfrequenz zwischen Stuten und Wallachen sowie Hengsten und Wallachen.



*** = höchst signifikant ($p < 0,001$)

Abb. 17: Ergänzung zu Tab. 7: Pulsfrequenz der Vollblut-Stuten, -Hengste und -Wallache unter Berücksichtigung der Signifikanzen.

Es gab keine geschlechterspezifischen signifikanten Unterschiede hinsichtlich der inneren Körpertemperatur bei den Vollblutpferden.

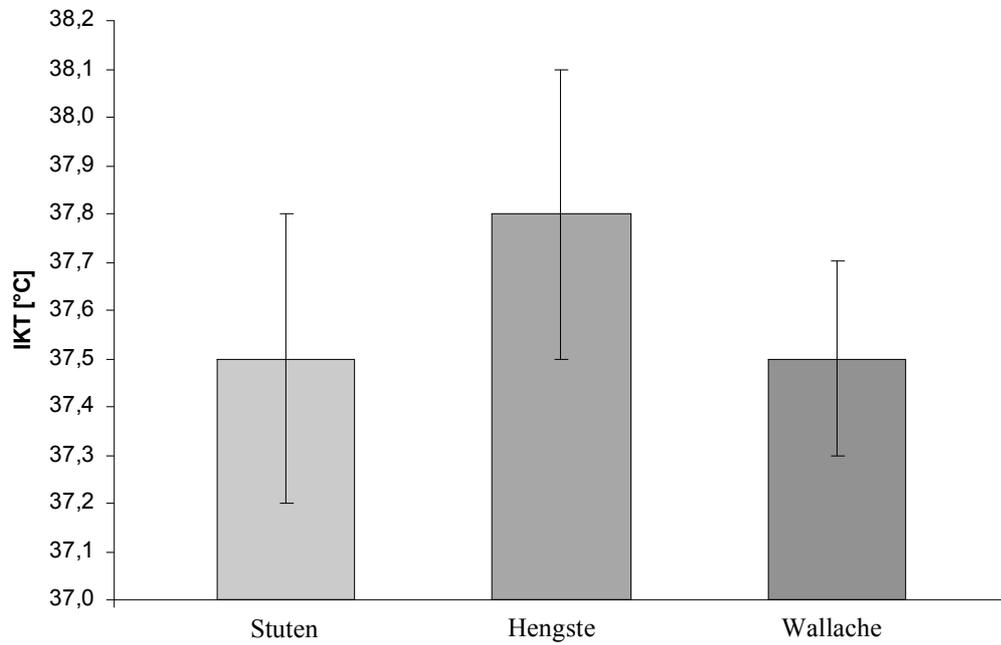


Abb. 18: Ergänzung zu Tab. 7: Innere Körpertemperatur der Vollblut-Stuten, -Hengste und -Wallache.

Die Ermittlung der Mittelwerte mit Standardabweichung für die Ruhewerte der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der unterschiedlich genutzten bzw. gearbeiteten Vollblutpferde hat folgende Ergebnisse geliefert.

Tab. 8: Vergleich der Atem-, Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der Vollblutpferde unterschiedlichen Nutzungstyps

	Atemfrequenz [AF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Innere Körpertemperatur [IKT] ($\bar{x} \pm s$) °C	Anzahl der Vollblüter (n=133)
keine Arbeit	16 ± 5	44 ± 5	37,8 ± 0,4	30
leichte bis mittlere Arbeit	13 ± 1	40 ± 6	37,2 ± 0,1	2
schwere Arbeit	15 ± 3	36 ± 4	37,5 ± 0,2	66
Zucht	15 ± 3	41 ± 5	37,4 ± 0,3	35

n = Anzahl der Probanden

\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

°C = Temperatur

Es gab keine signifikanten Abweichungen der Atemfrequenz unterschiedlich trainierter bzw. genutzter Vollblutpferde.

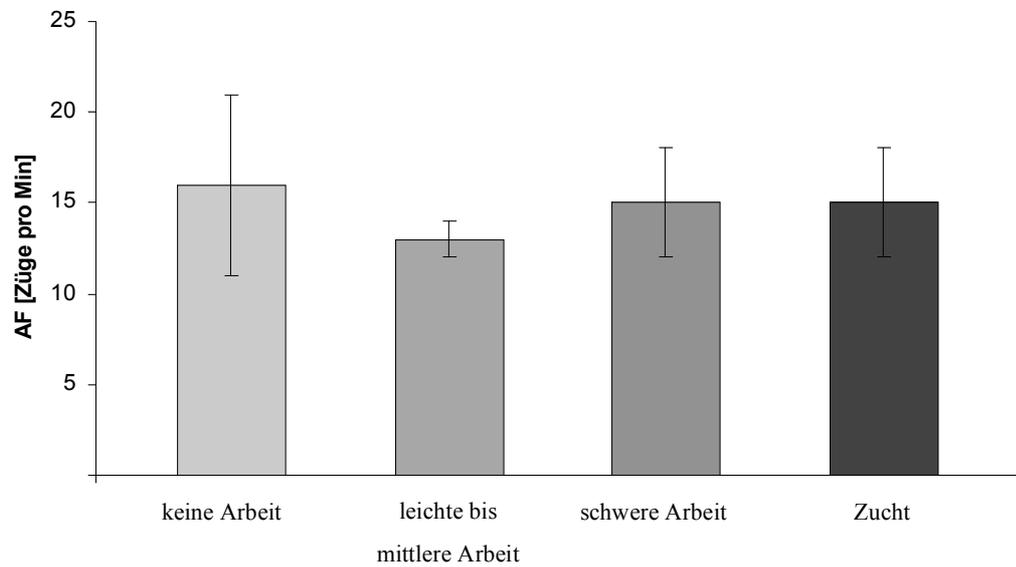
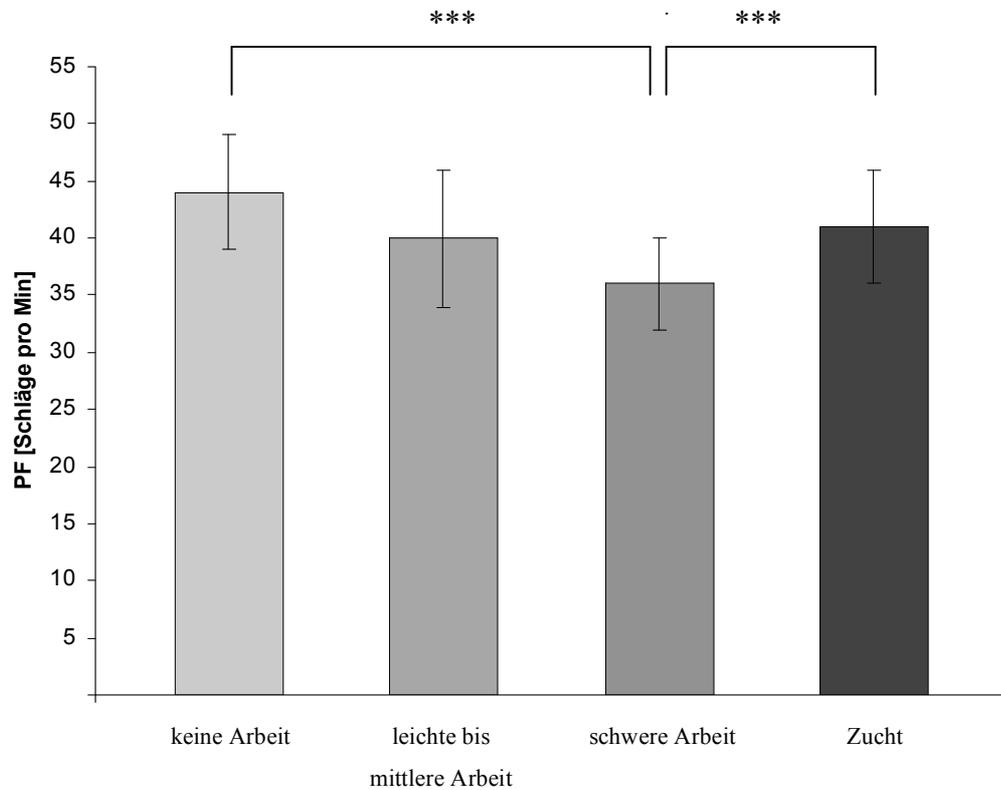


Abb. 19: Ergänzung zu Tab. 8: Atemfrequenz der untersuchten Vollblutpferde unterschiedlichen Nutzungstyps.

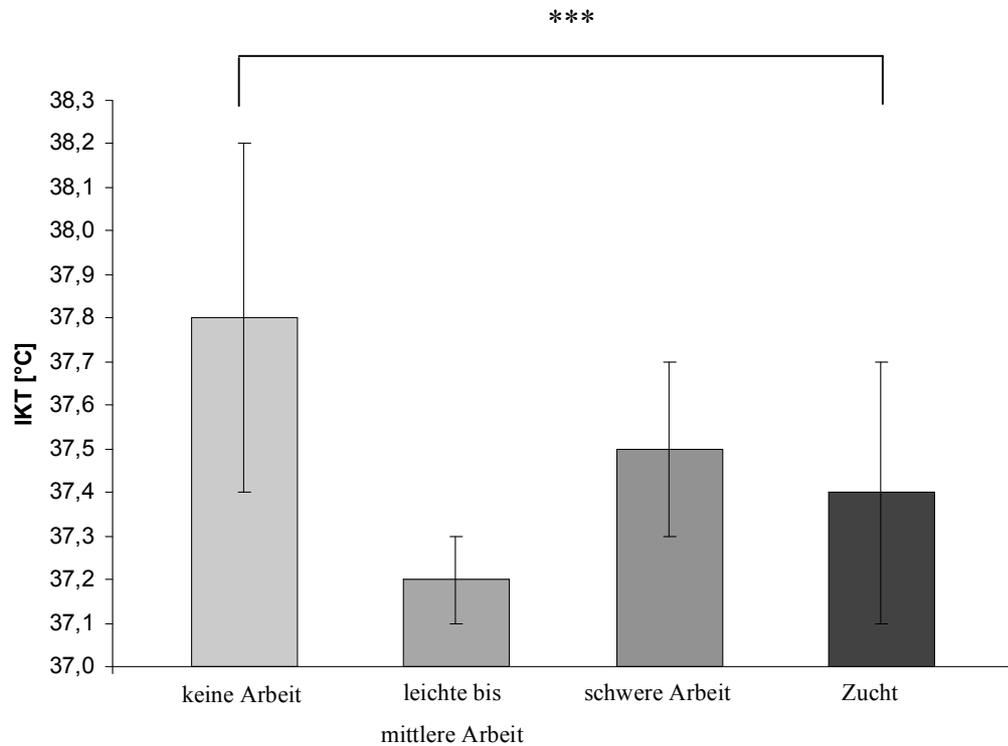
Vollblutpferde, die schwer gearbeitet wurden, unterschieden sich signifikant hinsichtlich der Pulsfrequenz von Pferden, die nicht gearbeitet oder in der Zucht eingesetzt wurden.



*** = höchst signifikant ($p < 0,001$)

Abb. 20: Ergänzung zu Tab. 8: Pulsfrequenz der untersuchten Vollblutpferde unterschiedlichen Nutzungstyps unter Berücksichtigung der Signifikanzen.

Eine signifikante Abweichung der inneren Körpertemperatur konnte zwischen Zuchtpferden und nicht gearbeiteten Pferden beobachtet werden.



*** = höchst signifikant ($p < 0,001$)

Abb. 21: Ergänzung zu Tab. 8: Innere Körpertemperatur der untersuchten Vollblutpferde unterschiedlichen Nutzungstyps unter der Berücksichtigung der Signifikanzen.

Bei den Untersuchungen der Pferde des Trainingsstalles in München-Riem fiel wiederholt auf, dass die Pulsfrequenzen der trainierten Rennpferde im Vergleich zu den untersuchten Pferden der Gestüte am Starnberger See niedriger waren und im Rahmen der Herzauskultation einige Pferde AV-Blöcke 2. Grades zeigten. Aus diesem Grund wurde für die Messdaten der Vollblüter zusätzlich eine Unterteilung in trainiert und untrainiert vorgenommen und die Pulsfrequenzen dieser beiden Gruppen verglichen. Als trainiert galten die Pferde, die schwer oder leicht bis mittel gearbeitet wurden. Nicht trainierte Pferde waren Zuchtpferde oder nicht gearbeitete Pferde.

Tab. 9: Vergleich der Pulsfrequenz trainierter und untrainierter Vollblutpferde

	Anzahl der Pferde (n=133)	Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	AV-Block 2. Grades
trainiert	68	36 \pm 4	18
untrainiert	65	43 \pm 5	6

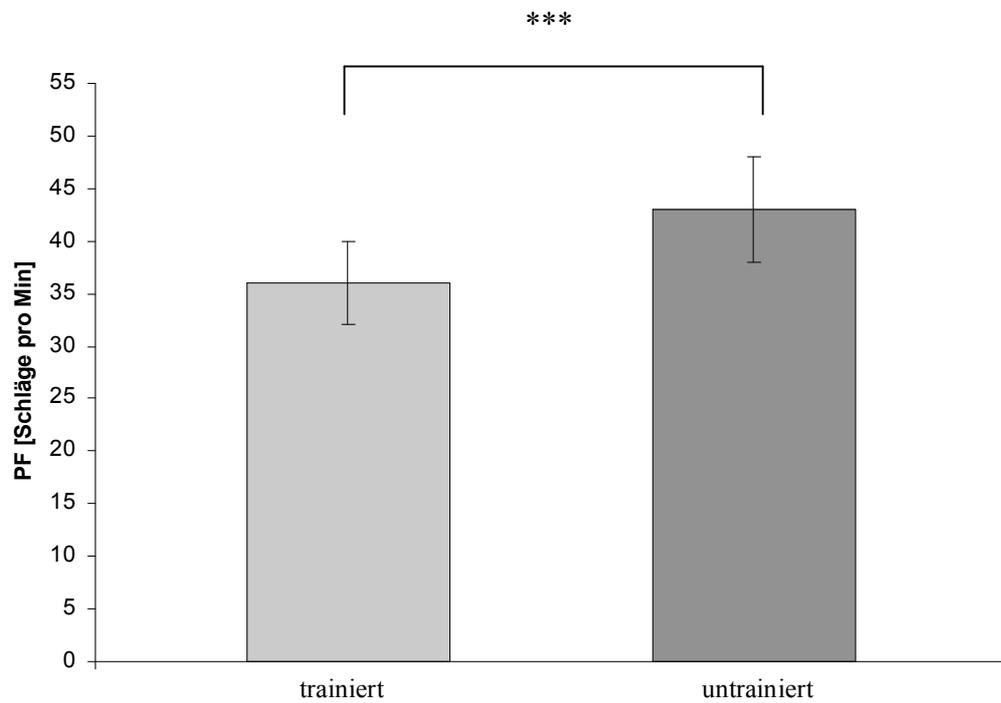
n = Anzahl der Probanden

\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

Trainierte Pferde unterschieden sich signifikant hinsichtlich der Pulsfrequenz von untrainierten Pferden.



*** = höchst signifikant ($p < 0,001$)

Abb. 22: Ergänzung zu Tab. 9: Pulsfrequenz trainierter und untrainierter Vollblutpferde unter Berücksichtigung der Signifikanzen.

Zusätzlich wurden die Pferde nach ihrer Haltungsart unterschieden. Die untersuchten Vollblutpferde an der Rennbahn München-Riem wurden ausschließlich in der Box gehalten. Auf den Gestüten am Starnberger See kamen die Pferde tagsüber auf Weiden und wurden nur nachts in Boxen gehalten. Es ergaben sich folgende Werte:

Tab. 10: Vergleich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der Vollblutpferde unterschiedlicher Haltungsart

	Atemfrequenz [AF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Innere Körpertemperatur [IKT] ($\bar{x} \pm s$) °C	Anzahl der Vollblutpferde (n=133)
Boxenhaltung	15 ± 3	36 ± 5	37,5 ± 0,3	67
Box- und Weidehaltung	15 ± 4	42 ± 5	37,6 ± 0,3	66

n = Anzahl der Probanden

\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

°C = Temperatur

Es konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Atemfrequenz der Vollblutpferde unterschiedlicher Haltungsart festgestellt werden.

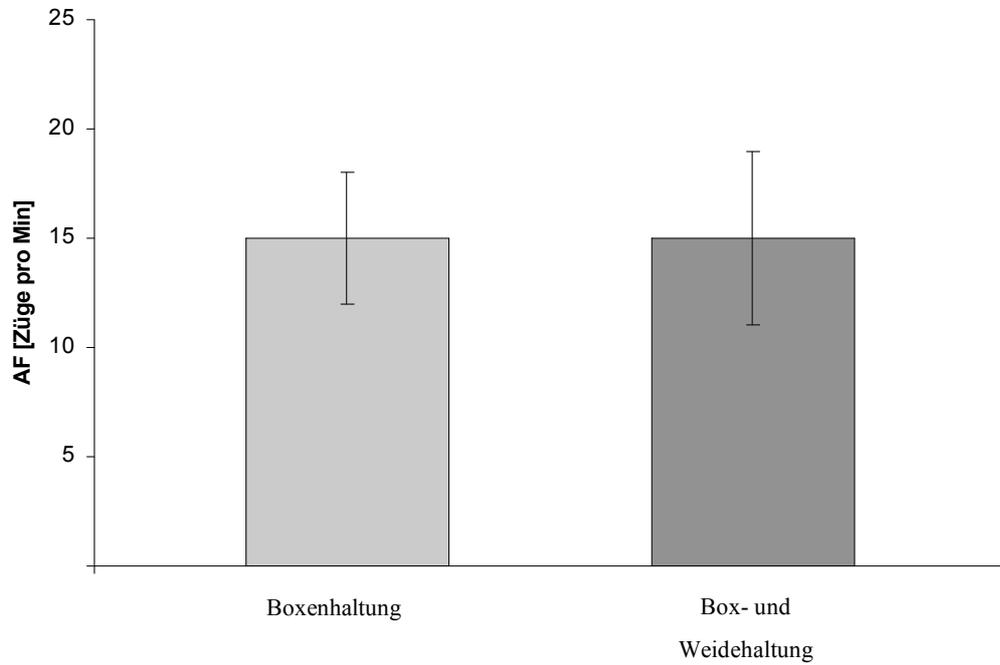
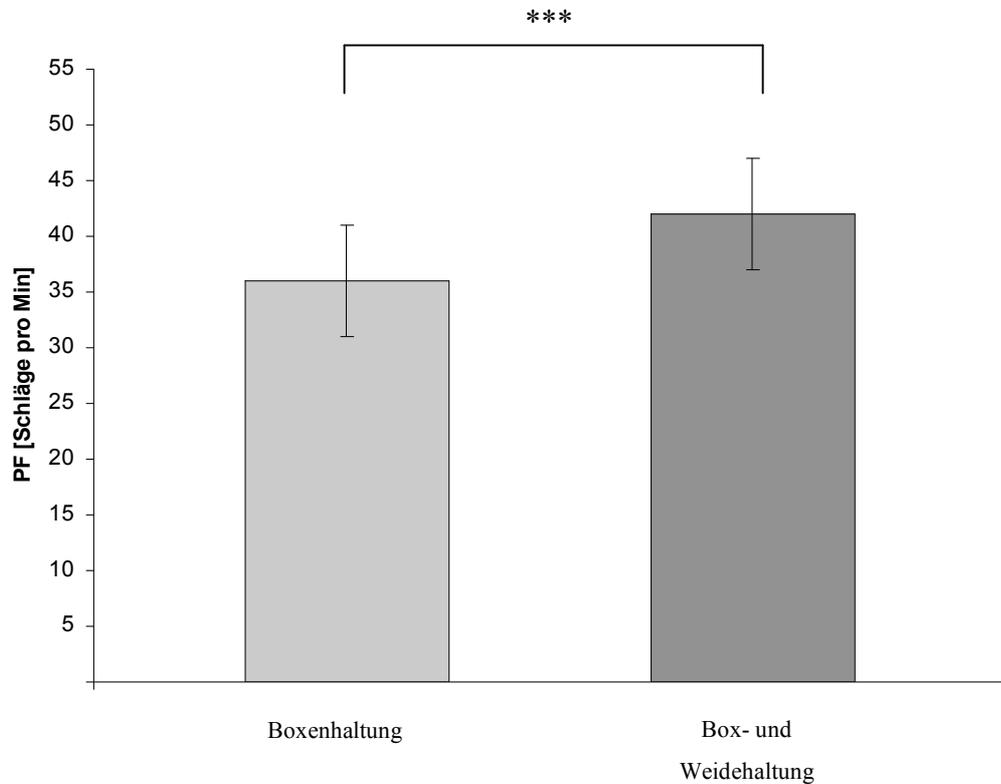


Abb. 23: Ergänzung zu Tab. 10: Atemfrequenz der untersuchten Vollblutpferde unterschiedlicher Haltungsart.

Es gab signifikante Differenzen der Pulsfrequenz bei Pferden, die ausschließlich in der Box gehalten wurden und denen, die in der Box gehalten wurden und zusätzlich Weidegang zur Verfügung gestellt bekamen.



*** = höchst signifikant ($p < 0,001$)

Abb. 24: Ergänzung zu Tab. 10: Pulsfrequenz der untersuchten Vollblutpferde unterschiedlicher Haltungsart unter Berücksichtigung der Signifikanzen.

Es konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der inneren Körpertemperatur der Vollblutpferde unterschiedlicher Haltungsart festgestellt werden.

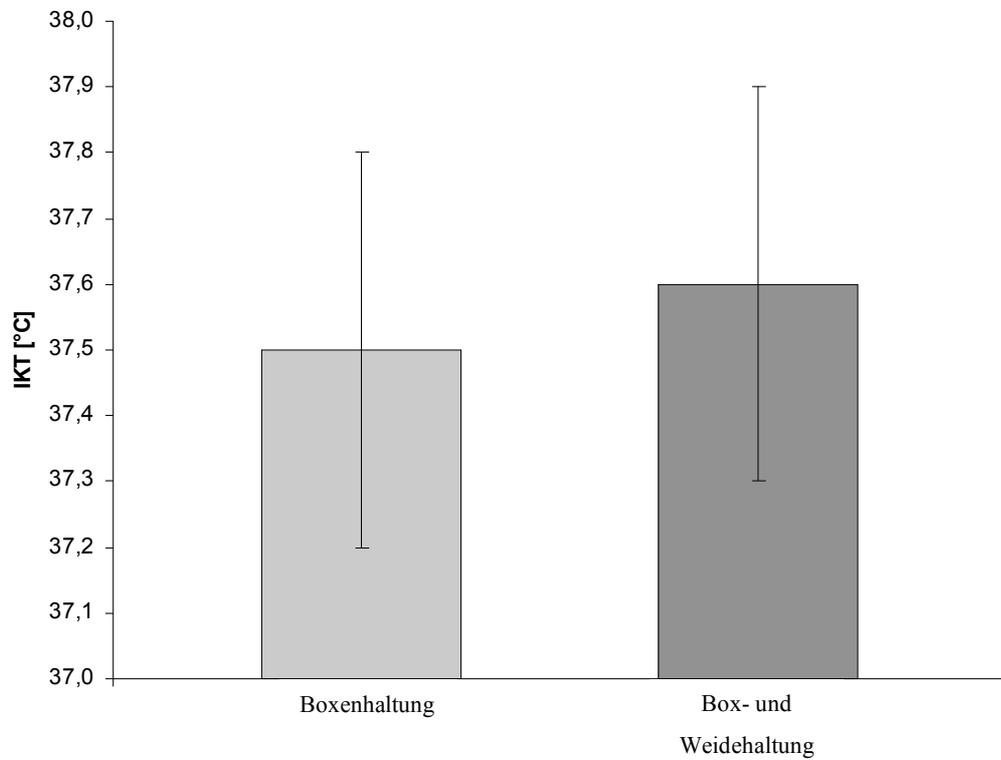


Abb. 25: Ergänzung zu Tab. 10: Innere Körpertemperatur der untersuchten Vollblutpferde unterschiedlicher Haltungsart.

4.3 Ergebnisse der allgemeinen klinischen Untersuchung bezogen auf die Atem- und Pulsfrequenz sowie die innere Körpertemperatur in Ruhe beim Warmblutpferd

Die erste Untersuchung der Warmblutpferde hat im Juli 2010 auf dem Bayerischen Haupt- und Landgestüt Schwaiganger bei einer Außentemperatur von 30 °C stattgefunden. Untersuchung II wurde im August 2010 bei einer Außentemperatur von 22 °C, Untersuchung III im Oktober 2010 bei einer Außentemperatur von 18 °C und Untersuchung IV wurde Ende November 2010 bei einer Außentemperatur von -6 °C durchgeführt.

Die daraus resultierenden Untersuchungsdaten wurden in drei Gruppen gegliedert, die in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet sind.

Tab. 11: Vergleich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der untersuchten Warmblutpferde bei unterschiedlichen Außentemperaturen

	Atemfrequenz [AF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Innere Körpertemperatur [IKT] ($\bar{x} \pm s$) °C	Anzahl der Messungen (n=335)
≤ 0 °C	14 ± 3	38 ± 4	37,3 ± 0,4	77
14-23 °C	16 ± 4	38 ± 4	37,6 ± 0,2	157
> 23 °C	14 ± 3	36 ± 4	37,6 ± 0,3	101

n = Anzahl der Probanden

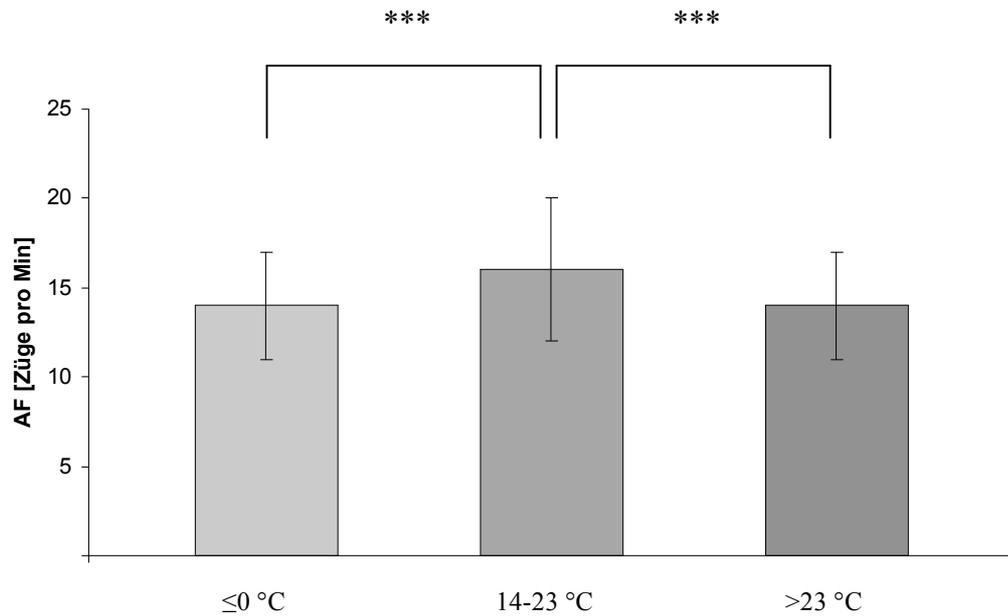
\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

°C = Temperatur

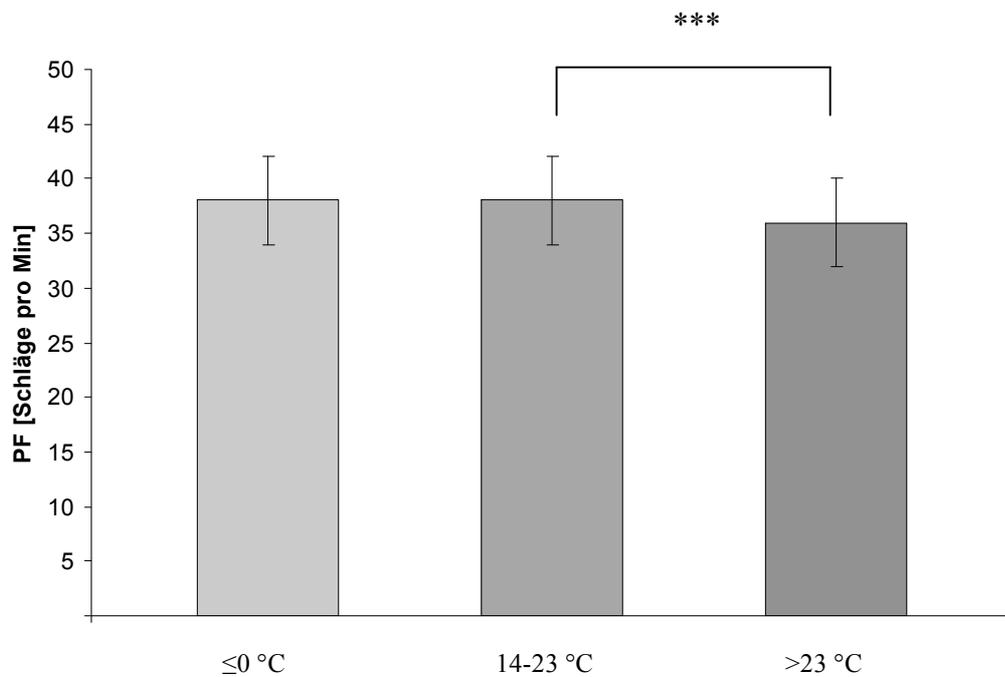
Die statistische Auswertung ergab signifikante Unterschiede der Atemfrequenz bei unterschiedlichen Außentemperaturen, die der Abbildung 25 zu entnehmen sind.



*** = höchst signifikant ($p < 0,001$)

Abb. 26: Ergänzung zu Tab. 11: Atemfrequenz der untersuchten Warmblutpferde bei unterschiedlichen Außentemperaturen unter Berücksichtigung der Signifikanzen.

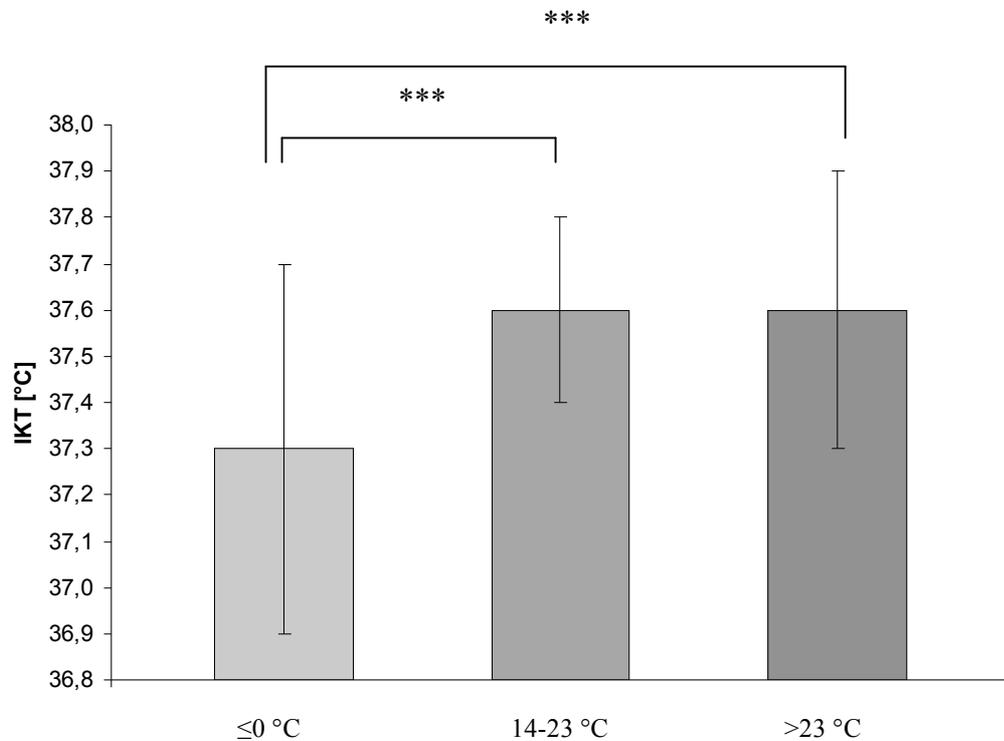
Pferde, die bei einer Außentemperatur von 14-23 °C untersucht wurden, wiesen signifikant andere Pulsfrequenzen auf, als die Pferde, die bei einer Außentemperatur von > 23 °C gemessen wurden.



*** = höchst signifikant ($p < 0,001$)

Abb. 27: Ergänzung zu Tab. 11: Pulsfrequenz der untersuchten Warmblutpferde bei unterschiedlichen Außentemperaturen unter Berücksichtigung der Signifikanzen.

Auch hinsichtlich der inneren Körpertemperatur ließen sich signifikante Unterschiede bei verschiedenen Außentemperaturen feststellen (Abb. 28).



*** = höchst signifikant ($p < 0,001$)

Abb. 28: Ergänzung zu Tab. 11: Innere Körpertemperatur der untersuchten Warmblutpferde bei unterschiedlichen Außentemperaturen unter Berücksichtigung der Signifikanzen.

Von den insgesamt 258 untersuchten Warmblutpferden ergaben sich folgende geschlechterbezogene Ruhewerte:

Tab. 12: Vergleich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der den Warmblut-Stuten, -Wallache und -Hengste

	Atemfrequenz [AF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Innere Körpertemperatur [IKT] ($\bar{x} \pm s$) °C	Anzahl der Warmblutpferde (n=258)
Stuten	15 ± 4	38 ± 4	37,5 ± 0,4	106
Hengste	14 ± 2	37 ± 4	37,5 ± 0,3	27
Wallache	15 ± 3	37 ± 4	37,5 ± 0,3	125

n = Anzahl der Probanden

\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

°C = Temperatur

Die statistische Auswertung ergab keine signifikanten geschlechterspezifischen Unterschiede beim Warmblutpferd hinsichtlich der Atem-, Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur.

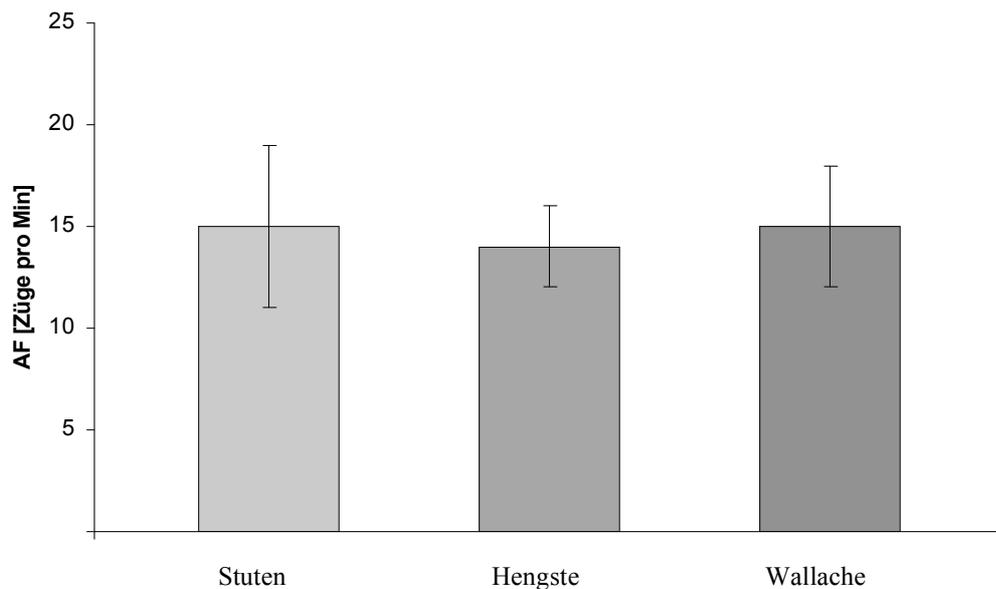


Abb. 29: Ergänzung zu Tab. 12: Atemfrequenz der Warmblut-Stuten, -Wallache und -Hengste.

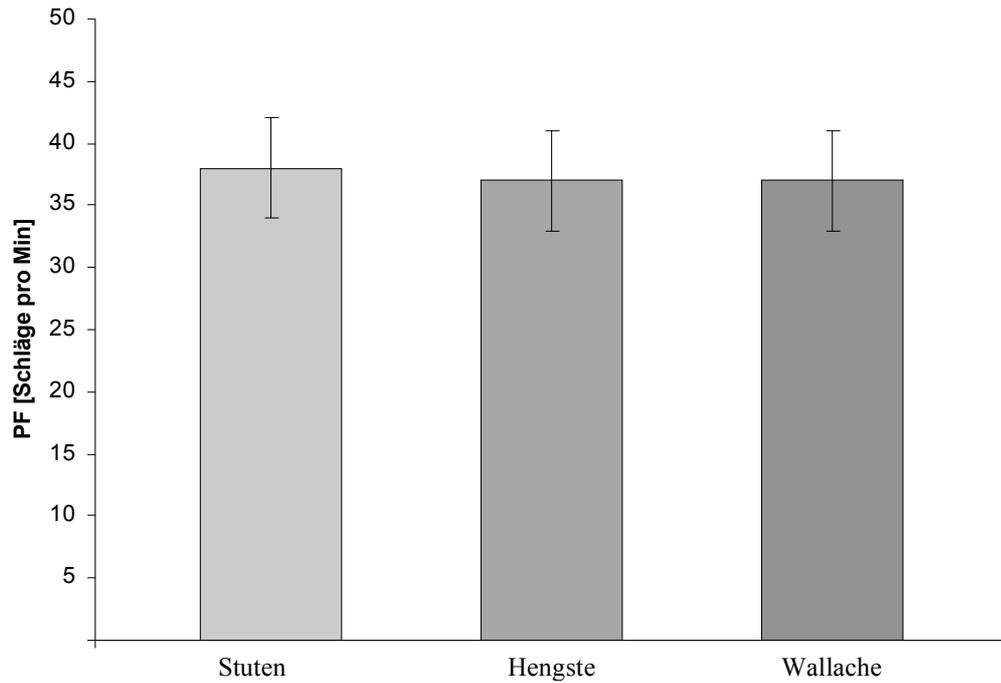


Abb. 30: Ergänzung zu Tab. 12: Pulsfrequenz der Warmblut-Stuten, -Wallache und -Hengste.

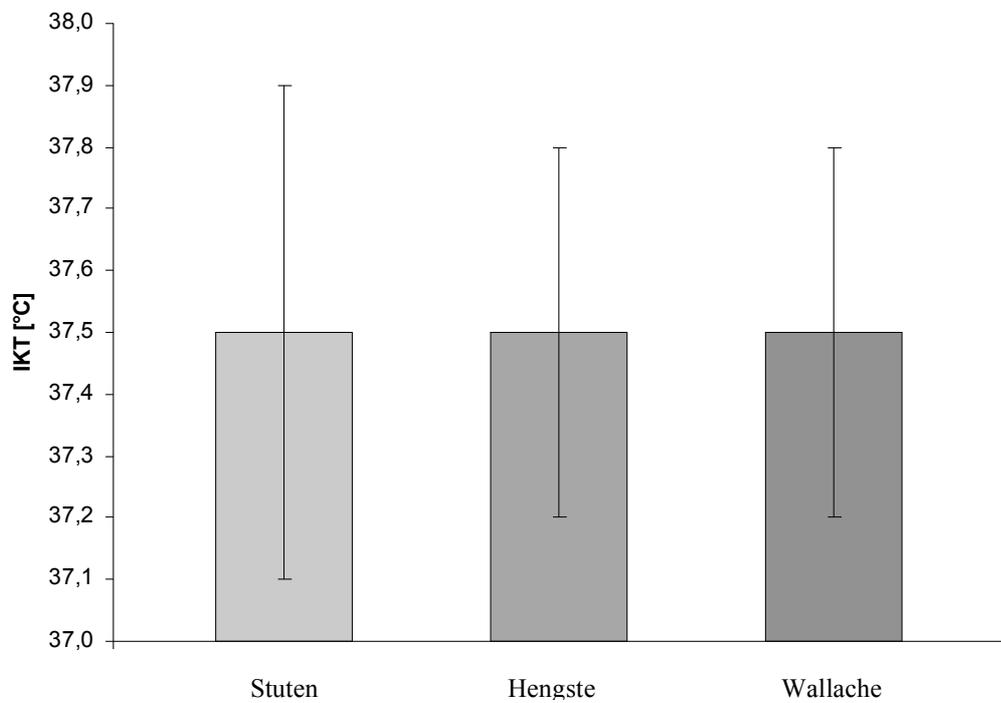


Abb. 31: Ergänzung zu Tab. 12: Innere Körpertemperatur der Warmblut-Stuten, -Wallache und -Hengste.

Die Mittelwerte mit Standardabweichung für die Ruhewerte der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur im Hinblick auf die unterschiedliche Nutzung bzw. Arbeit der Warmblutpferde wurde ebenfalls ermittelt.

Tab. 13: Vergleich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der Warmblutpferde unterschiedlichen Nutzungstyps

	Atemfrequenz [AF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Innere Körpertemperatur [IKT] ($\bar{x} \pm s$) °C	Anzahl der Warmblutpferde (n=258)
keine Arbeit	16 ± 4	38 ± 4	37,5 ± 0,4	80
leichte bis mittlere Arbeit	15 ± 3	38 ± 4	37,5 ± 0,3	114
schwere Arbeit	14 ± 2	37 ± 4	37,6 ± 0,2	63
Zucht	16	33	37,5	1

n = Anzahl der Probanden

\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

°C = Temperatur

Es konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur unterschiedlich trainierter bzw. genutzter Warmblutpferde festgestellt werden.

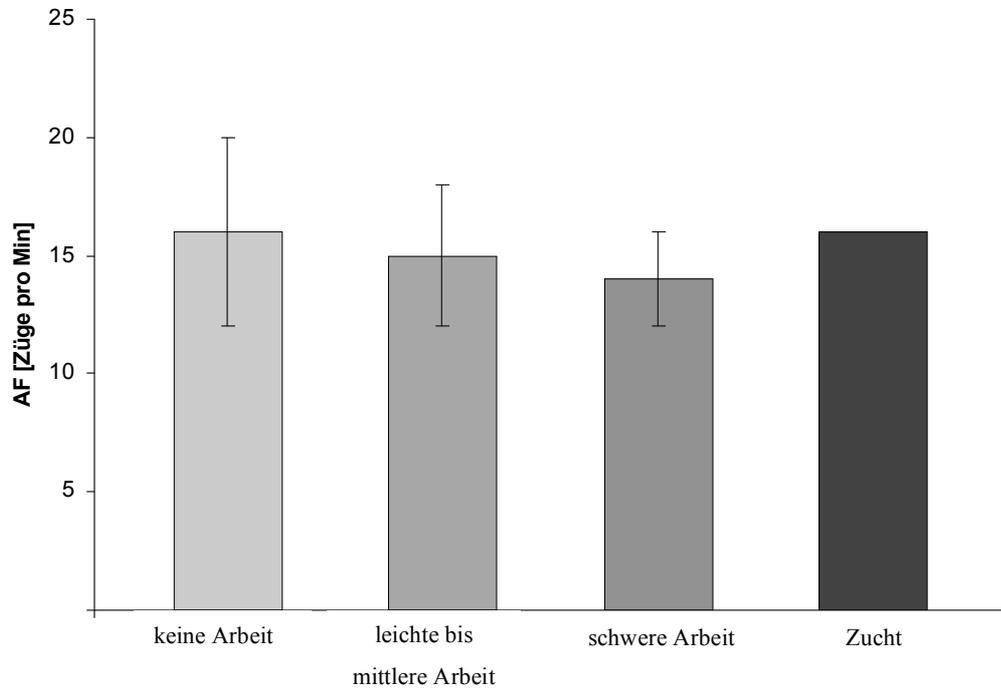


Abb. 32: Ergänzung zu Tab. 13: Atemfrequenz der untersuchten Warmblutpferde unterschiedlichen Nutzungstyps.

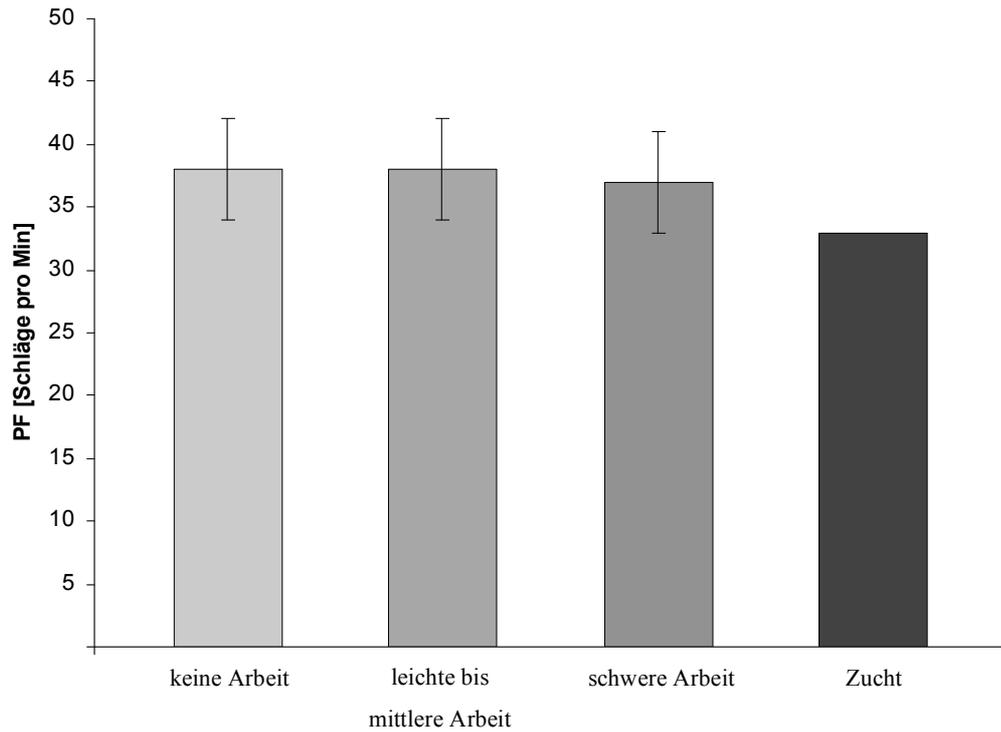


Abb. 33: Ergänzung zu Tab. 13: Pulsfrequenz der untersuchten Warmblutpferde unterschiedlichen Nutzungstyps.

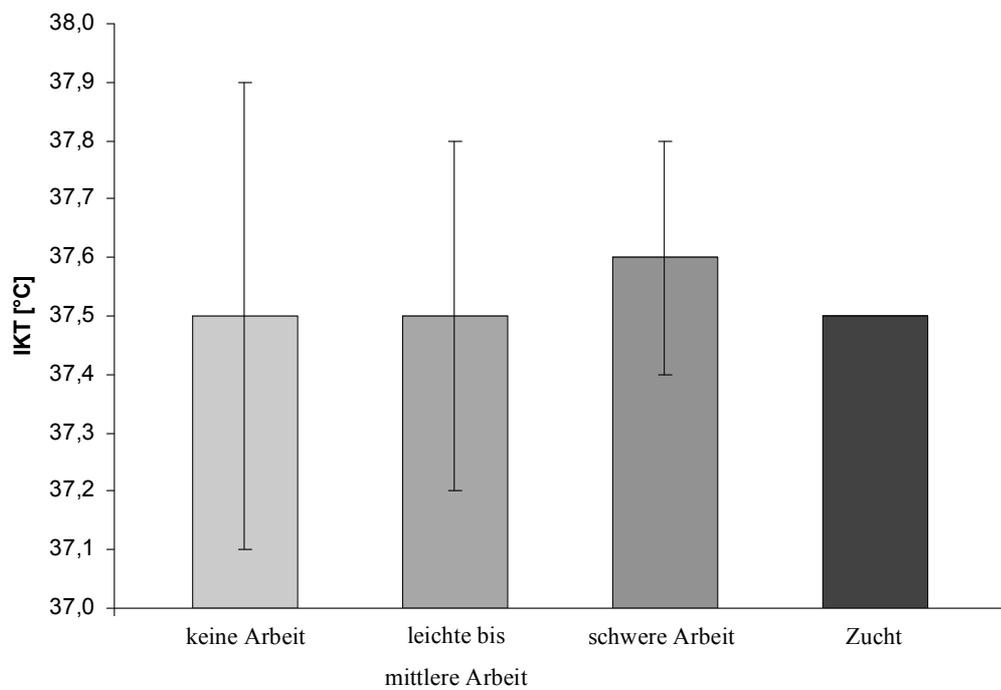


Abb. 34: Ergänzung zu Tab. 13: Innere Körpertemperatur der untersuchten Warmblutpferde unterschiedlichen Nutzungstyps.

Die Warmblutpferde wurden größtenteils in der Box gehalten. Ein weiterer Anteil der Pferde war in Offenställen untergebracht. Pferde, die noch nicht gearbeitet wurden, erhielten Tag und Nacht Weidegang.

Tab. 14: Vergleich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur der Warmblutpferde unterschiedlicher Haltungsart

	Atemfrequenz [AF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	Innere Körpertemperatur [IKT] ($\bar{x} \pm s$) °C	Anzahl der Warmblutpferde (n=258)
Boxenhaltung	15 ± 3	37 ± 4	37,5 ± 0,2	122
Weidehaltung	17 ± 4	38 ± 4	37,5 ± 0,2	51
Offenstall	15 ± 4	38 ± 4	37,4 ± 0,4	85

n = Anzahl der Probanden

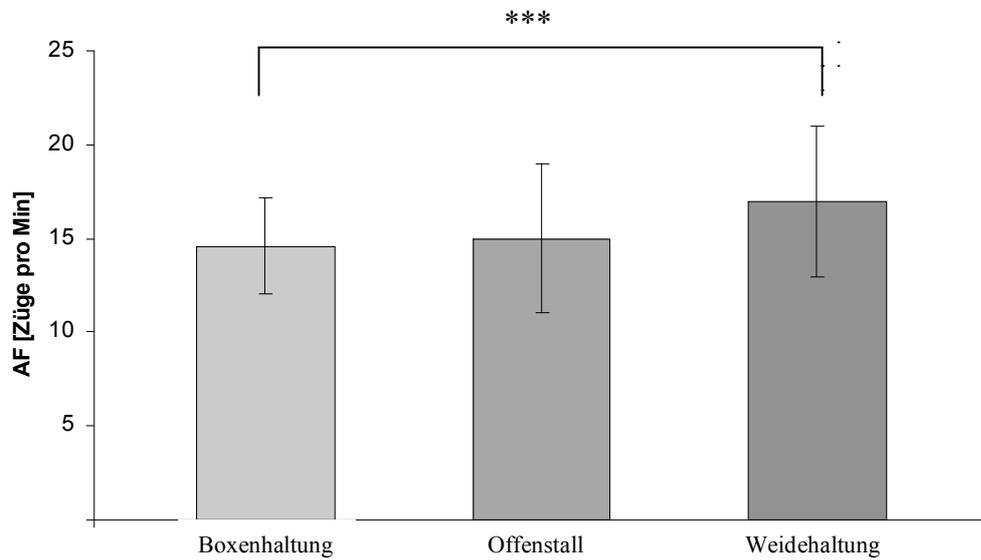
\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

°C = Temperatur

In der Box gehaltene Warmblutpferde wiesen signifikant abweichende Atemfrequenzen zu den Pferden auf, die auf der Weide gehalten wurden.



*** = höchst signifikant ($p < 0,001$)

Abb. 35: Ergänzung zu Tab. 14: Atemfrequenz der untersuchten Warmblutpferde unterschiedlicher Haltungsart unter Berücksichtigung der Signifikanzen.

Es gab keine signifikanten Unterschiede der Pulsfrequenz bei Warmblutpferden verschiedener Haltungsformen.

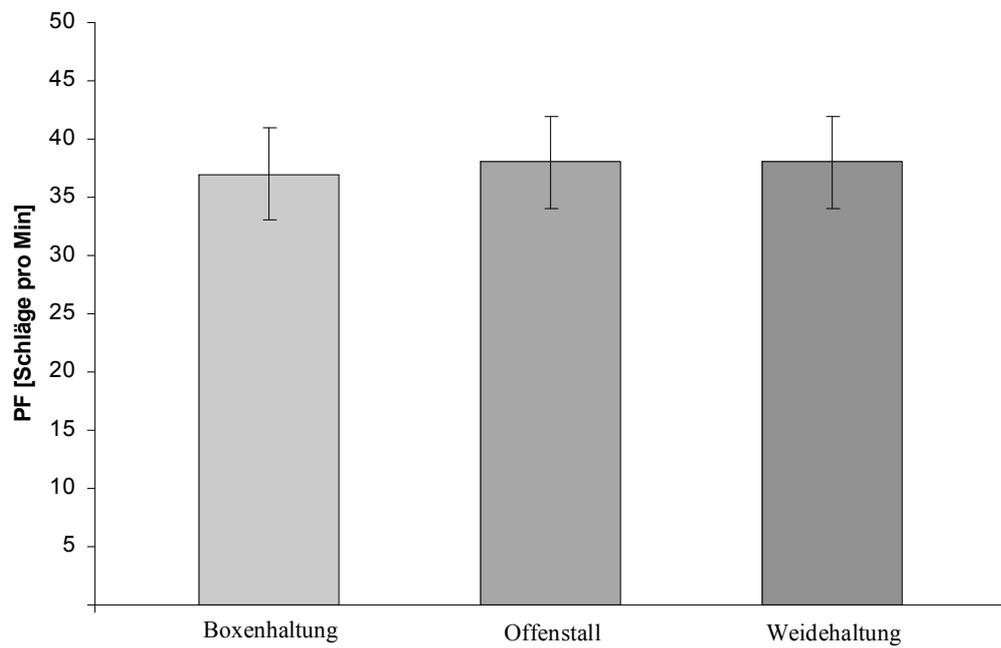


Abb. 36: Ergänzung zu Tab. 14: Pulsfrequenz der untersuchten Warmblutpferde unterschiedlicher Haltungsart.

Es gab keine signifikanten Unterschiede der inneren Körpertemperatur bei Warmblutpferden verschiedener Haltungsformen.

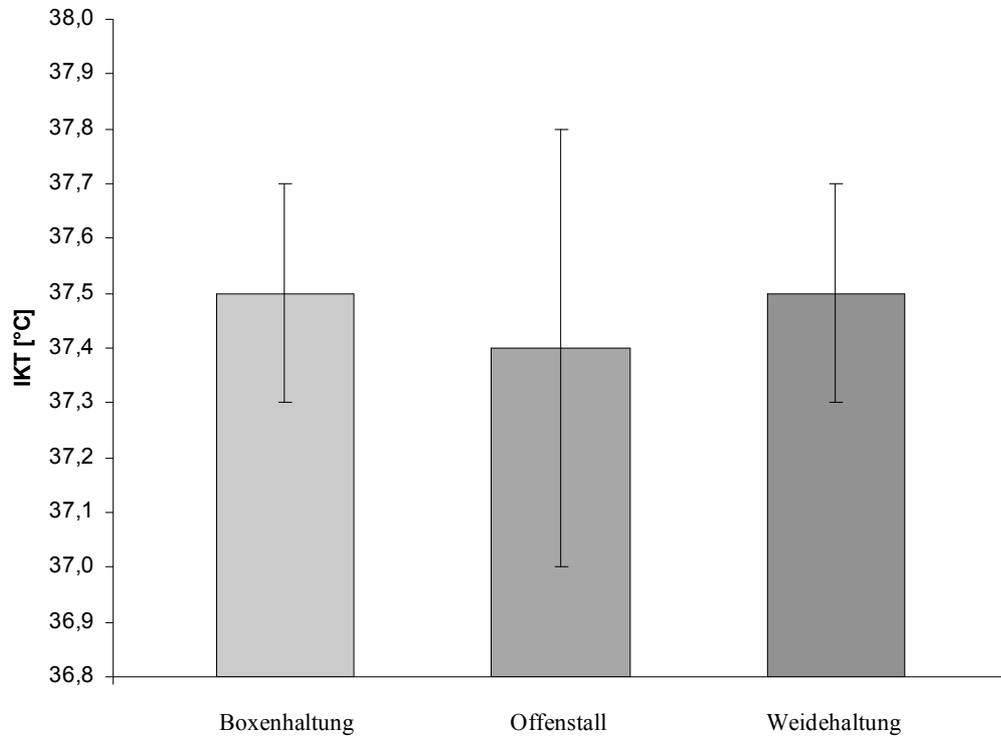


Abb. 37: Ergänzung zu Tab. 14: Innere Körpertemperatur der untersuchten Warmblutpferde unterschiedlicher Haltungsart.

4.4 Ergebnisse der allgemeinen klinischen Untersuchung bezogen auf die Atem- und Pulsfrequenz sowie die innere Körpertemperatur in Ruhe beim Island-, Vollblut- und Warmblutpferd im Vergleich

Im Mittel zeigten die Islandpferde eine Atemfrequenz von 21 ± 5 Zügen pro Minute, eine Pulsfrequenz von 39 ± 4 Schlägen pro Minute und eine innere Körpertemperatur von $37,4 \pm 0,3$ °C.

Die Vollblutpferde wiesen im Mittel eine Atemfrequenz von 15 ± 4 Zügen pro Minute, eine Pulsfrequenz von 39 ± 6 Schlägen pro Minute und eine innere Körpertemperatur von $37,5 \pm 0,3$ °C auf.

Die Warmblutpferde hatten im Mittel eine Atemfrequenz von 15 ± 3 Zügen pro Minute, eine Pulsfrequenz von 38 ± 4 Schlägen pro Minute und eine innere Körpertemperatur von $37,5 \pm 0,3$ °C.

Tab. 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der Atem und, Pulsfrequenz sowie der Inneren Körpertemperatur in Ruhe

	Isländer (n=123)	Vollblüter (n=133)	Warmblüter (n=258)
Atemfrequenz [AF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	21 ± 5	15 ± 4	15 ± 3
Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	39 ± 4	39 ± 6	38 ± 4
Innere Körpertemperatur [IKT] ($\bar{x} \pm s$) °C	$37,4 \pm 0,3$	$37,5 \pm 0,3$	$37,5 \pm 0,3$

n = Anzahl der Probanden

\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

°C = Temperatur

Tab. 16: Mittelwerte, Standardabweichungen und gemessener Minimal- und Maximalwert der Atem- und Pulsfrequenz sowie der Inneren Körpertemperatur in Ruhe

		Atemfrequenz [Züge pro Min]	Pulsfrequenz [Schläge pro Min]	Innere Körpertemperatur [°C]
Islandpferde	$(\bar{x} \pm s)$	21 ± 5	39 ± 4	37,4 ± 0,3
	Minimalwert	12	28	36,8
	Maximalwert	36	49	38,3
Vollblutpferde	$(\bar{x} \pm s)$	15 ± 4	39 ± 6	37,5 ± 0,3
	Minimalwert	6	28	36,4
	Maximalwert	32	52	38,3
Warmblutpferde	$(\bar{x} \pm s)$	15 ± 3	38 ± 4	37,5 ± 0,3
	Minimalwert	8	27	36
	Maximalwert	28	52	38,2

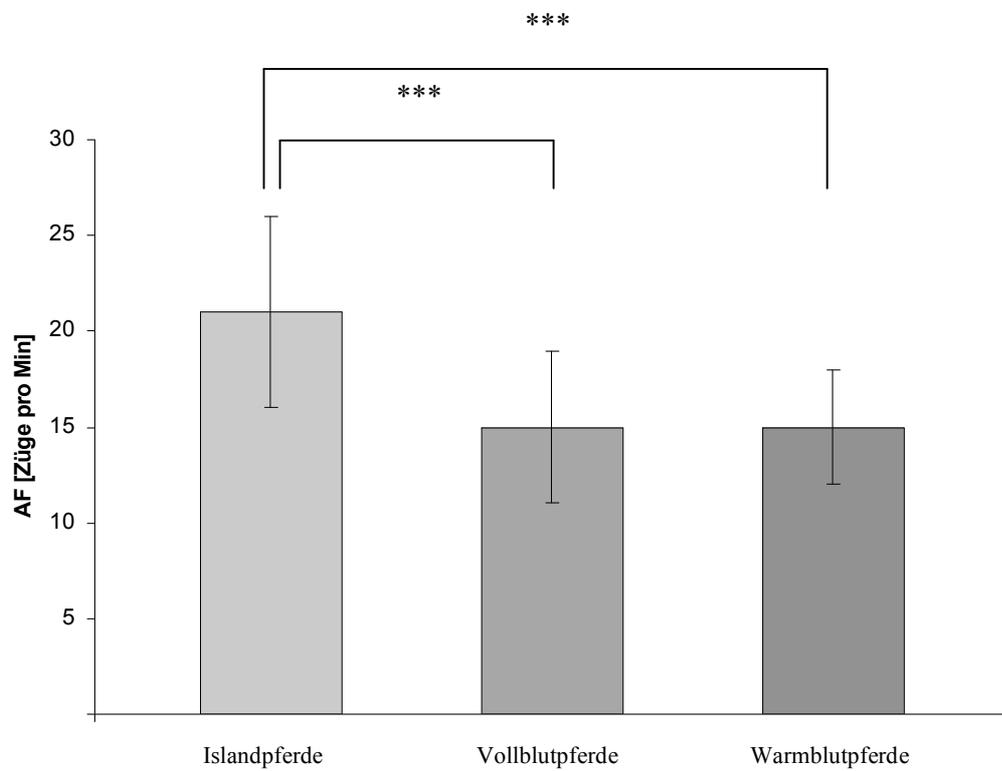
\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung

Min = Minute

°C = Temperatur

Innerhalb der Rasseunterscheidung fielen die Islandpferde mit signifikant abweichenden Atemfrequenzen von denen der Voll- und Warmblutpferde auf.



*** = höchst signifikant ($p < 0,001$)

Abb. 38: Ergänzung zu Tab. 15: Atemfrequenz der untersuchten Pferde unterschiedlicher Rasse unter Berücksichtigung der Signifikanz.

Es gab keine signifikanten rassespezifischen Unterschiede hinsichtlich der Pulsfrequenz.

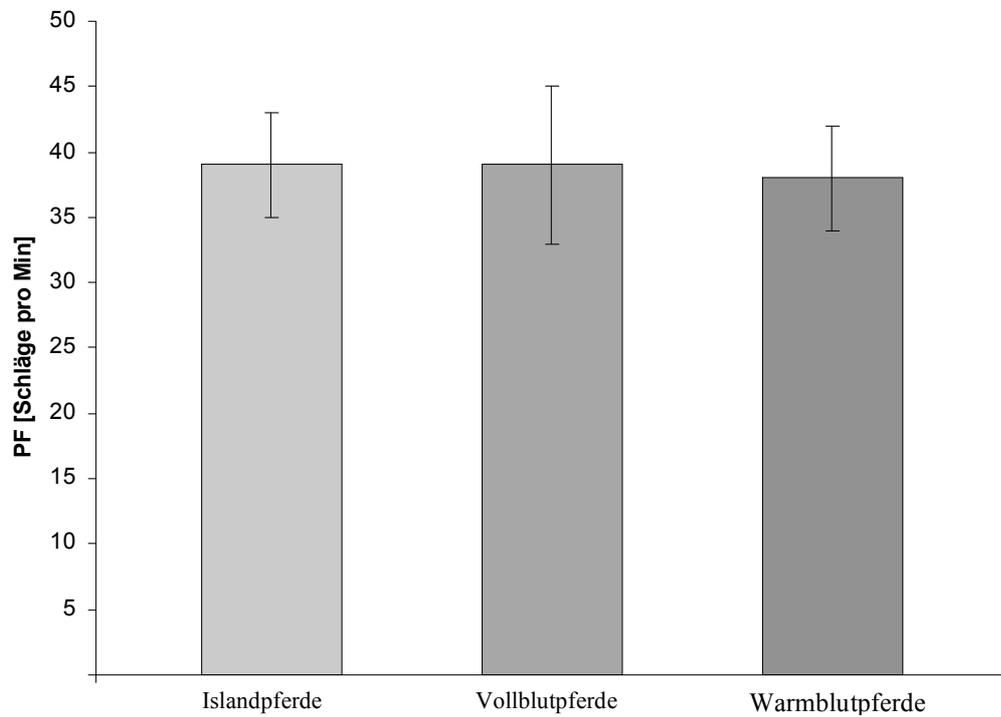


Abb. 39: Ergänzung zur Tab. 15: Pulsfrequenz der untersuchten Pferde unterschiedlicher Rasse.

Es gab keine signifikanten rassespezifischen Unterschiede hinsichtlich der inneren Körpertemperatur.

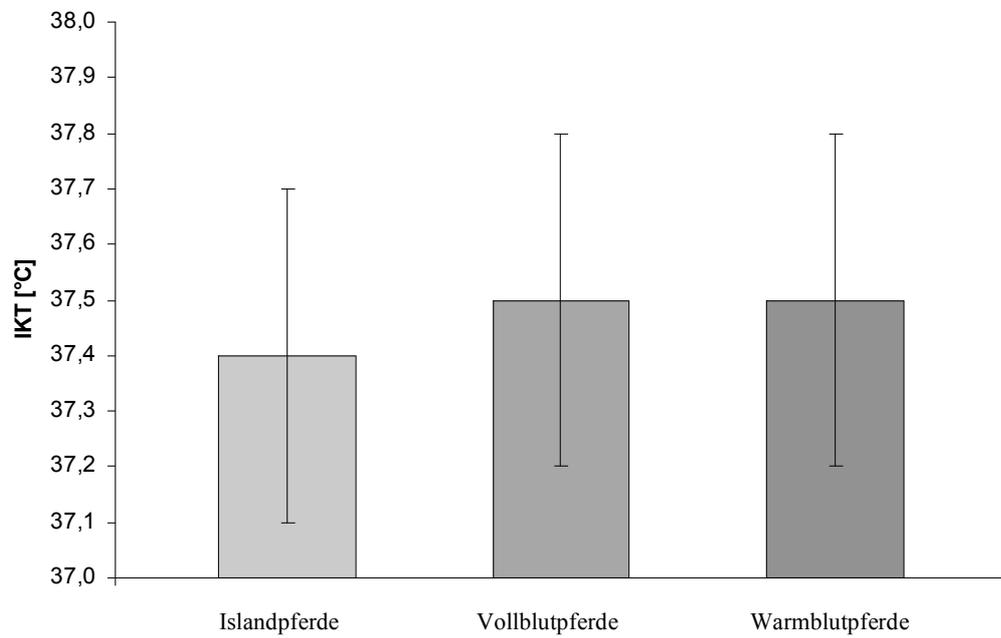


Abb. 40: Ergänzung zur Tab. 15: Innere Körpertemperatur der untersuchten Pferde unterschiedlicher Rasse.

5 Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war die Erhebung der Vitalparameter im Rahmen der allgemeinen klinischen Untersuchung zur Vereinheitlichung der Normwerte für die Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur beim Islandpferd, Vollblut und Warmblut, da diese Werte z.T. mit erheblicher Varianz in der Literatur angegeben werden und bisher keine Reihenuntersuchungen an großen Pferdezahlen unter Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren vorlagen. In dieser Studie wurden erstmals Untersuchungen zu Ruhewerten der Atem- und Pulsfrequenz sowie inneren Körpertemperatur in großer Zahl an verschiedenen Rassen mit unterschiedlichen Einflussfaktoren durchgeführt. Anhand dieser Untersuchungen sollen feste Referenzwertbereiche dargelegt werden, so dass diese an Stelle der in der Literatur voneinander stark abweichenden angegebenen Ruhewerte rücken sollten.

Die gegenwärtig wiederholt in der Literatur abweichenden Ruhewerte (siehe Tab. 1), lassen die Grenze zu pathologischen Veränderungen nicht eindeutig erkennen. Diese Unterschiede fallen aber nicht nur im Allgemeinen auf, sondern auch rassespezifisch. Vorzugsweise bei Islandpferden werden erhöhte Atemfrequenzen und Pulsfrequenzen beschrieben (STORZ, 1962).

HAUBOLDS Studie (2006) an 78 Islandpferden ergab im Mittel 19 Atemzüge pro Minute mit einer Standardabweichung von 6 Zügen pro Minute und eine gemittelte Pulsfrequenz von 41 Schlägen pro Minute und einer Standardabweichung von 9 Schlägen pro Minute. Es stellt sich demnach die Frage, ob diese erhöhten Werte als pathologische Veränderung anzusehen sind oder ein rassespezifisches Merkmal darstellen.

Weiterhin wird in der Literatur über niedrigere Herzfrequenzen beim Vollblutpferd im Vergleich zum Warmblutpferd diskutiert (PHYSICK-SHEARD, 1985). Wiederholt wiesen verschiedene Autoren auf Faktoren (u.a. Rasse, Geschlecht, Alter oder Trainingszustand) hin, die auf die Höhe der Herzfrequenz Einfluss nehmen (STRAUB et al., 1984; PHYSICK-SHEARD, 1985; CIKRYTOVA, 1991; LOVING, 1993).

Auch hinsichtlich der im Normbereich liegenden inneren Körpertemperatur des Pferdes unterscheiden sich in der Literatur die Referenzwertbereiche voneinander. So gab SCHATZMANN (1995) als Wertbereich für die physiologische innere Körpertemperatur 37-38 °C und VON ENGELHARDT und BREVES (2009) geben 37,5-38,5 °C an. Faktoren wie Außentemperatur, Luftfeuchtigkeit (BÜTTNER und THOMAS, 2002; DIETZ, 2006), hohe Belastung (KRZYWANEK, 2006) oder krankhafte Zustände (BAUMGARTNER, 2009; JESSEN, 2009), die zum Absinken oder Ansteigen der IKT führen, sind als schädigende Einflüsse anzusehen.

Es erklärt sich, dass nicht nur die Erhebung der Ruhewerte eine wichtige Rolle spielt, sondern auch Faktoren, die sich auf die gemessenen Parameter auswirken, erkannt und berücksichtigt werden müssen.

5.1 Diskussion der Untersuchungsergebnisse beim Islandpferd

Die Islandpferde fielen durch signifikant höhere Atemfrequenzen mit 21 ± 5 Zügen pro Minute im Vergleich mit den Vollblut- und Warmblutpferden auf. Viele Islandpferdebesitzer und auch Tierärzte vermuteten bereits seit langem eine physiologisch höhere Atem- und Pulsfrequenz dieser Rasse (HAUBOLD, 2006).

Die wissenschaftlichen Arbeiten von STORZ (1962) und HAUBOLD (2006) untersuchten dieses vermeintliche Phänomen. STORZ überprüfte dabei auf Island die Atem- und Pulsfrequenzen von 151 Pferden vor und nach Belastung und ermittelte dabei eine Atemfrequenz in Ruhe von 10-20 Atemzügen pro Minute. Er erklärte diese von den von KRZYWANEKs (2006) für das Warmblutpferd angegebenen Werten von 10-15 Atemzügen pro Minute abweichende Atemfrequenz durch den Stoffwechsel, die schnellen Aktionen und das Temperament der Islandpferde. Jedoch weist er auch darauf hin, dass die im Winter untersuchten Pferde, die in engen, schlecht belüfteten und daher staub- und ammoniakbelasteten Ställen untergebracht waren, deutlich höhere Atemfrequenzen zeigten, als die der im Sommer im Freien gehaltenen Pferde.

HAUBOLD untersuchte 2006 ebenfalls die Atem- und Pulsfrequenzen der Isländer in Ruhe und nach Belastung. Zusätzlich konnte sie mittels weiterführender Lungendiagnostik lungenkranke Isländer von Gesunden abgrenzen. Auch ihre ermittelten Atemfrequenzen in Ruhe mit 19 ± 6 Zügen pro

Minute weichen deutlich von KRZYWANEEKs Referenzwerten ab. Von den 78 untersuchten Isländern wiesen fast die Hälfte Pneumopathien auf, die nicht durch Lungenauskultation, sondern durch weiterführende Diagnostik festgestellt wurden. Lungengesunde Pferde präsentierten im Mittel 18 Atemzüge pro Minute, lungenkranke 21 Atemzüge pro Minute.

Ebenso wie STORZ (1962) und HAUBOLD (2006) liefert die hier durchgeführte Studie erhöhte Atemfrequenzen beim Islandpferd. Zwar wurden die Lungen der Probanden der eigenen Arbeit nur im Rahmen einer Auskultation hinsichtlich möglicher Erkrankungen untersucht, so dass eventuelle Pneumopathien bei diesen Pferden nicht sicher ausgeschlossen werden konnten. Anhand der eigenen Untersuchungen ist eine physiologisch erhöhte rassespezifische Atemfrequenz der Islandpferde als gesichert anzusehen, was durch HAUBOLDs Ergebnisse zur Atemfrequenz lungengesunder Islandpferde unterstrichen wird. Die von HAUBOLD (2006) beschriebene rassespezifische höhere Herzfrequenz mit 41 ± 8 Schlägen pro Minute sollte hinterfragt werden. Eigene Untersuchungsergebnisse lieferten Pulsfrequenzen der Islandpferde mit 39 ± 4 Schlägen pro Minute, die im gleichen Bereich der gemessenen Werte der Warmblutpferde (38 ± 4 Schläge pro Minute) und Vollblüter (39 ± 6 Schläge pro Minute) anzusiedeln waren (siehe auch Tab. 15). Eine rassespezifische Erhöhung der Herzfrequenz beim Islandpferd kann somit nicht bestätigt werden.

Weiterhin konnte bei zunehmenden Außentemperaturen eine vermehrt abdominale Atmung bei zusätzlich ansteigender Atemfrequenz bis 24 ± 7 Zügen pro Minute beobachtet werden. Die Ursache dieser Untersuchungsergebnisse (siehe Tab. 3) lässt sich durch folgende Hypothese erklären.

Die robusten Islandpferde der Nordatlantikinsel sind ein raues, wesentlich kälteres Klima gewöhnt, als sie es in Deutschland vorfinden, und haben sich dem durch ihr üppiges Fell- und Mähnenkleid angepasst. In der vorliegenden Arbeit wurde die erste Untersuchung bei einer Außentemperatur von $33 \text{ }^\circ\text{C}$ durchgeführt, zwei weitere Untersuchungen bei einer Außentemperatur zwischen $14\text{-}23 \text{ }^\circ\text{C}$ (August bzw. Oktober). Zu diesen Zeitpunkten befanden sich die Isländer bereits im Fellwechsel (Abstoßen des Sommerfells im August) bzw. hatten diesen schon abgeschlossen (vollständiges Winterkleid im Oktober). Hohe Außentemperaturen und das für die klimatischen Verhältnisse in Deutschland entsprechende frühzeitige Einsetzen des Fellwechsels stellen eine eher ungewohnte Belastung für

den Stoffwechsel des Islandpferdes dar, so dass hier die erhöhte Atemfrequenz als ein Mechanismus der Thermoregulation angesehen werden kann. Durch die vermehrte Atmung wird Wärme abgegeben und die innere Körpertemperatur konstant gehalten (DUŠÉK, 1967).

Dies erklärt auch die geringfügig abweichende gemessene innere Körpertemperatur zu den verschiedenen Außentemperaturen. Ob die Pulsfrequenz ebenfalls eine thermoregulatorische Rolle spielt, kann an dieser Stelle nur vermutet werden. EHRLEIN et al. beschrieben 1969 einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Schweißsekretion nach Belastung und der Erholung der Herzschlagfrequenz. Ob diese Annahme auf die untersuchten Islandpferde zu übertragen ist, bleibt fraglich, da zum Zeitpunkt der Untersuchung kein Schwitzen der Pferde aufgefallen ist bzw. die Herzfrequenz in Ruhe beurteilt wurde und nicht nach Belastung.

Die statistische Unterscheidung der Geschlechter bezogen auf die Atem- und Pulsfrequenz sowie die innere Körpertemperatur (siehe Tab. 4) ergab keine signifikanten Unterschiede der Ruhewerte zwischen Stute, Hengst und Wallach. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass nur 9 Hengste im Gegensatz zu 61 Stuten und 53 Wallachen gemessen wurden, so dass eine eindeutige Aussage nicht getroffen werden kann.

Die Ergebnisse zur Atem- und Pulsfrequenz sowie zur inneren Körpertemperatur bei Islandpferden unterschiedlichen Trainingstyps bzw. Nutzungsart (siehe Tab. 5) ergaben keine signifikanten Abweichungen. Vor allem die nähere Betrachtung der Atem- und Pulsfrequenzen zeigte, dass sowohl die Atemfrequenzen mit 21 ± 5 bzw. 21 ± 4 Zügen pro Minute als auch die Pulsfrequenzen mit 37 ± 6 , 38 ± 3 und 40 ± 5 Schlägen pro Minute der unterschiedlich gearbeiteten Islandpferde nahezu im gleichen Bereich lagen (siehe Tab. 5). Die unterschiedlichen Gruppengrößen lassen allerdings auch hier nur Vermutungen zu, da von 123 gemessenen Islandpferden allein 78 Pferde zur Gruppe leichte bis mittlere Arbeit zählten. Jedoch ist anzunehmen, dass auch bei gleicher Gruppengröße einheitliche Werte zustande gekommen wären. HAUBOLD hatte zusätzlich zu ihren Untersuchungen der Atemfrequenz 2006 beim Islandpferd deren Herzfrequenz vor und nach Belastung sowie bei trainierten und untrainierten Pferden beobachtet. Auch sie konnte dabei keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Herzfrequenz trainierter und untrainierter Pferde feststellen. Sie wies jedoch darauf hin, dass der

Trainingszustand eines trainierten Islandpferdes nicht mit dem eines Rennpferdes zu vergleichen ist und daher trainingsinduzierte Veränderungen des Herzens ausbleiben.

Als Fazit der Ergebnisse der eigenen Studie kann gezogen werden, dass eine trainingsabhängige Veränderung der Herzfrequenz beim Islandpferd nicht besteht und zudem auch nicht als wichtiger beeinflussender Faktor, wie es beim Vollblutpferd zur Diskussion steht, herangezogen werden sollte.

5.2 Diskussion der Untersuchungsergebnisse beim Vollblutpferd

Die Untersuchungen der Vollblutpferde wurden hinsichtlich der Außentemperatur nur in zwei Gruppen eingeteilt. Es wurden zwar ebenfalls insgesamt 4 Untersuchungen zu ähnlichen Zeitpunkten wie bei den anderen Rassen durchgeführt, doch war die Außentemperatur zum Untersuchungszeitpunkt der Vollblüter nie höher als 22 °C. Da die Untersuchungen von der Organisation der Betriebe abhängig waren, wurden bereits einige Zeit im Voraus Termine mit den Gestüten vereinbart, so dass die Untersuchungen nicht flexibel nach den Außentemperaturen durchgeführt werden konnten.

Eine Unterteilung erfolgte demnach in die Gruppe ≤ 0 °C und 14-23 °C. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede im Bereich der Atem- und Pulsfrequenzen oder der inneren Körpertemperatur (siehe Tab. 6 bzw. Abb. 12 - 14). Im Gegensatz zum Islandpferd haben Vollblutpferde feineres Fell, das auch im kalten Winter wenig ausgeprägt ist. Zudem sind Englische Vollblutpferde durch die Einkreuzung arabischer Vollblüter ostasiatischen Ursprungs geprägt, so dass evolutionär diese Pferde klimatisch anders geprägt und nicht mit Robustpferden zu vergleichen sind. Das heißt hohe Außentemperaturen nehmen vermutlich weniger Einfluss auf die Ruhewerte der Atem- und Pulsfrequenz.

Hinsichtlich der Pulsfrequenz wiesen Stuten im Vergleich zu Wallachen sowie Hengste im Vergleich zu Wallachen signifikante Unterschiede auf. Stuten zeigten dabei mit 40 ± 5 Schlägen pro Minute höhere Pulsfrequenzen als Wallache mit 36 ± 4 Schlägen pro Minute (siehe Tab. 7 und Abb. 16). Dies konnte bereits HARBIG in seiner Studie 2006 feststellen, bei der Stuten im Vielseitigkeitssport während der Turniersaison ebenfalls mit höheren mittleren Herzfrequenzen aufgefallen waren. Eine klinische Relevanz dieses signifikanten Unterschieds

stellte HARBIG jedoch in Frage.

Auch die Ergebnisse der eigenen Studie hinsichtlich der bei Stuten vorkommenden höheren Herzfrequenz sollten nicht zu hoch gewichtet und als nicht klinisch relevant angesehen werden. Die Messergebnisse der Pferde sollten anhand der Einzelbetrachtung der Pferde gewertet werden, so dass die Individualität der Pferde mit unterschiedlicher Abstammung und Temperament und der gezeigten Atem- und Pulsfrequenzen nicht wegzudenkende Faktoren darstellen. Weiterhin liegt die Vermutung nahe, dass Stuten und Hengste im Gegensatz zu Wallachen vermehrt Hormonschwankungen ausgesetzt sind, die zum aufregungsinduzierten Anstieg der Herzfrequenz führen. Bei Hengsten, die durch ein sogenanntes Hengstverhalten auffallen, kann eine erhöhte Pulsfrequenz in Zusammenhang mit diesem gesetzt werden. Es soll jedoch erwähnt sein, dass zum einen nur Pferde für die Studie gewählt wurden, die sich nicht offensichtlich aufgeregt haben, so dass die Hengste während der Untersuchung auch nicht durch aufregungsinduziertes Verhalten auffielen.

Es wird häufig in pferdemedizinischer Literatur beschrieben, dass Vollblutpferde durch niedrige Pulsfrequenzen auffallen. Vor allem trainierte Pferde weisen niedrigere Herzfrequenzen auf (HARKINS, 1991; VON ENGELHARDT, 2009). Ähnliche Ergebnisse konnten in der vorliegenden Arbeit gefunden werden. Pferde, die schwer gearbeitet wurden, zeigten signifikant niedrigere Pulsfrequenzen als Zuchtpferde bzw. Vollblüter, die nicht gearbeitet wurden (siehe Tab. 8 und Abb. 21).

Bereits bei den Messungen auf den Gestüten zeigte sich, dass die Zuchtstuten, die meistens ein Fohlen bei Fuß hatten oder noch in der gleichen Saison belegt wurden (hoch tragende Stuten waren von der Studie ausgeschlossen) und Pferde, die nicht gearbeitet wurden, keine niedrigeren Pulsfrequenzen im Vergleich zu den Island- und Warmblutpferden aufwiesen, sondern nur die trainierten Vollblutpferde. Es kann also angenommen werden, dass die häufig beim Vollblutpferd vorkommende niedrige Pulsfrequenz nicht unbedingt als rassespezifisch, sondern viel mehr als trainingsabhängig zu deuten ist. Somit liegt die Vermutung nahe, dass intensives Training einen deutlichen Einfluss auf die Herzfrequenz und somit auch auf die Pulsfrequenz hat.

VON ENGELHARDT (2009) erklärte dies durch die trainingsinduzierte Zunahme des Herzmuskelgewichts und dem in Ruhe erhöhten Schlagvolumen, so dass ein Absinken der Herzfrequenz möglich ist. Das Herzgewicht eines trainierten Pferdes beträgt 0,95-1,15 % des KGWs im Vergleich zu dem eines untrainierten Pferdes mit 0,8-1 % des KGWs (KRZYWANEK, 2006; VON ENGELHARDT, 2009). PHYSICK-SHEARD konnte 1985 beobachten, dass Vollblüter gegenüber Warmblütern trotz gleicher Belastung niedrigere Herzfrequenzen erreichten. Dies bestätigt die Theorie des trainingsinduzierten Einflusses auf die Herzfrequenz und legt den Verdacht nahe, dass möglicherweise auch eine genetische Komponente zum Tragen kommt. Weiterhin verdeutlichen die Daten von PHYSICK-SHEARD (1985) ebenso wie die in dieser Arbeit vorliegenden Daten noch einmal den Zusammenhang der beiden Parameter Trainingszustand und Rasse auf die Herzfrequenz. HARBIG diskutierte in seinen Untersuchungen von Vielseitigkeitspferden im Wettkampf (2006) abweichende Herzfrequenzen durch die unterschiedliche Abstammung im Hinblick auf den Vollblutanteil der einzelnen Sportpferde. Er stellte bei Pferden, deren Abstammung hohen Vollblutanteil zeigte, niedrigere Herzfrequenzen fest. ROSE et al. (1995) erklärten hingegen die niedrigeren Herzfrequenzen beim Vollblutpferd nicht durch das höhere Herzgewicht, sondern durch die bessere aerobe Kapazität des Herzmuskels bei Vollblutpferden.

Die Ergebnisse all dieser Untersuchungen sowie die der eigenen Messungen bestätigen die Theorie, dass eine genetische und trainingsabhängige Beziehung zur Herzfrequenz besteht. Tierärzte sollten dies unbedingt beachten, so dass bei der Beurteilung der Herzfrequenz eines untersuchten Vollblutpferdes neben der Beachtung der Rasse auch der Trainingszustand des Pferdes erfragt werden muss. Trotzdem soll darauf hingewiesen werden, dass sich die Haltungsbedingungen der einzelnen Gruppen in der vorliegenden Studie stark voneinander unterscheiden und möglicherweise auch einen Einfluss auf die Höhe der Herzfrequenz nehmen.

Interessanterweise wiesen bei den Vollblütern die Zuchtpferde eine signifikant niedrigere Körpertemperatur mit $37,4 \pm 0,3$ °C auf als nicht gearbeitete Pferde mit $37,8 \pm 0,4$ °C (siehe Tab. 8). Es konnte jedoch kein Unterschied zwischen den Zuchtpferden und leicht gearbeiteten Pferden gefunden werden. Ein klinisch relevanter Zusammenhang lässt sich an dieser Stelle nicht erkennen.

Hinsichtlich der Haltungsart konnten signifikant höhere Pulsfrequenzen bei den Pferden, die in der Box (36 ± 5 Schläge pro Minute) und auf der Weide (42 ± 5 Schlägen pro Minute) gehalten wurden, festgestellt werden (siehe Tab. 10). Wie schon erwähnt, wurden diese Pferde größtenteils in der Zucht eingesetzt, so dass keine eindeutige Aussage gemacht werden kann, ob die erhöhte Pulsfrequenz im Zusammenhang mit der Haltungsart oder dem Trainingszustand bzw. der Nutzungsart steht oder dem Geschlecht.

BAYLY et al. (1983) und KING et al. (2006) betonten jedoch den Einfluss der Umwelt auf das vegetative Nervensystem. Umweltreize führen zur vagalen Stimulation, so dass vermehrt Adrenalin ausgeschüttet wird und die Herzfrequenz ansteigt. Da in dieser Studie die Pferde im Freien gemessen wurden, waren sie somit vermehrten äußeren Reizen ausgesetzt, was die erhöhte Pulsfrequenz erklärt und daher die Studien von BAYLY et al. (1983) und KING et al. (2006) bestätigt.

5.3 Diskussion der Untersuchungsergebnisse beim Warmblutpferd

Beim Warmblutpferd ergaben sich signifikante Unterschiede bezüglich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur in Relation zu unterschiedlichen Außentemperaturen (siehe Abb. 25-27). Die Atemfrequenz mit 16 ± 3 Zügen pro Minute gemessen bei einer Außentemperatur von $14-23$ °C ist signifikant höher als die Atemfrequenz mit 14 ± 3 Zügen pro Minute bei ≤ 0 °C und > 23 °C.

Ähnlich verhält es sich mit der signifikant höheren Pulsfrequenz mit 38 ± 4 Schlägen pro Minute bei $14-23$ °C gegenüber der Pulsfrequenz mit 36 ± 4 Schlägen pro Minute gemessen bei > 23 °C. Auffällig ist dabei, dass diese unterschiedlichen Atemfrequenzen zwischen 0 °C und $14-23$ °C und zwischen $14-23$ °C und > 23 °C beobachtet werden konnten, aber nicht zwischen 0 °C und > 23 °C, wie es, wenn man diese Abweichungen anhand von thermoregulatorischen Mechanismen erklären würde, zu erwarten gewesen wäre.

Auch die innere Körpertemperatur hat sich zu den ungleichen Umgebungstemperaturen signifikant uneinheitlich verhalten und war bei > 23 °C mit $37,6 \pm 0,3$ °C höher als bei ≤ 0 °C mit $37,3 \pm 0,4$ °C und $14-23$ °C mit $37,6 \pm 0,2$ °C. Diese signifikanten Unterschiede sind nicht als klinisch relevant anzunehmen.

Bereits bei der statistischen Auswertung zeigte sich, dass aufgrund der zahlreichen, die Untersuchungsergebnisse beeinflussenden Parameter ein adäquates statistisch mathematisches Modell nur schwierig gewählt werden konnte. Aufgrund der umfangreichen heterogenen Stichprobe wurde daher zur statistischen Auswertung der Post-Hoc-Test gewählt, der durch Einzelvergleiche alle Gruppen gegenüberstellt (SCHERMELLEH-ENGEL und WERNER, 2007). Es fielen kleinste Veränderungen als signifikant auf, die in den vielen Einflussgrößen und in der großen Stichprobe begründet waren, aber nicht als klinisch relevant anzusehen sind (DU PREL et al., 2009). Eine große heterogene Probandengruppe führt zur Streuung der Daten.

Warmblüter unterschiedlichen Trainingstyps bzw. unterschiedlicher Nutzungsart wiesen keine signifikant höheren oder niedrigeren Abweichungen der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur auf. Am Beispiel der Pulsfrequenz bestätigt sich erneut die Annahme PHYSICK-SHEARDs (1985), dass die Herzfrequenz rasseabhängig ist, da Warmblüter und Vollblüter trotz gleicher Belastung in deren Studie signifikant verschiedene Herzfrequenzen aufzeigten. Training scheint auf die Herzfrequenz des Warmblutpferdes weniger Einfluss zu nehmen. Es ist möglich, dass die beim Vollblutpferd beschriebene bessere aerobe Kapazität in diesem Zusammenhang steht (ROSE et al., 1995). Außerdem weisen allein untrainierte Vollblüter ein höheres Herzgewicht mit 0,8-1 % des KGWs auf als Warmblüter mit 0,6-0,7 % des KGWs, so dass das durch Training hypertrophierende Herz ebenfalls beim Vollblutpferd ausgeprägter ist. Mit dem Herzgewicht steigt auch das Schlagvolumen, was in einer niedrigeren Herzschlagfrequenz resultiert (VON ENGELHARDT, 2009). An dieser Stelle sollte noch darauf hingewiesen werden, dass sich das Training eines im Rennsport eingesetzten Vollblutpferdes, mehr Einfluss auf das Herzgewicht und die Herzfrequenz nimmt, als das Training eines Warmblutpferdes, das im Dressur- oder Springsport eingesetzt wird.

Die Betrachtung der Ruhewerte der Warmblüter unterschiedlicher Haltungsart ergab signifikant höhere Atemfrequenzen der auf der Weide gehaltenen Pferde gegenüber den Boxenpferden. Pferde, die sich im Freien aufhalten, sind Umwelteinflüssen ausgesetzt. Das Pferd als Fluchttier ist sehr empfänglich für äußere Reize, so dass ähnlich wie bei der durch die Umwelt beeinflussbare

Herzfrequenz (BAYLY et al., 1983) von einer aufregungsbedingt erhöhten Atemfrequenz ausgegangen werden kann.

5.4 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse beim Island-, Vollblut- und Warmblutpferd im Vergleich

Im rassespezifischen Vergleich der Atem- und Pulsfrequenzen sowie inneren Körpertemperatur fielen vor allen Dingen die Islandpferde hinsichtlich der Atemfrequenz auf. Sie konnten signifikant mehr Atemzüge pro Minute (21 ± 5) verzeichnen als die untersuchten Warmblut- und Vollblutpferde mit 15 ± 3 Zügen pro Minute (siehe Tab. 15).

Dies konnten bereits STORZ (1962) und HAUBOLD (2006) feststellen und beschrieben dies als rassespezifisches Merkmal. HAUBOLD (2006) unterschied in ihren Untersuchungen zwischen lungenkranken und lungengesunden Pferden. Beide Gruppen zeigten dabei gegenüber anderen Pferderassen wie Warm- und Vollblütern erhöhte Frequenzen. Im Rahmen der eigenen Studie zeigten die Isländer besonders im Zusammenhang mit zunehmenden Außentemperaturen eine Erhöhung der Atemfrequenz mit 24 ± 7 Zügen pro Minute (siehe Tab. 3), was vermutlich einen thermoregulatorischen Prozess bei robusten Pferden darstellt.

STORZ führte 1962 seine Untersuchungen in Island durch, so dass die Islandpferde ihrem gewohnten rauen Klima mit niedrigen Außentemperaturen ausgesetzt waren. Trotzdem konnte auch STORZ eine erhöhte Atemfrequenz feststellen, so dass dies als Mechanismus zur Regulation der inneren Körpertemperatur wohl eine untergeordnete Rolle spielt und erst bei bestimmten Temperaturen zum Tragen kommt. Die erhöhte Atemfrequenz der Islandpferde sollte daher als rassespezifisches Merkmal angenommen werden und hängt nicht nur von klimatischen Bedingungen ab (siehe Kap. 5.1).

Wie bereits erwähnt, wird in der Literatur viel über niedrigere Herzfrequenzen des Vollblutpferdes im Vergleich mit anderen Pferderassen diskutiert. In dieser Studie wird jedoch deutlich, dass sich die Vollblüter hinsichtlich der Pulsfrequenz 39 ± 6 Schlägen pro Minute von den anderen Pferderassen (siehe Tab. 15) nicht signifikant unterscheiden. Jedoch sind diese Werte beim Vollblutpferd auch durch eine aufregungsinduzierte Erhöhung zu erklären, da diese Rasse bekannt für ihren sensiblen Charakter ist. Niedrigere Pulswerte zeigen Vollblüter außerdem häufig

in Abhängigkeit ihres Trainingzustandes (siehe Kap. 5.2).

5.5 Schlussfolgerungen zu einflussnehmenden Faktoren auf die Atem- und Pulsfrequenz sowie die innere Körpertemperatur

Die Diskrepanzen hinsichtlich der Normwerte der Atem-, Pulsfrequenz und inneren Körpertemperatur bei verschiedenen Pferderassen innerhalb der pferdemedizinischen Literatur führten zur Durchführung der vorliegenden Arbeit. Der Mangel an Studien bedingte bisher Allgemeinwerte mit großer Spanne, die zudem Robustpferde in ungenügender Weise berücksichtigten. Zusätzlich findet man in der Literatur wiederholt Hinweise auf einflussnehmende Faktoren der Ruhewerte.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie machen deutlich, dass es schwierig ist, feste Referenzwertbereiche für die Ruhewerte der Atem- und Pulsfrequenz sowie inneren Körpertemperatur zu bestimmen. Diese Studie ist charakterisiert durch sehr hohe Probandenzahlen und wiederholte Untersuchungen (insgesamt n=915), die zur Folge hatten, dass mehrere die Ruhewerte beeinflussende Faktoren festgestellt werden konnten.

Bei den Islandpferden konnte sowohl eine von der Rasse als auch von der Außentemperatur abhängige Beeinflussung der Atemfrequenz festgestellt werden. Der Einfluss der Haltungsart konnte nicht bewertet werden, da die gemessenen Islandpferde ausschließlich im Offenstall standen. Hinsichtlich der Pulsfrequenz wurde bei den Englischen Vollblutpferden ebenfalls eine rasseabhängige Beeinflussung beobachtet, die zusätzlich in engem Zusammenhang mit dem Trainingszustand bzw. der Nutzungsart steht. Außerdem wirkte sich die Haltungsart auf die Pulsfrequenz aus. Hinsichtlich der Geschlechterunterscheidung wiesen nur die Vollblüter signifikant unterschiedliche Pulsfrequenzen auf. Die klinische Relevanz dieser Abweichungen wurde bereits in Kapitel 5.2 erläutert. Die Untersuchungen der Warmblutpferde ließen Abweichungen der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur bei verschiedenen Außentemperaturen erkennen. Ein eindeutiger Anstieg der Atemfrequenz bei zunehmenden Umgebungstemperaturen wie beim Islandpferd war nicht zu verzeichnen. Auf der Weide gehaltene

Warmblüter zeigten signifikant höhere Atemfrequenzen.

Es wird deutlich, dass die Werte durch unterschiedlichste Parameter wie Rasse, Außentemperatur, Umwelteinflüsse wie beispielsweise Geräusche oder Bewegungen, die durch vagale Stimulation zu erhöhten Pulsfrequenzen führten, Trainingszustand oder Haltungsart beeinflusst werden. Außerdem stehen die Parameter untereinander in einem engen Zusammenhang. Das heißt, die beim Islandpferd mit steigenden Umgebungstemperaturen zunehmende Atemfrequenz ist nur bei dieser Rasse aufgefallen, so dass Rasse und Außentemperatur hier in engem Zusammenhang stehen. Beim Vollblutpferd konnte ebenso eine Verbindung zwischen Rasse und der trainingsabhängigen Herzfrequenz nachgewiesen werden.

Vor allen Dingen durch die hohe Anzahl der untersuchten Pferde nehmen die einflussnehmenden Faktoren zu und sind nur schwer verifizierbar, da für die hier angestrebten Fragestellungen eigentlich kein adäquates mathematisches Modell vorliegt. Die in der vorliegenden Studie erwähnten bzw. bei den Untersuchungen notierten Faktoren sind vermutlich einige neben vielen sich zusätzlich auswirkenden Parametern. Dies erklärt auch, dass die statistisch berechneten signifikanten Unterschiede der Untersuchungsergebnisse vor diesem Hintergrund bewertet werden müssen, so dass nicht jede Signifikanz als klinisch relevant angesehen werden darf. Die Tatsache, dass nicht alle Faktoren bei den Untersuchungsgruppen wie beispielsweise das Geschlecht zu signifikant veränderten Ruhewerten oder die Umgebungstemperaturen beim Islandpferd und Warmblutpferd zu unterschiedlichen signifikanten Unterschieden geführt haben, veranschaulicht dies.

Abschließend soll betont werden, dass die Kenntnis des Wertebereichs der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur unabdingbar ist, der Untersucher aber bei der Interpretation der Untersuchungswerte seines Patienten verschiedenste Faktoren berücksichtigen und mögliche einflussnehmende Faktoren im Einzelfall evaluieren sollte. Demnach haben die in der Tabelle 1 aufgelisteten Referenzwerte unterschiedlicher Literatur ihre Berechtigung. Jedoch sollte trotzdem ein fester Referenzwertbereich für die Ruhewerte der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur gestellt werden. Bei Abweichungen kann und muss der Untersucher dann entscheiden, ob diese auf entsprechende Einflussfaktoren zurückzuführen oder krankhafter Ursache sind.

Die empfohlenen Referenzwerte, die in Tab. 17 aufgeführt sind, sollten zukünftig Anwendung finden und stimmen teilweise mit den Werten, wie sie GLITZ und DEEGEN (2010) angeben, überein. Zusätzlich sollte die Atemfrequenz der Islandpferde nach oben korrigiert werden (16-26 Züge pro Minute), da diese Studie neben denen von STORZ (1962) und HAUOLD (2006) eine rasseabhängige erhöhte Atemfrequenz bestätigt. Die Pulsfrequenz des Vollblutpferdes sollte im Zusammenhang mit dem Trainingszustand gewertet werden, da trainierte Vollblüter niedrigere Pulsfrequenzen als nicht gearbeitete Vollblutpferde aufweisen. Der im Rahmen der vorliegenden Studie erfasste Wertebereich der inneren Körpertemperatur von 37,1-37,8 °C entspricht einem engeren Bereich als in der Literatur beschrieben. Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass eine geringgradig höher gemessene innere Körpertemperatur nicht zwingend Fieber sein muss und ebenfalls einer Evaluierung des Untersuchers bedarf.

In der folgenden Tabelle sind die Untersuchungsergebnisse verschiedener Rassen aufgeführt als Empfehlung eines zukünftigen Referenzwertebereiches für die Atem- und Pulsfrequenz sowie die innere Körpertemperatur in Ruhe.

Tab. 17: Empfehlung für Referenzwerte der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur

	Isländer (n=123)	Vollblüter (n=133)		Warmblüter (n=258)
Atemfrequenz [AF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	16-26	11-19		12-18
Pulsfrequenz [PF] ($\bar{x} \pm s$) / Min	35-43	trainiert	untrainiert	34-42
		32-40	43-48	
Innere Körpertemperatur [IKT] ($\bar{x} \pm s$) °C	37,1-37,7	37,2-37,8		37,2-37,8

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie hatte zum Ziel, einheitliche Referenzwerte hinsichtlich der Atem- und Pulsfrequenz sowie der inneren Körpertemperatur beim Pferd zu erstellen, da bis heute in der einschlägigen pferdemedizinischen Literatur erstaunlicherweise abweichende Angaben zu finden sind und bislang keine Reihenuntersuchungen an großen Pferdezahlen unterschiedlicher Rasse unter verschiedenen Einflussfaktoren durchgeführt wurden. Die Vitalparameter werden im Rahmen der allgemeinen klinischen Untersuchung erhoben. Um repräsentative Werte zu erhalten, wurde eine große Anzahl Pferde (n=514) der Rassen Islandpferd, Englisches Vollblut und Warmblut gewählt, da vor allem Islandpferde in der Vergangenheit häufig durch erhöhte Atemfrequenzen (STORZ, 1962; HAUBOLD, 2006) und Vollblüter durch niedrigere Pulsfrequenzen aufgefallen waren (PHYSICK-SHEARD, 1985; CIKRYTOVA, 1991). Die Probanden unterschieden sich hinsichtlich des Geschlechts, Alters, Trainingstyps bzw. Nutzungsart und der Haltungsart. Außerdem wurden die Untersuchungen bei verschiedenen Umgebungstemperaturen durchgeführt. Auf diese Art und Weise sollten einflussnehmende Faktoren auf die genannten Vitalparameter und somit dessen Abweichungen evaluiert werden.

Es wurden von Juli bis Dezember 2010 bei Außentemperaturen zwischen 33 °C und -6 °C 915 Allgemeinuntersuchungen an vier verschiedenen Terminen bei 514 Pferden durchgeführt. Unter den Pferden waren 123 Islandpferde, 133 Englische Vollblüter und 258 Warmblutpferde. Durch einfaches Auszählen der Atemzüge und der Pulsschläge im Bereich der Inc. vasorum facialium sowie durch die rektale Messung der inneren Körpertemperatur wurden die Ruhewerte ermittelt. Zusätzlich wurden die Probanden allgemein klinisch untersucht und Lunge und Herz von beiden Seiten auskultiert. Aus den jeweils über 60 sek gezählten Atem- und Pulsfrequenzen und den Werten der gemessenen inneren Körpertemperatur wurden Mittelwerte und Standardabweichung berechnet. Bezüglich der verschiedenen möglicherweise beeinflussenden Faktoren wurden die Ergebnisse auf signifikante Unterschiede überprüft.

Im Mittel zeigten die Islandpferde eine Atemfrequenz von 21 ± 5 Zügen pro Minute, eine Pulsfrequenz von 39 ± 4 Schlägen pro Minute und eine innere Körpertemperatur von $37,4 \pm 0,3$ °C.

Englische Vollblutpferde wiesen eine Atemfrequenz von 15 ± 4 Zügen pro Minute auf, eine Pulsfrequenz von 39 ± 6 Schlägen pro Minute und eine innere Körpertemperatur von $37,5 \pm 0,3$ °C.

Die Warmblutpferde fielen auf mit einer Atemfrequenz von 15 ± 3 Zügen pro Minute, einer Pulsfrequenz von 38 ± 4 Schlägen pro Minute und einer inneren Körpertemperatur von $37,5 \pm 0,3$ °C.

Bei den Islandpferden war die Atemfrequenz abhängig von den Außentemperaturen. Es ergaben sich außerdem signifikante Unterschiede hinsichtlich der Atemfrequenz im Vergleich mit den Warm- und Vollblütern. Auch bei Warmblutpferden war die Atemfrequenz abhängig von den Außentemperaturen. Weitere Abweichungen wiesen die Vollblutpferde unterschiedlichen Trainingstyps auf. Schwer gearbeitete Rennpferde zeigten dabei signifikant niedrigere Pulsfrequenzen als die in der Zucht eingesetzten Pferde bzw. nicht gearbeiteten Pferde.

Die vorliegende Studie bestätigt die Annahme von STORZ (1962) und HAUBOLD (2006), dass Islandpferde höhere Atemfrequenzen aufweisen und dies als rassespezifisches Merkmal angenommen werden muss. Vollblüter weisen hinsichtlich des Trainingszustandes niedrigere Herzfrequenzen auf als andere Pferderassen gleicher Nutzungsart, so dass dies ebenfalls als rassespezifisches Merkmal angesehen werden kann, das jedoch abhängig vom Trainingszustand des Pferdes ist. Zunehmende Außentemperaturen können zu erhöhten Atemfrequenzen als thermoregulatorischer Mechanismus führen. Im Freien gehaltene Pferde können ebenfalls erhöhte Atem- und Pulsfrequenzen aufweisen, vermutlich bedingt durch Umwelteinflüsse. Es wird somit deutlich, dass nicht ein Parameter allein eine beeinflussende Größe darstellt, sondern mehrere Einflussfaktoren berücksichtigt werden müssen.

Anhand der vorliegenden Untersuchungen können folgende Referenzbereiche für die Atem- und Pulsfrequenz sowie für die innere Körpertemperatur in Ruhe angegeben werden:

- Atemfrequenz (Züge pro Minute): 11-19; Ausnahme Islandpferd: 16-26
- Pulsfrequenz (Schläge pro Minute): 33-45
- Innere Körpertemperatur (°C): 37,1-37,8

7 Summary

This thesis aimed at defining standardized reference values for respiration rate, pulse rate and inner body temperature of horses due to the fact that until today in veterinary literature for horses very varying parameter ranges can be found. Applied parameters have been collected in general physical examination. To gain representative values, a large number of horses ($n=514$) of the races Iceland horse, English thoroughbred horse and warmbloods have been selected. Especially Iceland horses attracted attention in the past due to higher respiration rates (STORZ, 1962; HAUBOLD, 2006) and thoroughbred horse due to lower pulse rates (PHYSICK-SHEARD, 1985; CIKRYTOVA, 1991). The subjects differed in terms of gender, age, training status or type of use and type of housing. In addition to that, examinations have been done within differing ambient temperatures. This facilitates to evaluate the impact of these influencing factors on the stated vital parameters and their deviation.

This thesis is based on 915 general examinations at 514 horses which have been conducted on four dedicated dates between July and December 2010. On the four dedicated dates the ambient temperature varied between $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $33\text{ }^{\circ}\text{C}$. The 514 horses consisted of 123 Iceland horses, 133 English thoroughbred horse and 258 warmblood horses. The vital parameters have been determined by counting breath and pulse in the area *Inc. vasorum facialium* as well as rectally measuring the inner body temperature. This was followed by a general physical examination including the auscultation of lung and heart from both sides of the body. Based on the determined values the arithmetic average as well as the standard deviation could be calculated. To take the varying influencing factors into account all values have been evaluated in regards of significant differences.

In an average all Iceland horses had a respiration rate of 21 ± 5 per minute, a pulse rate of 39 ± 4 per minute and an inner body temperature of $37,4\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. The English thoroughbred horse had a respiration rate of 15 ± 4 per minute, a pulse rate of 39 ± 6 per minute and an inner body temperature of $37,5\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. The warmblood horses showed an average respiration rate of 15 ± 3 per minute, a pulse rate of 38 ± 4 per minute and an inner body temperature of $37,5\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

The Iceland horses showed an increased respiration rate depending on the ambient temperature. Significant differences regarding the respiration rate could also be identified compared to thoroughbred and warmblood horses. Warmblood horses showed differences concerning the respiration rate due to differing ambient temperatures. Thoroughbred horses revealed meanderings within training types. Strong working running horses had significantly lower pulse rates than breeding or non working horses.

This thesis supports the assumption by STORZ (1962) and HAUBOLD (2006) that Iceland horses show higher respiration rates and this has to be considered as a race specific attribute. Thoroughbred horses show, compared to other races of same type of use, lower pulse rates regarding the training type which as well can be considered as a race specific attribute. Increasing ambient temperatures can lead to higher respiration rates due to thermo regulatory mechanisms. Horses kept outside often show increased respiration and pulse rates because they are stronger influenced by ecological factors. Therefore it has to be stated that not one single parameter can be identified as influencing source but always a combination has to be considered which makes it difficult for the examiner.

Concluding it should be emphasized that the differing reference parameters for respiration rate, pulse rate and inner body temperature described in veterinary literature for horses can be explained by hardly accountable influencing factors. Every examiner has to be aware of the result that he or she has to evaluate values based on the examination and interpret these in the correct manner - if a deviation from reference parameters is abnormal or just based on current influencing factors. The respiration rate during calmness should be correctively increased based on the results in this thesis.

In the following standardized reference values for respiration rate, heart rate and the inner body temperature are listed:

- respiration rate (per minute): 11-19; excluded Iceland horses 16-26
- heart rate (per minute): 33-45
- inner body temperature (°C): 37,1-37,8

8 Literaturverzeichnis

ART, T., LEKEUX, P. 1988. Respiratory airflow patterns in ponies at rest and during exercise. *Can. J. Vet. Res.*, 52, 299-303

ART, T., LEKEUX, P. 1993. Training-induced modification in cardiorespiratory and ventilatory measurements in thoroughbred horses. *Equine vet. J. Suppl.*, 25, 532-536

ASKIN, F. B., KUHN, C. 1971. The cellular origin of pulmonary surfactant. *Lab. Invest.*, 25, 260-268

BARNERS, P. J. 1986. Neural control of human airways in health and disease. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 134, 1289

BAUMGARTNER, W. 2009. Vorwort zur ersten Auflage. In: BAUMGARTNER, W. *Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere*. Stuttgart: Parey

BAUMGARTNER, W. 2009. Vorwort zur sechsten Auflage. In: BAUMGARTNER, W. *Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere*. Stuttgart: Parey

BAUMGARTNER, W. 2009. Innere Körpertemperatur. In: BAUMGARTNER, W. *Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere*. Stuttgart: Parey, 68-72

BAUMGARTNER, W. 2009. Untersuchung von Schleimhäuten - Allgemeines. In: BAUMGARTNER, W. *Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere*. Stuttgart: Parey, 73-75

BAUMGARTNER, W. 2009. Obere Halsgegend, Kehlkopf, Husten. In: BAUMGARTNER, W. *Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere*. Stuttgart: Parey, 91-97

BAUMGARTNER, W. 2009. Puls, peripherer Kreislauf. In: BAUMGARTNER, W. *Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere*. Stuttgart: Parey, 108-113

- BAUMGARTNER, W. 2009. Atmung. In: BAUMGARTNER, W. *Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere*. Stuttgart: Parey, 114-119
- BAUMGARTNER, W. 2009. Auskultation der Lunge. In: BAUMGARTNER, W. *Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere*. Stuttgart: Parey, 131-135
- BAUMGARTNER, W. 2009. Auskultation des Herzens. In: BAUMGARTNER, W. *Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere*. Stuttgart: Parey, 136-142
- BAYER, A. 1968. Das Verhalten der Herzschlagfrequenz von Trabrennpferden im Training und beim Rennen. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.*, 1, 8-11
- BAYLY, W. M., GABEL, A. A., BARR, S. A. 1983. Cardiovascular effects of submaximal aerobic training on a treadmill in standardbred horses, using a standardized exercise test. *Am. J. Vet. Res.*, 44, 544-553
- BETROS, C. L., McKEEVER, K. H., KEARNS, C. F., MALINOWSKI, K. 2002. Effects of ageing and training on maximal heart rate and VO_2 max. *Equine vet. J. Suppl.*, 34, 100-105
- BOOS, I., PLOCKI, K. A. V., HERMANN, M., LAUK, H. D. 1991. Einfluss eines Windsimulators auf die in standardisierten Leistungstests ermittelte aktuelle Leistungsfähigkeit von Pferden. *Pferdeheilkunde*, 7, 347-354
- BRÜNS, C. 2001. Diagnose und Therapieverlauf des equinen Cushing-Syndroms – Rolle des endogenen ACTH –. *Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.*
- CAMPBELL, N. A., REECE, J. B. 2003. Kreislauf und Gasaustausch. In: CAMPBELL, N. A., REECE, J. B. *Biologie*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 1045-1080
- CAMPBELL, N. A., REECE, J. B. 2003. Die Kontrolle des inneren Milieus. In: CAMPBELL, N. A., REECE, J. B. *Biologie*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 1111-1124
- CIKRYTOVA, E., KOSTELECKA, B., KOVAR, J., HORÁK, S., HANÁK, J. 1991. Standardized exercise test on a track to evaluate exercise capacity in different breeds of horses. *Equine Exercise Physiology*, 3, 37-40

- COUROUCE, A., GEOFFRY, O., CHATARD, J. L., AUVINET, B. 1996. Significance of high heart rate recorded during standardized field exercise tests in detection of orthopaedic diseases in standardbred horses. *Pferdeheilkunde*, 12, 588-593
- DEEGEN, E., ZICHNER, M. 1970. zur klinischen Diagnostik chronischer Lungenerkrankungen des Pferdes. *Dtsch. tierärztl. Wschr.*, 77, 616-621
- DEEGEN, E., GLITZ, F. 2010. Untersuchung von Trachea und tiefen Atemwegen. In: WISSDORF, H., GERHARDS, H., HUSKAMP, B., DEEGEN, E. *Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes*. Hannover: Schaper, 866-869
- DIETZ, O. 2006. Schädigung durch physikalische und chemische Noxen. In: DIETZ, O., HUSKAMP, B. *Handbuch Pferdepraxis*. Stuttgart: Enke, 189-194
- DIETZ, O., FEY, K., VERTER, W. 2006. Krankheiten des Herz-Kreislauf-Systems. In: DIETZ, O., HUSKAMP, B. *Handbuch Pferdepraxis*. Stuttgart: Enke, 250-272
- DOWLING, B. A., HODGSON, D. R., ROSE, R. J. 2000. Respiratory system. In: ROSE, R. J., HODGSON, D. R. *Manual of equine practice*. Pennsylvania: Saunders Company, 187-236
- DU PREL, J.-B., HOMMEL, G., RÖHRIG, B., BLETTNER, M. 2009. Konfidenzintervall oder p-Wert. *Deutsche Ärztebl.*, 106 (19), 335-9
- DUŠÉK, J. 1967. Körpertemperatur, Puls- und Atemfrequenz bei jungen Kladruber-Pferden. *Wien. Tierärztl. Mschr.*, 5, 308-314
- EDWARDS, E. H. 1997. Die Rassen. In: *Mein grosses Pferdebuch*. Augsburg: Bechtermünz Verlag, 28-191
- EDWARDS, M. A., SAVAGE, C. J. 1999. Cardiology. In: SAVAGE, C. J. *Equine medicine secrets*. Philadelphia: Hanley & Belfus, 89
- EHRLEIN, H.-J., ENGELHARDT, W. v., HÖRNICKE, H., TOLKMITT, G., DUŠÉK, J. 1969. Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Herzschlagfrequenz und Leistung bei Pferden. *Zbl. Vet. Med.*, 17, 577-591

- EHRLEIN, H. J., ENGELHARDT, W. v., HÖRNICKE, H. 1970. Registrierung der Herzschlagfrequenz von Sportpferden während standardisierter Belastung. *Zbl. Vet. Med. A*, 17, 91-96
- EHRLEIN, H.-J., HÖRNICKE, H., ENGELHARDT, W. v., TOLKMITT, G. 1973. Die Herzschlagfrequenz während standardisierter Belastung als Maß für die Leistungsfähigkeit von Pferden. *Zbl. Vet. Med. A*, 20, 188-208
- ENGELHARDT, W. v. 1977. Cardiovascular effects of exercise and training in horses. *Adv. Vet. Sci. Comp. Med.*, 21, 173-205
- ENGELHARDT, W. v. 1992. Körperliche Leistungsfähigkeit – ein Vergleich zwischen Pferden und Menschen. *Dtsch. tierärztl. Wschr.*, 99, 24-26
- ENGELHARDT, W. v. 2009. Arbeitsphysiologie unter besonderer Berücksichtigung des Pferdeleistungssports. In: ENGELHARDT, W. v., BREVES, G. *Physiologie der Haustiere*. Stuttgart: Enke, 461-469
- EVANS, D. L. 1985. Cardiovascular adaption to exercise and training. *Vet. Clin. North Am.*, 1, 513-531
- FEY, K., VERTER, W. 2006. Krankheiten der Atmungsorgane. Untersuchungsmethoden. In: DIETZ, O., HUSKAMP, B. *Handbuch Pferdepraxis*. Stuttgart: Enke, 296-306
- FOREMAN, J. H., BAYLY, W. M., GRANT, B. D., GOLLNICK, P. D.: 1990. Standardized exercise test and daily heart rate responses of thoroughbreds undergoing conventional race training and detraining. *Am. J. Vet. Res*, 51, 914-920
- FREGIN, G. F. 1992. Medical evaluation of the cardiovascular system. *Vet. Clin. N. Am.*, 8, 29-346
- FRÍMANNSSON, M., KOEPPEN, D., KÜCK, J. P. 1995. Das Islandpferd. In: *Island – Ein Land mit vielen Möglichkeiten*. Reykjavík: Gott mál, 71-72
- GALLIVAN, G. J., McDONELL, W. N., FORREST, J. B. 1989. Comparative pulmonary mechanics in the horse and the cow. *Res. Vet. Sci.*, 46, 322-330

- GEHLEN, H., HAUBOLD, A., ROHN, K., STADLER, P. 2008. Auswirkungen subklinischer Lungenbefunde auf kardiale Parameter bei Islandpferden. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.*, 121, 137-144
- GERBER, V., GERBER, H., STRAUB, R. 2008. Allgemeines Äußeres und Vitalparameter. In: *Untersuchungsmethoden beim Pferd*. Stuttgart: Eugen Ulmer, 23
- GILLESPIE, J. R., TYLER, W. S., EBERLY, V. E. 1966. Pulmonary ventilation and resistance in emphysematous and control horses. *J. Apply. Physiol.*, 21, 416-422
- GLITZ, F., DEEGEN, E. 2010. Allgemeine Untersuchung. In: WISSDORF, H., GERHARDS, H., HUSKAMP, B., DEEGEN, E. *Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes*. Hannover: Schaper, 856-859
- GROS, G. 2009. Atmung. In: ENGELHARDT, W. v., BREVES, G. *Physiologie der Haustiere*. Stuttgart: Enke, 230-267
- GUTTMANN, U. 1961. Englische Vollblüter. In: GUTTMANN, U. *Schöne Pferde*. Rüslikon-Zürich: Albert Müller Verlag, 60-64
- GUTTMANN, U. 1961. Deutsche Warmblutpferde. In: GUTTMANN, U. *Schöne Pferde*. Rüslikon-Zürich: Albert Müller Verlag, 100-115
- GUYTON, A. C., MOFFAT, D. S. 1981. Role of surface tension and surfactant in the transepithelial movement of fluid and in the development of pulmonary edema. *Prog. Respir. Res.*, 15, 62-74
- GYSIN, J., ISLER, R., STRAUB, R. 1987. Beurteilung der Leistungskapazität und Festlegung der Trainingsintensität bei Sportpferden mittels Pulsfrequenzaufzeichnungen und Plasmalaktatbestimmungen. *Pferdeheilkunde*, 3, 193-200
- HALTMEYER, E. 2008. Das Atemmuster von Pferden im Stehen und in Rückenlage. *Wien, Vet. Med. Univ., Dipl.*
- HARBIG, S. 2006. Leistungsmonitoring von Hochleistungsvielseitigkeitspferden in Wettkampf und Training: Untersuchungen zur Herzfrequenz. *Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.*

- HARDY, J. D. 1961. Physiology of temperature regulation. *Physiol. Rev.*, 41, 521
- HARKINS, J. D., KAMERLING, S. G., BAGWELL, C. A., KARNS, P. A. 1990. A comparative study of interval and conventional training in thoroughbred racehorses. *Equine vet. J. Suppl.*, 9, 14-19
- HARKINS, J. D., KAMERLING, S. G. 1991. Assessment of treadmill interval training on fitness. *Equine Sportmedicine*, 237-242
- HARMEYER, J. 2009. Herz. In: ENGELHARDT, W. v., BREVES, G. *Physiologie der Haustiere*. Stuttgart: Enke, 137-170
- HAUBOLD, A. 2006. Normwerterhebung echokardiographischer Parameter bei herzgesunden Islandpferden. *Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.*
- HAYES, K. E. N. 2003. Normale Puls-, Atmungs- und Temperaturwerte und andere wichtige Daten. In: *Kursbuch Pferdekrankheiten*. München: BLV Verlagsgesellschaft, 197-202
- HEMINGWAY, A. 1963. Shivering. *Physiol. Rev.*, 43, 397
- HENSEL, H. 1952. Physiologie der Thermoregulation. *Ergebn. Physiol.*, 47, 166
- HERHOLZ, C., WEISHAUPT, M., LAUK, H., STRAUB, R., LEADON, D. 1994. Beeinflussung der Leistung im submaximalen Belastungsbereich durch den Gesundheitszustand der Lunge beim Pferd. *Pferdeheilkunde*, 10, 419-422
- HOPPELER, H. 1990. What makes horses superior athletes? In: KALLINGS, P. *Proceedings of the international conference on equine sports medicine*. 7-13
- ISLANPFERDE - REITER - und ZÜCHTERVERBAND IPZV e. V. (2011). Islandpferde. www.ipzv.de
- ISLER, R., STRAUB, R., APPENZELLER, Th., GYSIN, J. 1982. Beurteilung der aktuellen Leistungsfähigkeit zur Festlegung der optimalen Belastungsintensität für Intervalltraining bei Warmblutpferden. *Schweiz. Arch. Tierheilk.*, 123, 603-612
- JAEK, F. 2004. Leistungsmonitoring von Hochleistungsvielseitigkeitspferden im Wettkampf und Training: Untersuchungen zum Blutlaktat. *Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.*

- JANSSON, A., NYMAN, S., LINDHOLM, A., LINDBERG, J.E. 2002. Effects on exercise metabolism of varying dietary starch and sugar proportions. *Equine vet. J. Suppl.*, 34, 17-21
- JESSEN, C. 2009. Wärmebilanz und Temperaturregulation. In: ENGELHARDT, W. v., BREVES, G. *Physiologie der Haustiere*. Stuttgart: Enke, 446-460
- JESTY, S. A., REEF, V. B. 2010. Cardiovascular System. In: REED, S., BAYLY, W., SELTON, D. *Equine Internal Medicine*. St. Louis: Saunders
- JONES, W. E. 1984. Equine exercise physiology: a rejuvenated discipline. *Vet. Med.*, 1067-1069
- KAEMMERER, H. 1983. Die Auskultation des Herzens beim Pferd (Wertung und Beschreibung eines neuen Stethoskopes). *Dtsch. tierärztl. Wschr.*, 90, 521-523
- KAUP, F.-J., DROMMER, W. 1985. Das Surfactantsystem der Lunge. Teil I: Morphologie, Zusammensetzung und Funktion des Surfactantsystems bei Mensch und Tier – eigene Befunde und Literaturübersicht. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.*, 98, 73-80
- KING, C. M., EVANS, D. L., ROSE, R. J. 2006. Acclimation to treadmill exercise. *Equine vet. J., Suppl.*, 18, 453-456
- KITZING, J., KUTTA, D., BLEICHERT, A. 1968. Temperaturregulation bei lang andauernder schwerer körperlicher Arbeit. *Pflügers Archiv*, 301, 241-253
- KOTERBA, A. M., KOSCH, P. C., BEECH, J., WHITLOCK, T. 1988. Breathing strategy of the adult horse (*Equus caballus*) at rest. *J. Appl. Physiol.*, 64, 337-346
- KRIZ, N. G., ROSE, R. J., HODGSON, D. R. 2000. Cardiovascular system. In: ROSE, R. J., HODGSON, D. R. *Manual of equine practice*. Pennsylvania: Saunders Company, 237-272
- KRZYWANEK, H. 2006. Leistungsphysiologie. In: DIETZ, O., HUSKAMP, B. *Handbuch Pferdepraxis*. Stuttgart: Enke, 34-59
- KÖNIG, H. E., RUBERTE, J., LIEBICH, H.-G. 2008. Atmungsapparat (Apparatus respiratorius). In: KÖNIG, H. E., LIEBICH, H.-G. *Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis*. Stuttgart: Schattauer, 367-388

- KÖNIG, H. E., RUBERTE, J., LIEBICH, H.-G. 2008. Organe des Herz - Kreislauf - Systems (Systema cardiovasculare). In: KÖNIG, H. E., LIEBICH, H.-G. *Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis*. Stuttgart: Schattauer, 439-470
- LINDNER, A., SOBOTTA, M., SASSE, H. H. L. 2001. Genauigkeit der Steuerung der Laktatkonzentration im Blut von Pferden nach Belastungen mit Geschwindigkeiten, die durch Ergebnisse eines Belastungstests vorgegeben waren. Teil 2: Beziehung zwischen Herzfrequenz während Belastung und Laktatkonzentration im Blut nach Belastung. *Pferdeheilkunde*, 17, 241-246
- LITTLEJOHN, A., BOWLES, F., ASCHENBOM, G. 1982. Cardiorespiratory adaptations to exercise in riding horses with chronic lung disease. *Equine exercise physiology, Granta editions, Cambridge*, 33-35
- LORENZ, V. V., DEEGEN, E., KLEIN, H.-J. 1987. Einfluss von körperlicher Belastung auf die Lungenfunktion beim Pferd. *Dtsch. tierärztl. Wschr.*, 94, 165-168
- LOVING, N. S. 1993. Veterinary manual for the performance horse. *Equine Research, Inc., Texas*
- MAGNÚSSON, S. A., ISENBÜGEL, E. 1993. *Islandpferde*. München: BLV-Verlag
- MARLIN, D. J., NANKERVIS, K. 2002. Cardiovascular responses. In: *Equine exercise physiology*. Oxford: Blackwell Science Ltd., 113-126
- McKEEVER, K. H., MALINOWSKI, K. 1997. Exercise capacity in young and old mares. *Am. J. vet. Res.*, 58, 1468-1472
- McKEEVER, K. H., EATON, T. L., GEISER, S., KEARNS, C. F., LEHNHARD, R. A. 2010. Age relates decreases in thermoregulation and cardiovascular function in horses. *Equine vet. J.*, 42, 220-227
- MEYER, H., COENEN, M. 2002. Das Pferd in Zahlen. In: *Pferdefütterung*. Stuttgart: Parey, 7-12
- NIELSEN, M. 1938. Die Regulation der Körpertemperatur bei Muskelarbeit. *Scand. Arch. Physiol.*, 79, 193

- OHMURA, H., HIRAGA, A., MATSUI, A., AIDA, H., INOUE, Y., SAKAMOTO, K., TOMITA, M., ASAI, Y. 2002. Short communication. Changes in running velocity at heart rate 200 beats/min (V_{200}) in young thoroughbred horses undergoing conventional endurance training. *Equine vet. J.*, 34, 634-635
- OTTO, B., VERSPOHL, J., WISSDORF, H. 2010. Brusthöhle mit Inhalt. In: WISSDORF, H., GERHARDS, H., HUSKAMP, B., DEEGEN, E. *Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes*. Hannover: Schaper, 645-672
- PERSSON, S. G. B. 1967. On blood volume and working capacity in horses. *Acta Vet. Scand. Suppl.*, 19, 180-189
- PERSSON, S. G. B. 1983. Analysis of fitness and state of training. Evaluation of exercise tolerance and fitness in the performance horse. In: SNOW, D. H., PERSSON, S. G. B., ROSE, R. J. *Equine exercise physiology 1*. Cambridge: Granta Editions, 441-457
- PHYSICK-SHEARD, P. W. 1985. Cardiovascular response to exercise and training in the horse. *Vet. Clin. North Am. Equine Practise*, 1, 383-417
- REEF, V. B., Spencer, P. 1987. Echocardiographic evaluation of equine aortic insufficiency. *Am. J. Vet. Res.*, 48, 904-909
- REEF, V. B. 1995. Heart murmurs in horses: determining their significance with echocardiography. *Equine vet. J., Suppl.*, 19, 71-81
- REEF, V. B. 2007. Herz-Kreislauf-System. In: ORSINI, J. A., DIVERS, T. J. *Leitfaden Pferdepraxis und Notfallmedizin*. München, Elsevier, 163
- REIMER, J. 1993. Performing cardiac auscultation on horses. *Vet. Med.*, 88, 660-664
- REINHOLD, P. 1997. Atmungsmechanik beim Tier. 1. Mitteilung: Physiologische Grundlagen und konventionelle Untersuchungsmethoden – Übersichtsarbeit. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.*, 110, 251-256
- ROBINSON, N. E. 2006. How horses breathe: the respiratory muscles and the airways. In: MCGORUM, B. C., ROBINSON, N. E., SCHUHMACHER, J., DIXON, P. M. *Equine Respiratory Medicine and Surgery*. Saunders, 19-31

- ROSE, R. J., KING, C. M., EVANS, D. L., TYLER, C. M., HODGSON, D. R. 1995. Indices of exercise capacity in horses presented for poor racing performance. *Equine vet. J., Suppl.*, 8, 418-421
- ROSE, R. J., HODGSON, D. R. 2000. Physical examination. *In: ROSE, R. J., HODGSON, D. R. Manual of equine practice.* Pennsylvania: Saunders Company, 1-24
- SAYER, A. 1984. *Pferde.* Klagenfurt: Neuer Kaiser Verlag
- SCHAER, B. D., ORSINI, J. A. 2010. Respiratory System. *In: REED, S., BAYLY, W., SELTON, D. Equine Internal Medicine.* St. Louis: Saunders
- SCHATZMANN, U. 1995. Der Respirationstrakt des Pferdes. *In: SCHATZMANN, U. Sedation und Anästhesie des Pferdes.* Berlin, Wien: Blackwell Wissenschafts - Verlag, 17
- SCHATZMANN, U. 1995. Das Kreislaufsystem des Pferdes. *In: SCHATZMANN, U. Sedation und Anästhesie des Pferdes.* Berlin, Wien: Blackwell Wissenschafts - Verlag, 31-33
- SCHATZMANN, U. 1995. Voruntersuchung – Präoperative Beurteilung. *In: SCHATZMANN, U. Sedation und Anästhesie des Pferdes.* Berlin, Wien: Blackwell Wissenschafts-Verlag, 51
- SCHEID, P. 2009. Atmung. *In: KLINKE, R., SILBERNAGL, S. Lehrbuch der Physiologie.* Stuttgart: Thieme, 217-272
- SCHERMELLEH-ENGEL, K., WERNER, CH. 2007. Univariate Mittelwertsvergleiche. *Computerunterstützte Einführung in multivariate statistische Analyseverfahren.* Frankfurt
- SCHRADER, J. 2009. Das Herz. *In: KLINKE, R., SILBERNAGL, S. Lehrbuch der Physiologie.* Stuttgart: Thieme, 109-144
- STADLER, P., DEEGEN, E., KROKER, K. 1994. Echokardiographie und Therapie beim Vorhofflimmern des Pferdes. *Dtsch. tierärztl. Wschr.*, 101, 190-194
- STASHAK, T. S. 2008. Lahmheitsdiagnostik. *In: STASHAK, T. S. Adam's Lahmheit bei Pferden.* Hannover: Shaper, 100-156

STORZ, H. 1962. Über ein Auftreten hochgradiger Atemnot bei Islandponys und ihre Beziehungen zur Dämpfbarkeit. Eine Untersuchung an Islandponys in Island. *München, Ludwig-Maximilians-Universität, Diss.*

STRAUB, R., ISLER, R., GYSIN, J. 1984. Parameter zur Beurteilung der Ausdauer des Pferdes. *Tierärztl. Prax.*, 12, 499-504

TAYLOR, F. G. R., HILLYER, M. H. 2004. Kardiovaskuläre Erkrankungen. In: TAYLOR, F. G. R., HILLYER, M. H. *Klinische Diagnostik in der Pferdepraxis*. Hannover: Schlütersche, 189-214

TAYLOR, F. G. R., HILLYER, M. H. 2004. Erkrankungen des Atmungstraktes. Untere Atemwege: Klinische Untersuchung. In: TAYLOR, F. G. R., HILLYER, M. H. *Klinische Diagnostik in der Pferdepraxis*. Hannover: Schlütersche, 245-256

THAUER, R. 1958. Probleme der Thermoregulation. *Klin. Wschr.*, 36, 989

THOMAS, D. P., FREGIN, G. F. 1981. Cardiorespiratory and metabolic response to treadmill exercise in the horse. *J. apply. Physiol.*, 50, 864-868

THOMAS, C., SCHMITZ-MOORMANN, P., BÜTTNER, R. 2003. Exogene Noxen. In: BÜTTNER, R., THOMAS, C. *Allgemeine Pathologie*. Stuttgart: Schattauer, 87-92

UHDE, A. M. 2009. Trainingsauswirkungen auf Parameter der Herzfrequenz bei Vielseitigkeitspferden im Leistungssport. *Gießen, Justus-Liebich-Universität, Diss.*

WAIBL, H. 2004. Atmungsapparat. In: NICKEL, R., SCHUMMER, A., SEIFERLE, E. *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band II Eingeweide*. Stuttgart: Parey, 223-307

WEBB, A. I., WEAVER, B. M. Q. 1979. Body composition of the horse. *Equine vet. J. Suppl.*, 11, 39-47

WEISS, E., RUDOLPH, R. 2007. Atmungsorgane. In: DAHME, E., WEISS, E. *Grundriss der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere*. Stuttgart: Enke, 70-113

WEYRAUCH, K. D., SMOLLICH, A. 1998. Atmungssystem. *In: WEYRAUCH, K. D., SMOLLICH, A. Histologie-Kurs für Veterinärmediziner.* Stuttgart: Enke, 88-92

YOUNG, L. E. 2005. The effect of athletic training on the equine heart. *In: Proceedings of the 9th Geneva Congress of Equine Medicine and Surgery,* Geneva, 104-105

9 Anhang

9.1 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau PD Dr. Bettina Wollanke für die Überlassung des Themas und das Vertrauen in mich und diese Arbeit sowie die freundliche Unterstützung und Beratung bei der Anfertigung.

Weiterhin danke ich dem Islandpferdegestüt Oedhof, dem Bayerischen Landesgestüt Schwaiganger, den Vollblutgestüten Isarland und Ammerland und dem Trainingstall Jutta Mayer München-Riem für die Bereitstellung der Pferde für die Erhebung der Daten.

Meiner guten Freundin Maria Stricker danke ich für die geduldige und umfangreiche Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten.

Ich bedanke mich bei meinem Bruder Dr. Stephan Ihmels und seiner Frau Anke Tauchert für die geduldige Hilfe in computertechnischen Belangen.

Ebenso gilt mein Dank meiner Reitkollegin Dr. Melanie Kimm für die kritische Durchsicht meines Manuskripts.

Meinen ehemaligen Studienkolleginnen Lina Wiehen und Martina Keller sowie Sabrina Krail danke ich für die praktische Unterstützung bei der umfangreichen Erhebung der Untersuchungsdaten, ohne die diese Arbeit nie hätte entstehen können.

Mein größter Dank gilt meiner lieben Mutter Angelika Ihmels-Meissner, die mich in jeder Phase dieser Arbeit seelisch unterstützt und aufgebaut hat und mir stets Vertrauen und bedingungslosen Rückhalt entgegen brachte.

Meinem Freund Arne Fiedler danke ich dafür, dass er immer bedingungslos an mich geglaubt und mich auf meinem Weg unterstützt hat.

Auch meiner Patentante Felicitas Juretschke möchte ich danken für die Unterstützung im Studium und meinem beruflichen Werdegang bis zum heutigen Tag.

Abschließend gilt mein großer Dank meinem Großvater Hans Meissner und meiner verstorbenen Großmutter Gisela Meissner, die immer an mich geglaubt haben und mir dieses Studium mit meinen Eltern ermöglicht haben.