

Methodischer Vergleich zur Erfassung von Verhaltensdaten beim Pferd unter besonderer Berücksichtigung einer hochpräzisen Echtzeitpositionserfassung

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines

Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

Kristin Schlender

Aus dem Institut für Tierzucht und Haustiergenetik

der Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuer: Prof. Dr. med. vet. Georg Erhardt

und

dem Institut für Betriebstechnik und Bauforschung

der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) Braunschweig

(jetzt Johann Heinrich von Thünen – Institut Braunschweig, vTI)

Betreuer: Prof. Dr. agr. habil. Franz-Josef Bockisch

Methodischer Vergleich zur Erfassung von Verhaltensdaten beim Pferd unter besonderer Berücksichtigung einer hochpräzisen Echtzeitpositionserfassung

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines

Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von

Kristin Schlender

Tierärztin aus Offenbach am Main

Gießen 2012

Mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. Martin Kramer

Gutachter:

Prof. Dr. med. vet. G. Erhardt

Prof. Dr. agr. habil. F.-J. Bockisch

Tag der Disputation: 26.06.2012

VORWORT

Die Pferdehaltung hat in Deutschland in den letzten Jahren stark an Bedeutung zugenommen. So ist die Zahl der Pferde seit Anfang der 1990er Jahre von rund 350000 auf derzeit etwa 1,2 Millionen angestiegen. Bis zu 90 % dieser Pferde werden für Freizeit- und (Freizeit)Sportzwecke genutzt. 80 bis 90 % der Tiere werden allerdings in Varianten von Einzelboxensystemen – meistens ohne Auslauf – gehalten; das bedeutet, dass viele dieser Pferde nicht genügend Bewegungsmöglichkeiten haben; zudem werden sie häufig nicht täglich durch genügend „Arbeit“ gefordert, wie es z. B. früher bei Arbeitspferden der Fall war. Daher sollte es ein Ziel sein, Haltungssysteme für Pferde so zu gestalten, dass innerhalb des Systems möglichst viele Bewegungsmöglichkeiten bestehen bzw. induziert werden. Dafür sind jedoch detaillierte Datengrundlagen – am besten in Echtzeit - über das Bewegungsverhalten und speziell über zurückgelegte Wegstrecken notwendig, um verschiedenste Detailvarianten von innovativen Haltungssystemen bezüglich der genannten Kriterien beurteilen zu können. Diese Informationen sind dann Grundlage für die Weiterentwicklung und Verbesserung von Haltungssystemen.

Im Methodenvergleich dieser Arbeit ist insbesondere die online-3-D-Funkortung neu. Die weiteren Beobachtungs- und Erfassungsmethoden im Methodenvergleich sind die Direktbeobachtung, die Videoerfassung und –analyse, Aktivitätssensoren (Pedometer) sowie die GPS-Technik. Gerade dieser umfassende Vergleich bringt sehr viele neue Kenntnisse zur Einordnung, den Einsatzbereichen, der Genauigkeit und der Verlässlichkeit von Erfassungsmethoden.

Durch diesen vielfältigen, anwendungsorientierten Methodenvergleich, mit einem besonderen Fokus auf die online-Erfassung von Wegstrecken und Verhaltensdaten, hat Frau Kristin SCHLENDER einen grundlegenden Beitrag zur Weiterentwicklung von online-3-D-Erfassungsmethoden erarbeitet. Zudem wurden beispielhaft eine Reihe quantitativer Verhaltensdaten von Pferden in Gruppenhaltung untersucht und mit Literaturwerten verglichen, wobei besonders die Daten zu zurückgelegten Wegstrecken von Pferden hervorzuheben sind. Diese neuen Erkenntnisse wurden erreicht, da sich Frau SCHLENDER in der vorliegenden Dissertationsschrift damit komplex und intensiv beschäftigt hat. Die Versuche wurden am Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL, Braunschweig (jetzt vTI), konzipiert, durchgeführt und ausgewertet; für den praktischen Teil stand dafür die Versuchsanlage für Pferdehaltungsversuche zur Verfügung, in der in der Regel 12 Hannoveraner Warmblutstuten in verschiedenen Haltungssystemen gleichzeitig gehalten wurden.

Mit dieser Arbeit hat Frau SCHLENDER einen wichtigen Beitrag geleistet, um zukünftig Pferdehaltungssysteme mit Bewegungsmöglichkeiten zu verbessern. Viele der neuen Informationen können als Grundlage dienen, online-Erfassungssysteme zur 3-D-Positionserfassung von Pferden bzw. Nutztieren zu verbessern und weiter zu entwickeln. Dass dies erreicht werden konnte, ist auf das Engagement der Autorin bei der Realisierung dieser Arbeit zurück zu führen.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	PROBLEMSTELLUNG	1
1.2	ZIELSETZUNG.....	2
2	LITERATURÜBERSICHT	4
2.1	PFERDEHALTUNG	4
2.1.1	Ursprünglicher Lebensraum frei lebender Pferde.....	4
2.1.2	Pferdehaltungssysteme	5
2.1.3	Haltungsbedingte Erkrankungen und unerwünschte Verhaltensweisen	10
2.2	DAS VERHALTENSINVENTAR DER PFERDE	11
2.2.1	Natürliches Verhalten frei lebender Pferde.....	11
2.2.2	Nahrungsaufnahmeverhalten	12
2.2.3	Sozialverhalten	13
2.2.4	Komfortverhalten	13
2.2.5	Ruheverhalten.....	14
2.2.6	Bewegungsverhalten	15
2.3	GRUNDLAGEN DER POSITIONS- UND WEGSTRECKENBESTIMMUNG	17
2.3.1	Entfernungs- und Positionsbestimmung	17
2.3.2	Klassifizierung der Positionierungssysteme	20
2.4	ANWENDUNGSBEREICHE DER POSITIONIERUNG	22
2.5	OPTISCHE VERFAHREN	24
2.5.1	Visuelle Ortsbestimmung (Direktbeobachtung)	25
2.5.2	Erfassung per Videokamera und Videotracking.....	28
2.5.3	Photogrammetrie	29
2.5.4	Motografie.....	30
2.6	AKUSTISCHE VERFAHREN	31
2.6.1	Ultraschall-Systeme	31
2.7	ELEKTROMECHANISCHE VERFAHREN	33
2.7.1	Pedometer	34
2.7.2	Rescounter®	36

Inhaltsverzeichnis

2.7.3	Actiwatch® Activity Monitoring System	36
2.7.4	Heatwatch®	37
2.7.5	ETHOSYS®; VECTRONIC®	37
2.7.6	VIENNA®	38
2.7.7	APEC®	39
2.7.8	Sonstige sensorbasierte Systeme	39
2.8	ELEKTROMAGNETISCHE VERFAHREN.....	40
2.8.1	Grundlagen der Positionsbestimmung durch elektromagnetische Signale	41
2.8.2	Satellitennavigation	47
2.8.3	Netzwerkgestützte Positionsbestimmung	51
2.8.4	Infrarot-Systeme	53
2.8.5	Positionierung durch Magnetfelder	54
2.8.6	Identifizierung, Ortung und Positionierung mittels Funktechniken	54
2.9	SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DER LITERATURÜBERSICHT	57
3	MATERIAL UND METHODEN	59
3.1	VERSUCHSRAHMENBEDINGUNGEN	59
3.1.1	Versuchsstallanlage	59
3.1.2	Pferde	62
3.1.3	Fütterung und Einstreu	63
3.1.4	Stallmanagement und Tagesablauf.....	65
3.2	VERSUCHSZEITRAUM.....	66
3.3	VERSUCHSAUFBAU.....	66
3.3.1	Phase 1: Adaption- und Aufbauphase	67
3.3.2	Phase 2: Positionierungssimulationen	68
3.3.3	Phase 3: Methodenvergleiche	69
3.4	ERFASSUNGSMETHODEN	70
3.4.1	Methodenwahl.....	70
3.4.2	Direktbeobachtung	71
3.4.3	Videoanalyse.....	71
3.4.4	Pedometer	74
3.4.5	GPS	76
3.4.6	Funkortung	77
3.5	DATENVERARBEITUNG	82

Inhaltsverzeichnis

3.6	STATISTISCHE AUSWERTUNG.....	85
4	ERGEBNISSE	89
4.1	GEMESSENE BEWEGUNGSZUSTÄNDE	89
4.2	METHODENVERGLEICH DER BEWEGUNGSZUSTÄNDE	93
4.2.1	Bewegung.....	93
4.2.2	Stehen	96
4.2.3	Liegen.....	99
4.3	GEMESSENE AUFENTHALTSORTE	106
4.4	METHODENVERGLEICH DER AUFENTHALTSORTE	111
4.5	WEGSTRECKENBESTIMMUNG	123
4.6	METHODENVERGLEICH DER WEGSTRECKENBESTIMMUNG.....	129
5	DISKUSSION	135
5.1	DISKUSSION DES VERSUCHSAUFBAUS	135
5.1.1	Haltungssystem	135
5.1.2	Versuchspferde	136
5.1.3	Zeitraum/Datenmenge/Stichprobenumfang.....	137
5.2	DISKUSSION DER ANGEWENDETEN METHODEN	138
5.2.1	Anwendbarkeit der Systeme in Abhängigkeit örtlicher Gegebenheiten	138
5.2.2	Umsetzbarkeit im Tierbereich und Tiergerechtigkeit	144
5.2.3	Zeit- und Kostenaufwand	152
5.2.4	Messgenauigkeiten der einzelnen Systeme	155
5.2.5	Mögliche Fehlerquellen	159
5.2.6	Grafische Umsetzung der Funkortungsdaten	163
5.2.7	Methodenvergleich	169
5.3	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	171
5.3.1	Bewegungszustände.....	171
5.3.2	Aufenthaltsorte.....	175
5.3.3	Wegstreckenbestimmung.....	179
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK.....	184

Inhaltsverzeichnis

7	ZUSAMMENFASSUNG.....	187
8	SUMMARY	189
9	LITERATURVERZEICHNIS.....	191
I.	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	I
II.	TABELLENVERZEICHNIS.....	III
III.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	V
	DANKSAGUNG	XVI
	ERKLÄRUNG.....	XVII

1 EINLEITUNG

Die Pferdehaltung in Deutschland erfreut sich größter Beliebtheit, und die Zahl der gehaltenen Pferde steigt stetig an. Die Deutsche Reiterliche Vereinigung beziffert die Zahl der in Deutschland gehaltenen Pferde auf weit über eine Million Tiere, damit hat sich ihre Zahl in den letzten 40 Jahren vervierfacht (DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG 2010b). Gleichzeitig erhöht sich der Platzbedarf in der Pferdehaltung, da Tierbesitzer und Stallbetreiber sich vermehrt darüber bewusst sind, dass die herkömmliche und noch immer weit verbreitete Einzelboxenhaltung nicht der Natur eines Pferdes entspricht.

1.1 PROBLEMSTELLUNG

Das Pferd, als ehemaliger Steppenbewohner, ist von seinem Körperbau und seiner Physiologie auf lange Wanderungen und häufige Aufnahme kleiner Futtermengen eingestellt. In einer Einzelboxenhaltung kann das natürliche Bewegungsbedürfnis daher häufig nicht befriedigt werden. Jedoch ist weder genau bekannt, wie viel Bewegung das „moderne“ Pferd eigentlich braucht, noch wie viel sich ein Tier aus eigenem Antrieb bewegt. Laufen Pferde in einem „Laufstall“ überhaupt von allein? Bewegen sich Pferde in einem „Bewegungsstall“ mehr als andere Artgenossen? Dies führt zu der Frage der Tiergerechtigkeit der einzelnen Ställe. Tiergerechtigkeit lässt sich auch dadurch beurteilen, wie wohl sich Tiere in einem Stall fühlen, wie sehr sie arttypischen Tätigkeiten nachgehen können, und wie gesund sie sind. Beim Pferd hängt all dies mit der Bewegung der Tiere zusammen. Um diese Parameter beurteilen zu können, müssen Verhaltensdaten erfasst und ausgewertet werden. Methoden der Verhaltenserfassung sind beispielsweise Direktbeobachtungen, Videobeobachtungen, Telemetrie und GPS-Erfassung, sowie das Sammeln von Verhaltensdaten mit Hilfe von Geräten, welche sich am oder im Tier befinden (z.B. Pedometer, Transponder, Mikrochips, sonstige Implantate). Allen Methoden gemein ist eine mehr oder weniger große Aufwändigkeit der Untersuchungen, meist im Sinne von großem Zeitaufwand zur Gewinnung oder Auswertung der Daten. Ebenfalls problematisch ist häufig eine Ungenauigkeit der Daten oder die fehlende Möglichkeit, bestimmte Verhaltensparameter zu erfassen. Ein Parameter, der bisher kaum untersucht werden konnte, ist die vom Tier zurückgelegte, exakte Wegstrecke. Diese

konnte, vor allem in Stallbereichen, wo GPS nicht als Technik zur Verfügung steht, bisher nur unter großem Aufwand und mit geringer Genauigkeit geschätzt werden. Jedoch birgt genau diese Komponente, vor allem für die Untersuchung der Tiergerechtheit von Pferdeställen, ein großes Potential an Aussagekraft.

1.2 ZIELSETZUNG

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Bewegungsaktivität und andere Verhaltensmerkmale (Liegeverhalten) von Pferden korrekt zu messen. Hierzu werden verschiedene Methoden zur Verhaltenserfassung herangezogen, welche für den Einsatz am Pferd geeignet scheinen. Zum Einsatz kommen Direktbeobachtungen, Videobeobachtungen mit anschließender computerassistierter Auswertung, Pedometer, GPS-Geräte sowie eine neue Technik zur 3D-Funkortung. Es soll herausgearbeitet werden, wie viel und in welchen Geschwindigkeiten sich ein Pferd in der Obhut des Menschen, hier in einem Gruppenlaufstall bewegt, an welchen Plätzen es sich bevorzugt aufhält und welche Wegstrecke pro Tag und Tier zurückgelegt wird. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt jedoch in dem Vergleich der Methoden zur Verhaltenserfassung an sich. Aspekte die verglichen werden, sind beispielsweise Genauigkeit, Zeitaufwand, Kostenaufwand, Tiergerechtheit, Aussagekraft der Ergebnisse und Anwendbarkeit von Wegstreckenmessungen. Zusätzlich soll im Rahmen der Arbeit eine neue Technik zur 3D-Funkortung implementiert werden. Durch diese Technik sollen Verhaltensbeobachtungen optimiert, Zeit- und Personalaufwand reduziert und Aussagen über Geschwindigkeiten und zurückgelegte Wegstrecken getroffen werden können. Auch stark oder wenig frequentierte Aufenthaltsorte des Stallbereiches, sowie eventuell vorhandene Bewegungsmuster sollen entdeckt und visualisiert werden. Ebenfalls soll überprüft werden, ob durch die neue Technik Erkenntnisse gesammelt werden können, welche dazu beitragen, den Stallbau für Pferde zu optimieren und welche in Empfehlungen für die Pferdehaltung umgesetzt werden können. In Paragraph 2 des deutschen Tierschutzgesetzes wird festgelegt, dass die Möglichkeit des Tieres zu artgemäßer Bewegung nicht so eingeschränkt werden darf, dass ihm Schmerzen oder vermeidbare Leiden oder Schäden zugefügt werden. Ziel ist es nun, die artgemäße Bewegung des Pferdes zu untersuchen und zu definieren, um ihm diese im Stall zu ermöglichen. In der vorliegenden Untersuchung soll ein adäquates

Messinstrument für diese Zwecke gefunden werden, welches alle Fragestellungen in Hinblick auf die tiergerechte Pferdehaltung bedienen kann. Dazu müssen die derzeit am Markt erhältlichen Produkte zur Verhaltenserfassung von Tieren auf ihre Tauglichkeit in Hinsicht auf die Fragestellung, aber auch in Hinsicht auf Genauigkeit, Anwendbarkeit, Anwenderfreundlichkeit und Umsetzbarkeit im Tierbereich sowie vor allem Tiergerechtheit überprüft werden. Alle diese Aspekte, sowie nicht zuletzt der Kosten-Nutzen-Faktor, sollen herausgearbeitet sowie die Frage beantwortet werden, welches System letztendlich als das am besten geeignete erscheint, um die komplexe Fragestellung zu bedienen und die hohen Anforderungen zu erfüllen.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 PFERDEHALTUNG

Pferdehaltung ist in Deutschland ein nicht unerheblicher Wirtschaftsfaktor. Mehr als 300.000 Menschen verdienen ihren Lebensunterhalt direkt oder indirekt mit Pferden, drei bis vier Pferde ergeben einen Arbeitsplatz. Der Gesamtumsatz im Pferdebereich liegt jährlich bei weit über 5 Milliarden Euro (DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG 2010a). Ein großer Teil dessen fließt in die laufenden Kosten ein, vor allem in die Haltung der Pferde, welche dem stetigen Anspruch unterliegt, für den Besitzer wirtschaftlicher, und gleichzeitig für das Pferd artgerechter zu werden.

2.1.1 Ursprünglicher Lebensraum frei lebender Pferde

Das Pferd entwickelte sich vor etwa 25 Millionen Jahren zum grasfressenden Bewohner von Steppen und Baumsavannen. Die Weidegebiete waren in der Regel karg, zur bedarfsdeckenden Futteraufnahme mussten täglich viele Kilometer zurückgelegt werden, dies erfolgte in langsam schreitendem Tempo. Die meiste Zeit des Tages wurde und wird von frei lebenden Pferden mit Fressen verbracht, täglich 50 - 70% des gesamten Zeitbudgets (ZEITLER-FEICHT 2001b). Durch viele Fressfeinde entwickelte das Pferd sich jedoch auch zum hochspezialisierten Fluchttier, was ihm ermöglichte, Angriffen durch schnelles Davonlaufen zu entfliehen. Im Notfall konnte das Pferd schnell und ausdauernd flüchten, was durch den Körperbau und die Leistungsfähigkeit von Bewegungsapparat und Herz-Kreislauf-System ermöglicht wurde. Diese Eigenschaften hat das Pferd bis heute behalten und unter der Domestikation nicht verloren (MILLS und NANKERVIS 2004). Die Grundvoraussetzung einer artgerechten Pferdehaltung sollte es also immer sein, den natürlichen Ansprüchen des Pferdes gerecht zu werden und die Haltungsforderungen daraus abzuleiten. Im Besonderen sollte sich eine Pferdehaltung an der speziellen Art des Pferdes orientieren. Die Art der Pferde wird repräsentiert durch sozial lebende Dauerfresser, welche auf Nahrungssuche weite Strecken in langsamem Tempo zurücklegen. Die Nahrung der ehemaligen Steppenbewohner besteht bevorzugt aus hart-stängeligen, nährstoffarmem Raufutter, auf dessen Aufschlüsselung der gesamte Verdauungstrakt ausgelegt ist. Das Pferd ist

besonders gut an wechselnde Klimabedingungen angepasst, sowohl starke Temperaturschwankungen als auch Wind und Nässe werden gut toleriert. Der Atmungstrakt des Pferdes ist sehr leistungsfähig, aber empfindlich gegenüber Staub und Schadgasen, es ist demnach auch auf eine ständige Frischluftzufuhr angewiesen (MARTEN 1996).

2.1.2 Pferdehaltungssysteme

In Deutschland sind diverse Formen der Pferdehaltung verbreitet (Abbildung 1; Tabelle 1), welche verschiedene Vor- und Nachteile für Pferd und Mensch aufweisen.

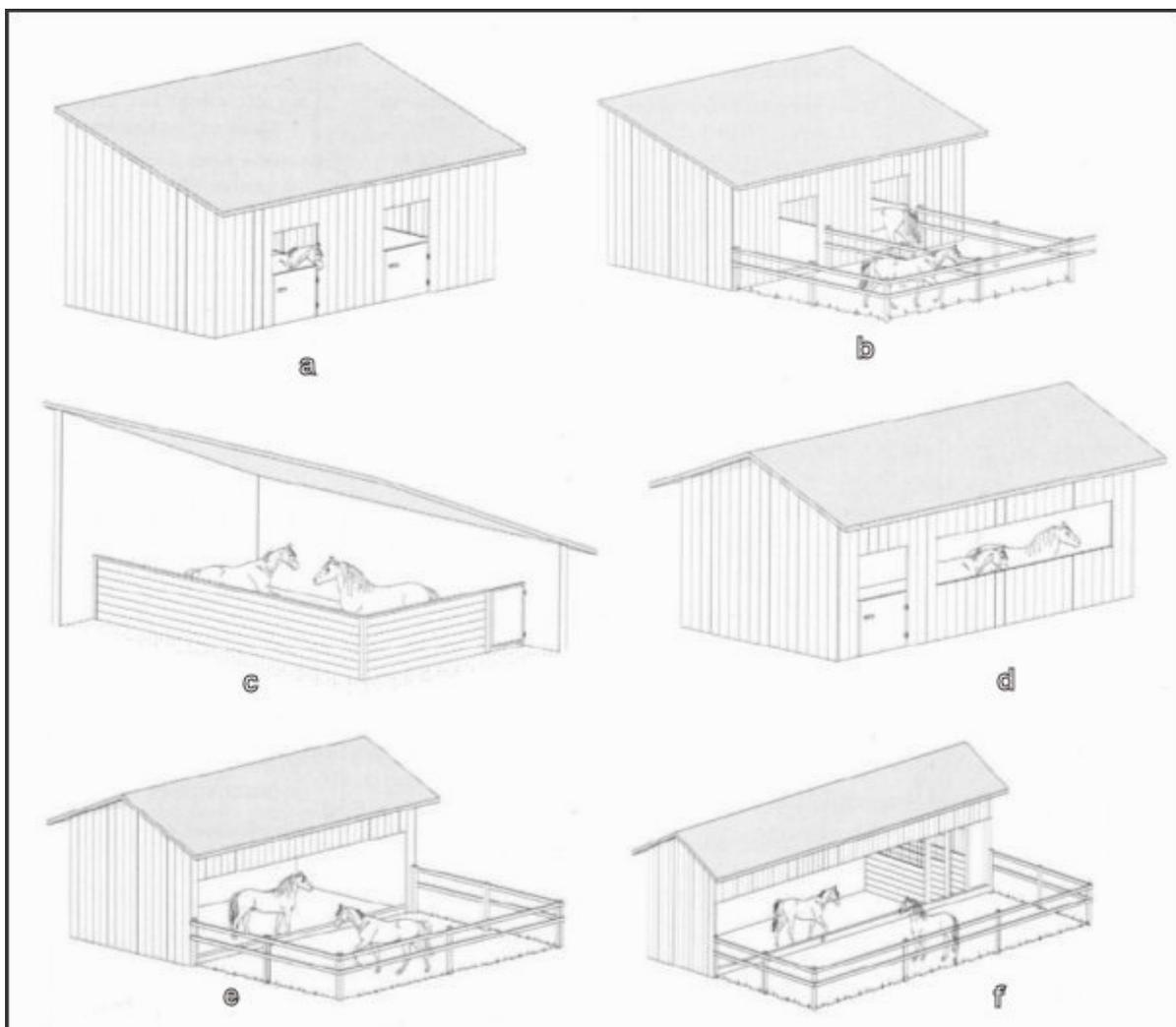


Abbildung 1: Verschiedene Pferdehaltungssysteme, aus: Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten (2009). a Einzelbox (Außenbox), b Außenbox mit angrenzendem Auslauf, c Einraum-Innenauslaufstall, d Einraum-Außenauslaufstall, e Einraum-Außenlaufstall mit Auslaufhaltung, f Mehrraum-Außenlaufstall mit Auslauf.

2.1.2.1 Stallhaltung

Die Haltung von Pferden in Ställen ist eine weltweit übliche Vorgehensweise. Im Gegensatz zur ganzjährigen Weidehaltung stellt sie immer einen Kompromiss zwischen den Bedürfnissen des Tieres und Ansprüchen des Pferdehalters dar. Vorherrschende Haltungsform für Pferde in Deutschland ist die Einzelboxenhaltung, welche jederzeit einen bequemen Zugriff auf das Pferd garantiert (PIRKELMANN 1993).

Eine Variante der Einzelhaltung ist die *dauerhafte Anbindehaltung* oder *Ständerhaltung*. Sie ist eher traditionell und war in der Zeit verbreitet, als Pferde, in der Regel schwere Kaltblüter, ausschließlich als hart arbeitende Nutztiere gehalten wurden (MARTEN 1996). Das Pferd wurde in einem länglichen Stand am Kopf fixiert, so dass es sich nicht umdrehen konnte. Futter wurde in Kopfnähe gereicht, ein Ablegen des Tieres in Brustlage war in der Regel möglich, ein Ablegen in ausgestreckter Seitenlage dagegen kaum. Aufsteh- und Niederlegevorgänge waren durch Platzmangel an den Seiten erschwert, so dass Ausgleichsschritte zur Wiedererlangung des Gleichgewichtes kaum möglich waren. Die Gefahr eines Festliegens war groß. Heutzutage wird die Ständerhaltung als nicht tiergerecht angesehen und ist obsolet. Dies rührt zum Einen durch die eingeschränkte Bewegungsmöglichkeit und Fixierung eines Flucht- und Lauftieres, zum Anderen durch das nicht mögliche Ruhen in Seitenlage, was vom Pferd zwar nur wenige Minuten am Tag durchgeführt wird, aber für einen erholsamen Schlaf in jedem Fall nötig ist. Die Nicht-Tiergerechtheit und das vermehrte Vorkommen von Verhaltensstörungen bei angebunden gehaltenen Pferden wurde in einer Untersuchung deutlich gemacht, welche in Ställen stattfand, in denen die Tiere noch in Ständerhaltung gehalten wurden (ZEITLER-FEICHT und BUSCHMANN 2002). In den meisten deutschen Bundesländern ist die Ständerhaltung verboten, da tierschutzwidrig.

Eine weitere Möglichkeit der Einzelunterbringung eines Pferdes im Stall ist die so genannte *Innenbox*. Diese befindet sich im Inneren eines Stalles und hat keinen Zugang nach außen. Kontakt zu Artgenossen in den benachbarten Boxen sowie zur Stallgasse hin ist, je nach Bauweise, optisch oder auch direkt möglich. Das Pferd ist

für den Halter stets verfügbar, es ist keinen negativen Einflüssen durch Artgenossen sowie durch Witterungseinflüsse ausgesetzt. Für das Pferd ist ein großer Nachteil der Innenboxen das Fehlen der Witterungseinflüsse, das häufig durch Staub und Schadgase stark belastete Stallklima (FLEMING 2004), der mangelnde Kontakt zu Artgenossen sowie das geringe Platzangebot in der Box. Die Innenboxenhaltung muss in jedem Fall durch ausreichende Bewegung außerhalb der Box kompensiert werden, im Idealfall durch mehrstündigen täglichen Weidegang. Die etwas tiergerechtere Form der Unterbringung in Einzelboxen ist die so genannte *Außenbox*. In dieser hat das Pferd zumindest eine große Öffnung, über die es den Kopf nach draußen bringen und zum Einen an Witterung und frischer Luft, zum Anderen an den Vorgängen außerhalb seiner Box teilhaben kann. Immer häufiger findet man Außenboxen, an die sich ein so genannter *Paddock* anschließt. Dieser ist unterschiedlich groß, und das Pferd kann sich im Freien aufhalten und im Idealfall auch dort bewegen (ULLSTEIN 1996). In der Praxis sind die angrenzenden Paddocks meist nur in etwa so groß wie die eigentliche Box, so dass eine gezielte Fortbewegung nicht möglich ist und ein Paddock nur als eine Art „Balkon“ für das Pferd fungiert (BOCKISCH 2008).

Neben der Aufstallung von Pferden in Einzelboxen bietet sich der so genannte *Laufstall* an. In diesem läuft das Pferd frei zwischen verschiedenen Bereichen eines Stalles, in der Regel in einer großen, komplett eingestreuten Halle oder ähnlichem. Möglicherweise erfolgt eine Trennung in Fressbereich, Tränkebereich, Lauf- und Ruhebereich. In der Regel erfolgt im Laufstall eine *Gruppenhaltung* von mehreren Tieren. Die Gruppe von Pferden setzt sich meist aus Stuten mit Fohlen, gleichaltrigen Jungtieren oder Absetzern zusammen, jedoch werden zunehmend auch Reitpferde in Gruppen gehalten. Eine Variante des Laufstalles ist der *Offen-Laufstall* mit Zugang zu einem Freigelände (ULLSTEIN 1996). Eine Kombination der verschiedenen Stallsysteme ist möglich, beispielsweise Einzelboxenhaltung mit Gruppenauslauf oder Paddockboxenhaltung mit Gruppenauslauf (ULLSTEIN 1996).

2.1.2.2 Offenstallhaltung

Bei der Offenstallhaltung sind den Tieren die Innen- und Außenbereiche jederzeit frei zugänglich. In der Regel findet man getrennte Funktionsbereiche vor, es handelt sich

dann um eine *Mehrbereichs-Gruppenauslaufhaltung* (PIOTROWSKI 1992): eingestreuter Ruhebereich im Inneren eines Gebäudes, Fressbereich (häufig in Form von Fressständen), Kot- und Harnplätze, Bewegungsbereiche, Wasserstellen sowie Komfortbereiche, welche zum Beispiel Wälzplätze oder aufgestellte Bürsten sein können. Der Boden des Außenbereiches ist, je nach Anzahl der gehaltenen Pferde und der Migrationsfrequenz, einer hohen Belastung ausgesetzt und sollte entsprechend befestigt sein. Hierbei sind tiergerechte Tretschichten ebenso wichtig wie ein Bodenaufbau, welcher eine Kontamination des Sickerwassers mit Fäkalien verhindert (BOCKISCH und KREIMEIER 2002).

Eine besondere Variante der Gruppen-Auslaufhaltung ist der *Bewegungsstall*. Hierbei werden gezielt Bewegungsanreize für die Pferde geschaffen, in der Regel über das Futter- und Wasserangebot. Es können Stationen für die Aufnahme von Futter sowie Tränken an verschiedenen Stellen im Gelände aufgestellt werden, so dass die Pferde sich beispielsweise zwischen Heu und Tränke eine gewisse Strecke bewegen müssen. Über eine Strukturierung der Ausläufe und die Gabe von vielen kleinen Portionen Futter können Pferde zusätzlich zum Laufen angeregt werden (FRENTZEN 1994).

Häufig werden so genannte Hochleistungspferde in Einzelboxen gehalten. Als Gründe werden von den Besitzern die bessere Verfügbarkeit, Angst vor Verletzungen oder die Notwendigkeit einer individuellen Krafftuterversorgung genannt. Aus ethologischer Sicht wird hingegen die Gruppenhaltung empfohlen (FLEEGER 1991; PIOTROWSKI 1992; PIRKELMANN 1993; ULLSTEIN 1996; BOCKISCH und KREIMEIER 2001; ZEITLER-FEICHT 2001a). Es konnte jedoch von verschiedenen Autoren nachgewiesen werden, dass eine Haltung in sozialen Verbänden sich auch für Sportpferde sehr gut eignet. Es kam in der Regel nicht zu höheren Verletzungsraten, hingegen sank das Auftreten von Verhaltensabweichungen deutlich im Vergleich zur Einzelhaltung. Auch die Haltung von sportlich aktiven Pferden gemeinsam mit untrainierten Tieren führte nicht zu Problemen (GERKEN et al. 1996; LEHMANN 2000; ARNEMANN 2003). BENHAJALI et al. (2008) konnten nachweisen, dass auch bei extrem hoher Besatzdichte Aggressionen unter den aufgestellten Pferden nur in geringem Maße auftraten.

2.1.2.3 Ganzjährige Weidehaltung

Die *ganzjährige Weidehaltung* von Pferden kommt deren natürlichem Verhalten am meisten entgegen (KUHNE 2004). Sie können sich frei bewegen, ihrem Lauftrieb entsprechend, und können über den Tag verteilt stets kleine Mengen von Gras aufnehmen, während sie sich langsam im Schritt fortbewegen (ZEITLER-FEICHT 2001b). Auch der Aufenthalt in einer Herde ist als sehr pferdegerecht einzustufen (KUHNE 2004). Für den Pferdebesitzer bedeutet die ganzjährige Weidehaltung einen größeren Aufwand und eine teilweise eingeschränkte Nutzung des Pferdes. Schwierig ist hier unter Umständen das richtige Weidemanagement. Ist die Pferdegruppe zu groß für eine Weide, leidet der Boden unter Umständen stark oder der Infektionsdruck durch Parasiten wird zu groß. Eine Weide sollte also ausreichend groß bemessen sein, oder die Tiere müssen zwischen verschiedenen Weideflächen umgetrieben werden. Für Witterungsschutz sollte gesorgt sein, ebenso Insektenschutz, stabile Zäune die regelmäßig kontrolliert werden, sowie ausreichende Tränkemöglichkeit. Bei mangelndem Grasangebot muss zugefüttert werden, ebenso wie bei leichtfuttrigen Pferden die Weide eventuell portioniert werden muss. Die ganzjährige Weidehaltung ist nicht geeignet für Pferde mit allergischer Reaktion auf Insekten (so genanntes Sommerekzem), Tiere mit Neigung zu Hufrehe sowie für stark sonnenbrandgefährdete Tiere. Im Krankheitsfall müssen die Pferde auf der Weide leicht zu erreichen und zu transportieren sein (ULLSTEIN 1996).

Tabelle 1 : Übersicht über die verschiedenen in Deutschland gebräuchlichen Pferdehaltungssysteme (Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten, 2009).

EINZELHALTUNGS-SYSTEME	ERLÄUTERUNG
Ständerhaltung	Anbindehaltung.
Innenbox	Einzelbox in einem Stallgebäude ohne für das Pferd nutzbare Öffnung nach draußen.
Außenbox	Einzelbox in einem Stallgebäude mit einer Öffnung, durch welche das Pferd Kopf und Hals nach draußen richten kann.
Außenbox mit Kleinauslauf	Einzelbox in einem Stallgebäude mit ständig zugänglichem, direkt angrenzenden Kleinauslauf.
Mehrraum-Außenbox mit Kleinauslauf	Einzelbox in einem Stallgebäude mit über den Kleinauslauf zugänglichem separaten Fressbereich.

Fortsetzung: Tabelle 1 (Pferdehaltungssysteme in Deutschland)

GRUPPENHALTUNGS-SYSTEME	ERLÄUTERUNG
Einraum-Innenlaufstall	Gruppenlaufstall im Stallgebäude ohne für die Pferde nutzbare Öffnung nach draußen.
Mehrraum-Innenlaufstall	Gruppenlaufstall im Stallgebäude ohne für die Pferde nutzbare Öffnung nach draußen, mit Unterteilung in Funktionsbereiche (Fress-, Trink-, Ruhe- und evtl. separater Laufbereich).
Einraum-Außenlaufstall	Gruppenlaufstall im Stallgebäude mit Öffnung(en), durch welche die Pferde Kopf und Hals nach draußen richten können.
Mehrraum-Außenlaufstall	Gruppenlaufstall im Stallgebäude mit Öffnung(en), durch welche die Pferde Kopf und Hals nach draußen richten können und mit Unterteilung der Stallfläche in Funktionsbereiche (Fress-, Trink-, Ruhe- und evtl. separater Laufbereich).
Einraum-Außenlaufstall mit Auslauf (Offenlaufstall)	Gruppenlaufstall in einem Stallgebäude mit ständig zugänglichem, direkt angrenzendem Auslauf.
Mehrraum-Außenlaufstall mit Auslauf (Offenlaufstall)	Gruppenlaufstall im Stallgebäude mit für die Pferde ständig zugänglichem direkt angrenzendem Auslauf und mit Unterteilung der Fläche in Funktionsbereiche (Fress-, Trink-, Ruhe-, Laufbereich). Der Fress- und Ruhebereich sind i.d.R. über den Auslauf getrennt.
Weidehaltung mit Witterungsschutz	Saisonal oder ganzjährig.

2.1.3 Haltungsbedingte Erkrankungen und unerwünschte Verhaltensweisen

Ein großer Bereich der Erkrankungen des Pferdes ist auf Mängel in der Haltung zurückzuführen. Ein gehäuftes Auftreten von Krankheitssymptomen erfolgt in den Bereichen von Verdauungs-, Bewegungs- und Atmungstrakt. Nicht artgerechte Fütterung verursacht Verdauungsprobleme. Zu wenig Bewegung und unangemessene Kurzbelastung führen zu Problemen im Bewegungsapparat. Zu wenig frische Luft und starke Belastung des Stallklimas führen im empfindlichen Atmungsapparat des Pferdes leicht zu Beschwerden, meist allergischer Natur. Durch haltungsbedingte Mängel verursachte Abgänge von Pferden wurden in einer Untersuchung von entschädigten Tieren einer Versicherung in den Jahren 1990-1995 angegeben mit 45,26 % Erkrankungen der Bewegungsorgane, 9,48 % der Verdauungsorgane und 8,67 % Atemwegsproblematiken (SEIDENSTICKER 1999). BUTLER und ARMBRUSTER (1984) nennen als Gründe der auf einem Schlachthof getöteten Tiere zu 32 % Gliedmaßenerkrankungen, zu 2,4 % Störungen der Verdauungsorgane und zu 25 % Atemwegserkrankungen. Jedoch auch die

wirtschaftlichen Einbußen durch im Verhalten veränderte Pferde sind nicht zu unterschätzen. So genannte Stalluntugenden sowie Verhaltensstörungen und unerwünschte Verhaltensweisen sind bei Pferden häufig. Hierzu zählen die so genannten Stereotypen wie Koppen, Weben, Boxenlaufen, Selbstverstümmelung, Headshaking, Scharren, übermäßiges Scheuern sowie der große Kreis der oralen Stereotypen, welche häufig gemeinsam mit dem Koppen auftreten. Hierbei treten Zungenschlagen, diverse zwanghafte Zungen- und Lippenbewegungen, Krippenwetzen, Holzkauen sowie übermäßige Futter- oder Wasseraufnahme bzw. Aufnahme unverdaulicher Objekte wie Steine auf. Weitere Bereiche der nutzungseinschränkenden Verhaltensstörungen können Probleme im Dominanz- oder Aggressionsverhalten sein, starke Ängste, übermäßiges Scheuen, Verladeprobleme sowie Fehlprägungen und sexuelles Problemverhalten (LEBELT 1998). Ein verhaltensgestörtes Pferd ist erheblich kaufpreisgemindert, da häufig gesundheitliche Beeinträchtigungen von der Verhaltensstörung ausgehen. Ein koppelndes Pferd erfährt beispielsweise eine Minderung von etwa einem Drittel des Kaufpreises. Bei einem Anteil von etwa 3 % koppelnden Pferden an der Gesamtpferdezahl in Deutschland ist das ein erheblicher wirtschaftlicher Faktor (LEBELT 1998), wenn man zu Grunde legt, dass beispielsweise im Jahr 2009 allein bei den Pferdeauktionen der Zuchtverbände 44.081.595 Euro umgesetzt wurden (DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG 2010a).

2.2 DAS VERHALTENSINVENTAR DER PFERDE

2.2.1 Natürliches Verhalten frei lebender Pferde

Das Pferd als ursprünglicher Steppenbewohner ist geprägt durch das Verhalten eines Lauf-, Flucht- und Herdentieres. Es ist adaptiert an starke Temperaturschwankungen und gut an Witterungseinflüsse jeder Art angepasst. Ein Grundbedürfnis ist der Herdentrieb, das ursprüngliche Pferd bewegte sich den ganzen Tag im Schutz seiner Herde langsam fressend voran. Der Verdauungstrakt der Tiere ist auf das kontinuierliche Fressen von kleinen Portionen sehr rohfaserreicher Nahrung ausgerichtet. Überlebenssichernd war dem Pferd als Beutetier sein Fluchttrieb, welcher auch den domestizierten Vertretern noch angeboren ist (ZEITLER-FEICHT 2001b).

LEBELT (1998) unterscheidet beim Pferd die natürlichen Funktionskreise Nahrungsaufnahmeverhalten, Ausscheidungsverhalten, Erkundungs- und Feindvermeidungsverhalten, Sozialverhalten, Komfortverhalten, Ausruhverhalten, Fortpflanzungsverhalten und Mutter-Kind-Verhalten.

2.2.2 Nahrungsaufnahmeverhalten

Das Pferd, als ehemals steppenbewohnender Pflanzenfresser, verbringt einen Großteil des Tages mit Fressen. Frei lebende Pferde nutzen etwa 16 Stunden oder 60% des Tages zur Nahrungsaufnahme (LEBELT 1998), indem sie sich langsam in ruhigem Schritt fortbewegen. Das Fassungsvermögen des Magens ist mit bis zu 15 Litern vergleichsweise gering, daher ist das Pferd auf die kontinuierliche Aufnahme kleiner Mengen Nahrung angewiesen. Hierbei ist die ursprüngliche Nahrung der Equiden zwar in der Menge groß, vom Nährwert jedoch eher gering und rohfaserreich. Daher ist der Darm dieser Spezies auf den Anfall großer Mengen zunächst schwer verdaulicher Rohsubstanz ausgerichtet. Eine besondere Einrichtung zum Aufschluss dieser Rohfaser ist daher der stark ausgebildete Blinddarm (NICKEL et al. 1959). Unter künstlichen Bedingungen gehaltene Pferde werden daher zwangsläufig nicht immer artgerecht gefüttert, da die natürliche Art der Futteraufnahme schwer zu imitieren ist. Die Futtergabe ist beim modernen Pferd in der Regel rationiert, da die Futtermittel sehr viel höhere Nährgehalte aufweisen. Vor allem das so genannte Kraftfutter, welches in der Regel Getreide darstellt, ist sehr energiereich und wird in volumenmäßig kleinen Portionen zugeführt. Auch die Gabe von Raufutter ist in der Regel rationiert und durch den Personaleinsatz beschränkt, meist kann nur zwei bis drei Mal pro Tag Raufutter in Form von Heu vorgelegt werden. Da viele Pferde aufgrund chronischer Atemwegsbeschwerden auf staubarmen Einstreumaterialien gehalten werden müssen, die nicht zum Verzehr geeignet sind, entfällt auch die Aufnahme von - relativ rohfaserreichem - Stroh. Wenige und kurze Fresszeiten pro Tag widersprechen jedoch dem natürlichen Nahrungsaufnahmeverhalten des Pferdes, sein Kaubedürfnis kann nicht befriedigt werden und orale Stereotypen können entstehen (LEBELT 1998; ZEITLER-FEICHT 2001b).

2.2.3 Sozialverhalten

Wilde Equiden leben in einem festen Sozialverband. Eine Gruppe besteht aus bis zu sechs erwachsenen Stuten, ihren Nachkommen, sowie einem adulten Hengst. Die Leitung einer solchen Herde übernimmt die so genannte Leitstute, der Hengst die Verteidigung nach außen. Unter semi-natürlichen Bedingungen konnte beobachtet werden, wie verschiedene Ponyrassen sich gruppierten (SCHÄFER 1993). Selten waren die Gruppen größer als ein Hengst mit zwei bis drei Stuten und ihrem Nachwuchs, welche in der Regel gemeinsam mit anderen kleinen Familienverbänden dieser Art friedlich auf einem größeren Areal zusammenlebten. Innerhalb eines Familienverbandes gibt es feste Rangordnungen. Freundschaften werden durch gegenseitige soziale Körperpflege geprägt. Reine Boxenhaltung kommt den Bedürfnissen der Pferde nach Kontakt untereinander kaum nach. CHRISTENSEN et al. (2002) zeigten in einer Untersuchung, dass Pferde aus Boxenhaltung ihre Boxennachbarn nicht erkannten, wenn sie auf der Weide auf selbige trafen. Sie schlossen daraus, dass zu einer Wiedererkennung voller physischer Kontakt nötig ist. Zudem zeigten die Pferde aus der Boxenhaltung eine höhere Aggressionsrate als die verglichene Gruppenhaltung. In einer Studie wurden in einer halbwild lebenden Ponyherde über einen Zeitraum von mehr als zwei Jahren die auftretenden Verletzungen dokumentiert. Hierbei erfolgten insgesamt vier Inspektionen der Tiere, davon zwei während der Reproduktionssaison, zwei außerhalb davon. Alle Tiere wurden beschaut und deren Verletzungen protokolliert. Hierbei fiel auf, dass Verletzungen selten vorkamen und meist gering gradig waren: nur 12 von 213 Inspektionen, sowie 14 von 858 Verletzungen, involvierten Wunden welche über geringe Abschürfungen von Haut oder Haaren einhergingen (GROGAN und MCDONNELL 2005).

2.2.4 Komfortverhalten

Der Begriff Komfortverhalten umfasst alle Verhaltensweisen, die der Steigerung des körperlichen Wohlbefindens dienen. Darunter fällt die Körperpflege des einzelnen Tieres sowie die gegenseitige Körperpflege, zum Beispiel Knabbern, Scheuern oder Kratzen. Außerdem gehören zum Komfortverhalten auch Sonnenbaden, Strecken, Wälzen und Schütteln. Die soziale Körperpflege, welche in der Regel von zwei

Pferden in kontralateraler Position zueinander durchgeführt wird, bezieht sich auf ein gegenseitiges Kraulen und Beknabbern von Mähnenkamm, Widerrist, Schulter, Rücken oder Kruppe. Es dient nebenbei auch der Festigung der Positionen und Bindungen untereinander im Familien- oder Herdenverband (ZEITLER-FEICHT 2001b).

2.2.5 Ruheverhalten

Pferde als Fluchttiere verbringen die meiste Zeit des Tages in aufrechter Haltung. Eine besondere Einrichtung des Bewegungsapparates, die passive Fixation der Gliedmaße in der Stützphase, ermöglicht ein dauerhaftes energiearmes Stehen unter gleichzeitiger Schonung der Muskulatur (NICKEL et al. 1959). Pferde können im Stehen Dösen, sind aber während dieser Schlafform leicht erweckbar, da ihre Sinnesorgane noch aktiv sind. Viele dieser Dösephasen erfolgen über den Tag verteilt zwischen Aktivitäts- oder Fressphasen. SCHÄFER (1993) unterteilt das Ruheverhalten der Equiden in *Dösen*, *Schlummern* und *Tiefschlafen*. Hierbei erfolgt das „Dösen“ im Stehen, das „Schlummern“ in Brustlage und das „Tiefschlafen“ in ausgestreckter Seitenlage. Die Gesamtruhedauer erwachsener Equiden beziffert SCHÄFER (1993) mit rund sieben Stunden am Tag, im Sommer kann dieser Wert auf bis zu neun Stunden ansteigen. Jungtiere ruhen bevorzugt in Brustlage, während Fohlen häufige Tiefschlafphasen in ausgestreckter Seitenlage durchlaufen. Unter Einnahme der Brustlage schlafen Pferde im Slow Wave Sleep (nach den typischen Wellen im EEG-Bild), hierbei kommt es zu einer Verlangsamung von Puls- und Atemfrequenz, sie sind schwerer erweckbar als beim Dösen. Der eigentliche Tiefschlaf erfolgt im Liegen. Der REM-Schlaf, welcher durch schnelle Bewegungen der Augen, sowie unwillkürliche Bewegungen von Gliedmaßen und Ohren charakterisiert ist, ist nur in gestreckter Seitenlage möglich. Die Pferde sind in dieser Schlafphase nur sehr schwer zu wecken, Herzschlag und Atmung werden unregelmäßig (ZEITLER-FEICHT 2001a). Das Pferd zeigt, im Gegensatz zum Menschen, ein so genanntes polyphasisches Schlafverhalten, was bedeutet dass mehrere Schlafphasen über den ganzen Tag verteilt auftreten. Die einzelnen Phasen dauern selten länger als eine Stunde an. Eine Häufung der Schlafphasen tritt jedoch auch beim Pferd in der Dunkelheit auf, bedingt durch eine erhöhte Produktion des Schlafhormons Melatonin in der Epiphyse. Insgesamt schlafen Pferde etwa fünf

Stunden am Tag, davon je zwei Stunden Dösen und Slow-Wave-Schlaf, und 45 Minuten REM-Schlaf. Auch innerhalb des Slow-Wave-Schlafes treten kurze REM-Phasen auf (WÖHR und ERHARD 2006). Equiden schlafen in ausgestreckter Seitenlage nur in vertrauter Umgebung und absoluter Sicherheit. In Gruppen lässt sich oft beobachten, dass ein oder mehrere Tiere als eine Art „Wachposten“ fungieren, während andere schlafen. Hierbei können mehrere Individuen in freundschaftlichen Beziehungen eng beieinander liegen, zu anderen Artgenossen wird jedoch die Individualdistanz gewahrt. Dem REM-Schlaf kommt besondere Bedeutung bei der psychischen Erholung zu, ein Mangel kann zu Narkolepsie und psychischen Störungen führen. Daher muss stets dafür gesorgt werden, dass das Pferd alle Schlafphasen in ausreichender Menge erhalten kann, dass ausreichend Platz vorhanden ist, aber auch genug Ruhe im Stall herrscht. Pferde bevorzugen zum Abliegen trockene, weiche Plätze. In freier Natur suchen sie sich offene Stellen, an denen der Wind von allen Seiten Zutritt (SCHÄFER 1993).

2.2.6 Bewegungsverhalten

Die Funktionskreise Erkundungs- und Feindvermeidungsverhalten, Ausscheidungs- und Markierungsverhalten sowie Spielverhalten können beim Pferd vereinfachend unter *Bewegungsverhalten* zusammengefasst werden. Das Pferd ist von seiner Natur aus an ständige Fortbewegung adaptiert, ursprünglich im langsamen Schritt, nur von kurzen schnelleren Fluchtsequenzen unterbrochen. So verbrachte das ursprüngliche Wildpferd 16 Stunden des Tages damit, langsam durch die Steppe zu ziehen und zu grasen und legte dabei Strecken von bis zu 25 km zurück (ULLSTEIN 1996). Das heutige, in Einzelhaltung aufgestallte Pferd verbringt die meiste Zeit mit dem Stehen oder kleinen, kurzen Bewegungen auf der Stelle, im Kreis oder rückwärts, soweit die Maße seiner Box es zulassen. Dabei legt es in der Box maximal 0,17 km zurück. Die reiterliche oder sonstige Nutzung beschränkt sich auf durchschnittlich maximal 60 Minuten pro Tag, hierbei kommt dem langsamen Schritt jedoch kaum Bedeutung zu, da vermehrt auf schnellere Gangarten Wert gelegt wird (ZEITLER-FEICHT 2001b).

Zum Funktionskreis Bewegungsverhalten kann auch das Spielverhalten gezählt werden. MCDONNELL und POULIN (2002) beschrieben insgesamt 38 verschiedene Formen des equinen Spielverhaltens, welche sie in vier Kategorien unterteilten:

Objektbezogenes Spiel, gespieltes Sexualverhalten, Bewegungsspiele, sowie Kampfspiele. Hierbei zeigten nicht nur Fohlen und Jungtiere Spielverhalten, sondern auch erwachsene Tiere. Auch das Ausscheidungs- und Markierungsverhalten ist an Bewegung und den Aufenthalt an speziellen Orten geknüpft. Pferde in Stallungen suchen häufig bestimmte Plätze auf, um zu koten und zu urinieren, während weidende und wilde Tiere ein Eliminationsverhalten während des langsamen Voranschreitens zur Nahrungsaufnahme vornehmen (LAMOOT et al. 2004). FADER (2001) untersuchte das Ausscheidungsverhalten von Pferden in Gruppenauslaufhaltungen. Wurden den Tieren speziell gestaltete Ausscheidungsplätze angeboten, so wurden diese auch deutlich stärker frequentiert und die Tiere bewegten sich, um diese speziellen Plätze zu erreichen.

Unterschiede im Bewegungsverhalten von Pferden in verschiedenen Haltungssystemen konnten bereits mehrfach klar herausgearbeitet werden. Hierbei zeigten sich Pferde aus Ständer- und Boxenhaltung beim täglichen Weidegang lauffreudiger, vor allem höhere Geschwindigkeiten betreffend, und unruhiger auf der Weide als Pferde aus Laufställen (KLINGLER 1988). Die pro Tag zurückgelegten Wegstrecken von Pferden in einem Gruppenlaufstall wurden mit Hilfe von Pedometern geschätzt (FRENTZEN 1994). Hierbei zeigte sich, dass die Bewegungsaktivität der Pferde in großem Maße durch die Fütterung beeinflusst wurde, da nur diese die Tiere ausreichend motivieren konnte, sich zu bewegen. Bewegung aus eigenem Antrieb, um der Bewegung willen, zeigten die Pferde fast nicht. HOFFMANN (2008) erkannte einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Stressbelastung von Pferden und unterschiedlichen Bewegungsangeboten, zusätzliche Bewegung half den Tieren Stress abzubauen. Erkrankungen des Bewegungsapparates kommen beim modernen Pferd jedoch große Bedeutung zu. Ein großer Teil der Abgangsursachen wird durch Erkrankungen des Bewegungsapparates bedingt (SEIDENSTICKER 1999). Man vermutet die Ursache jedoch nicht in einer übermäßigen Beanspruchung, sondern eher in Mängeln der Haltung, welche ein zu geringes Bewegungsverhalten auslösen. Ebenso wie die bewegungsarme Aufstallung der physischen Gesundheit des Pferdes schadet, wird auch seine Psyche beeinträchtigt. Dies kann sich äußern in Verhaltensabweichungen, die von Apathie über stereotype Verhaltensstörungen bis hin zu gesteigerter Aggression gegen sich, Artgenossen oder Menschen reichen

können (LEBELT 1998). Auch nicht augenfällig verhaltensbeeinträchtigte Pferde sind in der Regel deutlich unberechenbarer, wenn sie aus ihrer Stallung herausgenommen werden, da sie durch mangelnde Umweltreize leicht zu überschießenden Reaktionen neigen können (DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG 2010b). Unfallstatistiken nennen hohe Zahlen an Unfällen, welche durch Pferde verursacht wurden. Hierbei geschah ein Drittel der Unfälle nicht bei der Ausübung von Pferdesportarten wie dem Reiten, sondern im direkten Umgang mit dem Pferd (HANNOVERSCHE LANDWIRTSCHAFTLICHE BERUFSGENOSSENSCHAFT 2000).

2.3 GRUNDLAGEN DER POSITIONS- UND WEGSTRECKENBESTIMMUNG

2.3.1 Entfernung- und Positionsbestimmung

Die Orientierung des Menschen innerhalb von Raum und Zeit stellt seit Beginn der menschlichen Evolution eine Herausforderung dar, welche bereits in allen frühen Zivilisationen thematisiert wurde. Schon zu Beginn der Menschheitsgeschichte tauschten sich Menschen beispielsweise über besonders wichtige Orte wie Jagdgründe oder Wasserstellen aus. Dies erforderte bereits die Orientierung im Raum, welche mit einfachen Skizzen und Orientierungspunkten bewältigt wurde. Zur zeitlichen Orientierung dienten in der Regel Tag- und Nachtrhythmus, der Stand von Sonne und Sternen sowie die Jahreszeiten. Zunehmende Kultivierung und steigende wirtschaftliche und politische Interessen ließen in der Antike kartographische Beschreibungen von Handelsrouten und ähnlichem entstehen. Mit der damals einsetzenden Seefahrt wurde der Bedarf an Methoden zur Navigation und Positionsbestimmung begründet. Die Geschichte der Ortung, damals hauptsächlich in Form der Navigation, reicht über 6000 Jahre zurück. Die antike Navigation orientierte sich an der Betrachtung der Sterne, der Festlegung von Windrichtungen und der groben Zeitmessung, zusätzlich an künstlichen Navigationshilfen wie beispielsweise dem Leuchtturm von Alexandria. Die ständige Weiterentwicklung der menschlichen Interessen machte eine genauere Definierung von Orten und Zeiten notwendig. Im 20. Jahrhundert erfuhr der Bereich der Ortung viele technische Fortschritte. Haupteinsatzgebiet ist noch immer die Schiff- und Luftfahrt, darüber hinaus existieren jedoch auch wichtige Einsatzgebiete wie Logistik, Sicherheitsbereiche, Sport und Forschung.

Die Positionierung in der Zeit, welche eine eindimensionale Struktur aufweist, ist einfacher als die Positionierung im dreidimensionalen Raum, und erfolgt mithilfe des Chronometers, auch als Uhr bezeichnet. Die Positionierung im Raum muss durch Angabe dreier unabhängiger Richtungen angegeben werden, eine Positionsbestimmung kann also nur durch ein Zahlentripel erreicht werden, welches Koordinaten darstellt. Die Einführung der Greenwich-Gradeinteilung schaffte die Basis für eine universelle Positionierung auf der Erde, jede beliebige Position kann so in Grad/Minuten angegeben werden. Weltweit eindeutige Koordinaten können auf mehrere Arten angegeben werden (ROTH 2005): *geographische Koordinatensysteme* (spezifizieren Punkte durch Längengrad, Breitengrad und Höhe), *geozentrische, kartesische Koordinatensysteme* (bezeichnen Punkte über drei Achsen) und *ebene Koordinatensysteme*, welche die Erdoberfläche in einzelne Abschnitte gliedern, in denen kartesische Koordinaten verwendet werden (beispielsweise das Gauß-Krüger-System, welches von deutschen Vermessungsämtern verwendet wird). Neben dieser – weltweit gültigen – *absoluten Position* lassen sich auch so genannte *relative Positionen* bestimmen. Hierbei erfolgt eine Angabe, beispielsweise in welchem Teil eines Gebäudes oder in welchem Raum sich ein Gegenstand oder eine Person aufhält, bzw. deren relative Position zu einem bestimmten Punkt. Zusätzlich zur Position eines Objektes ist oft auch seine *Orientierung im Raum* interessant. In der Navigation beispielsweise ist dies wichtig, um eine Fahrtrichtung festzustellen; hierbei ist die Himmelsrichtung ausschlaggebend und zur Orientierung ausreichend. Manche Anwendungen machen es jedoch nötig, die Orientierung genauer zu bestimmen, was mit Hilfe von drei Winkeln geschieht, den so genannten *Roll-Nick-Gier-Winkeln*. Den meisten Systemen zur Positionsbestimmung ist es jedoch nicht möglich, die Orientierung zu ermitteln (ROTH 2005). Ebenfalls in Zusammenhang mit der Position eines Objektes zu erwähnen ist seine *Geschwindigkeit*. Diese kann zum einen durch die Positionsbestimmung an sich ermittelt werden, sowie, je nach Verfahren, auch durch zwei zeitlich versetzte Positionsmessungen, wobei durch die zeitliche Differenz die Geschwindigkeit berechnet werden kann (ROTH 2005). Weiterhin unterscheidet man zwischen geometrischer und symbolischer Position. Eine *geometrische Position* wird ausgemacht durch die exakte Angabe von Koordinaten im x/y/z-Format, während eine symbolische oder auch *semantische Position* vielmehr die Bedeutung einer

Position wiedergibt statt ihrer tatsächlichen Koordinaten (TOST 2009). Als Beispiel sei angeführt, dass es sich bei einer semantischen Position darum handelt, ob ein Mensch sich in einem bestimmten Stockwerk eines Gebäudes befindet, oder aber ein Tier in einem bestimmten Aufenthaltsbereich seines Geheges. Hierbei ist nicht die tatsächliche Koordinate interessant, sondern der symbolische Aufenthaltsort liefert die gewünschte Aussage. Verschiedene Verfahren zur Positionsbestimmung liefern diese semantischen Positionen, andere arbeiten ausschließlich mit Koordinaten oder berechnen anhand von Koordinaten semantische Positionen (ROTH 2005). Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Positionierung ist der verwendete *Maßstab* eines Systems. Hierbei entscheidet sich, ob ein globaler Maßstab zugrunde liegt, wie beispielsweise bei der Satellitennavigation, oder aber ein engerer Kontext wie ein Betriebsgelände, eine Lagerhalle oder ein Tiergehege, zudem ob zwei- oder dreidimensional geortet wird (ROTH 2005). Einer der wichtigsten Gesichtspunkte bei den verschiedenen Positionierungssystemen ist die verschieden hohe *Auflösung* der einzelnen Systeme. Eine hohe Auflösung bedingt eine hohe Genauigkeit eines Systems. Die Anforderungen an ein Positionierungssystem variieren natürlich mit dem Anwendungszweck, in der Regel bedeutet jedoch höhere Genauigkeit auch höheren Aufwand und höhere Kosten. Hochpräzise Systeme sind meist auf kleinere Areale beschränkt (ROTH 2005). Auch die *Echtzeitfähigkeit* eines Systems ist von großer Bedeutung. Hierbei ist zu beachten, dass zwischen der Messung der Sensordaten und der darauf aufbauenden aktualisierten Position nur eine bestimmte Zeitspanne verstreichen darf, die so genannte *Aktualisierungsrate*. Je nach Geschwindigkeit des zu ortenden Objektes entstehen unterschiedliche Anforderungen an die Aktualisierungsrate. In der Regel wird in dieser angegeben, wie oft pro Sekunde eine neu berechnete Position vom Ortungssystem geliefert werden kann. Je höher dieser Wert, desto besser die Echtzeitfähigkeit eines Systems. Jedoch sind sehr hohe Geschwindigkeiten hierbei als problematisch zu sehen, die Genauigkeit der Ortung sinkt, da sich eine Position möglicherweise noch während einer Messung verändern kann (ROTH 2005). Ein sehr wichtiger Faktor eines Positionierungssystems ist seine *Störanfälligkeit*, vor allem seine Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen, da die meisten Systeme im Außenbereich eingesetzt werden. Im Innenbereich ist nicht mit sehr schweren Störungen zu rechnen, hier kann es jedoch trotz kontrollierter Bedingungen zu Signalabschattungen durch bestimmte

Materialien oder Menschen kommen. Auch bei zunehmender Größe eines Systems oder des abgedeckten Gebietes kann die Störanfälligkeit ansteigen. Im Außenbereich können Nebel, Schnee und andere Umwelteinflüsse eine Positionierung beeinflussen. Auf die speziellen Störfaktoren der einzelnen Systeme wird in den nachfolgenden Kapiteln noch näher eingegangen werden. *Messfehler* können in einem System durch viele verschiedene Ursachen auftreten und müssen ständig mit einkalkuliert werden (ROTH 2005).

Systeme zur Positionierung können in drei Kategorien unterschieden werden (King et al. 2005): reine Positionierungssysteme, Ortungssysteme und Systeme, die zusätzlich die Orientierung des Endgerätes erkennen. Die Begriffe werden häufig in der Literatur nicht sauber getrennt und synonym verwendet. Per definitionem bedeutet Positionierung eine exakte Festlegung eines Punktes in einem dreidimensionalen kartesischen Koordinatensystem. Die Position wird also durch die Angabe von drei Koordinaten auf der x-, y- und z-Achse eindeutig beschrieben. Ortungssysteme hingegen bestimmen einen symbolischen Ort, an dem sich ein gesuchtes Objekt befindet, zum Beispiel in einem bestimmten Gebäude. Manche Ortungs- oder Positionierungssysteme bestimmen zusätzlich die Ausrichtung oder Neigung eines Objektes. Positionierungssysteme sind indes ein spezieller Fall von Trackingsystemen. Tracking bedeutet, ein sich bewegendes Objekt über einen längeren Zeitraum zu positionieren, Positionierungssysteme hingegen lokalisieren feste Objekte. Auch diese Begriffe werden in der Literatur häufig synonym verwendet (King et al. 2005). Im Folgenden wird vereinfachend nur der Begriff *Positionierung* verwendet.

2.3.2 Klassifizierung der Positionierungssysteme

Die Einteilung von Positionierungssystemen lässt sich nach ROTH (2005) durch Einsatzort und Einsatzart vornehmen. Der Autor unterscheidet zwischen Außenbereichssystemen, Innenbereichssystemen und netzwerkgestützten Systemen (Abbildung 2).

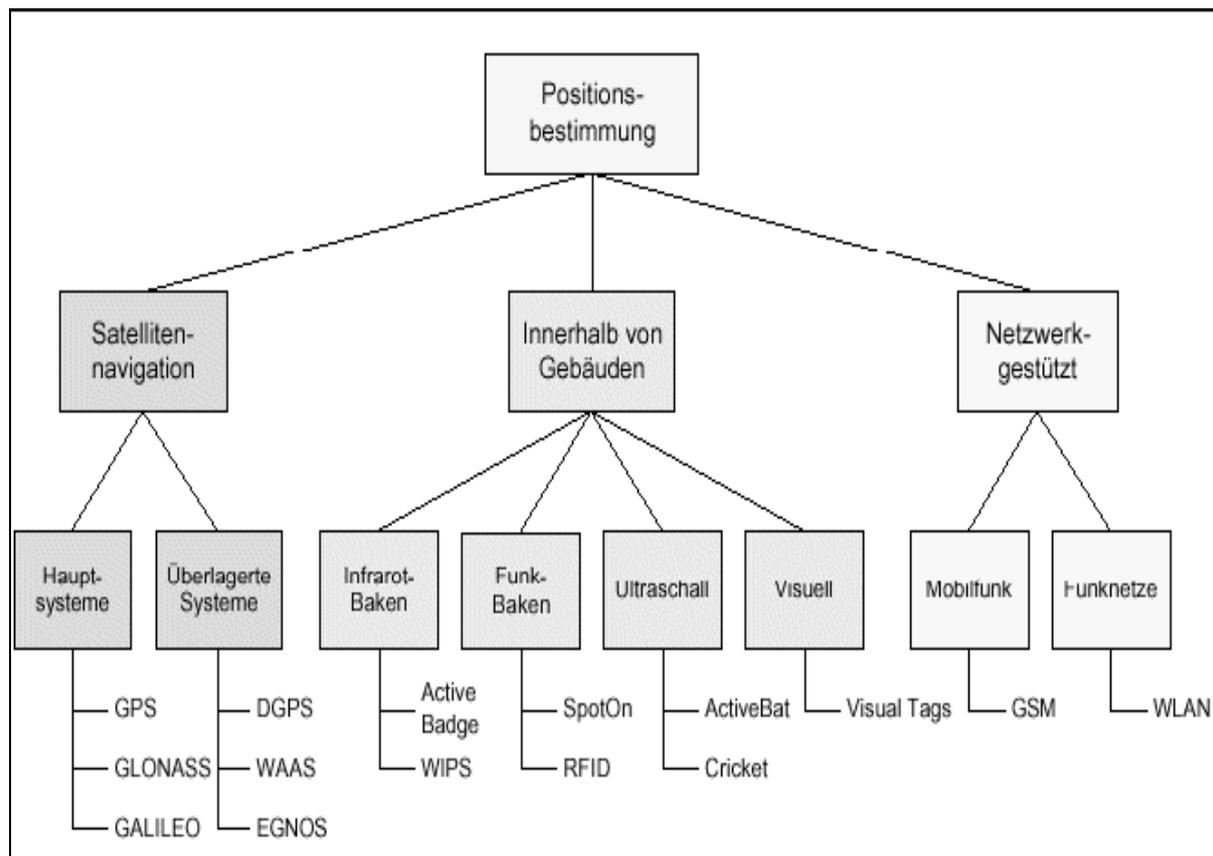


Abbildung 2: Übersicht zur Klassifikation von Positionierungssystemen (ROTH, 2005).

→ Außenbereichs-Systeme

Im Außenbereich findet vor allem die Satellitennavigation Einsatz. Hierbei ist natürlich der Sichtkontakt zu entsprechenden Satelliten wichtigste Prämisse. Dieser auf elektromagnetischer Strahlung basierende Sichtkontakt wird vor allem durch Hindernisse wie Wasser oder Gebäude beeinträchtigt, speziell im Inneren eines Gebäudes, aber auch in so genannten Häuserschluchten zwischen Hochhäusern großer Städte. Auch in sehr waldreichen Gebieten kann das Signal beeinträchtigt werden, so können in sehr stark ausgeprägtem, blattreichem und feuchtem Wald, wie er in den Tropen vorhanden ist, die Satellitensignale kaum die Baumkronen durchdringen. Es können auch Systeme, welche auf Funkwellen oder Ultraschall basieren, im Freilandbereich eingesetzt werden, Infrarot-basierte Systeme kommen jedoch wegen der Störanfälligkeit durch Sonnenlicht nicht außerhalb von Gebäuden zum Einsatz (ROTH 2005).

→ Innenbereichs-Systeme

Im Innenbereich kommen viele verschiedene Systeme zum Einsatz. Sie basieren in der Regel auf den Grundprinzipien Funk-, Ultraschall-, Infrarot-Technik oder auf einer Methode der visuellen Positionsbestimmung. Funksysteme sind robust und wenig stör anfällig, Funkwellen durchdringen in niedrigen Frequenzen auch Wände. Ultraschall ist sehr empfindlich und stör anfällig, aber auch extrem genau, vor allem auf kurzen Distanzen. Auch in Gebäuden kann Sonneneinstrahlung die Übertragung von Infrarotsignalen verhindern. Bei schwacher bis mittlerer indirekter Sonneneinstrahlung kann eine Funktionalität jedoch noch gewährleistet sein, und es können trotzdem gute Ergebnisse erzielt werden (ROTH 2005). Visuelle Systeme arbeiten mit der Auswertung von Video-Aufnahmen, wobei durch Muster (Visual Tags) gekennzeichnete Objekte von den Kameras erkannt und deren Entfernung zur Kamera errechnet wird (KALKUSCH et al. 2002).

→ Netzwerkgestützte Systeme

Netzwerkgestützte Systeme nutzen bereits existierende drahtlose Infrastrukturen wie GSM-Netze oder W-LAN. Vorteile sind die Kostenersparnis durch Nutzung von existierenden Strukturen und ein geringer Aufwand. Möglich ist eine grobe Positionsbestimmung durch Bestimmung der Funkzelle in welcher sich ein Objekt befindet (Cell of Origin-Methode, COO), eine Verfeinerung der Daten durch anschließende weitere Verfahren zur Laufzeitmessung oder Winkelbestimmung bietet sich an (ROTH 2005).

2.4 ANWENDUNGSBEREICHE DER POSITIONIERUNG

Die Anwendungsbereiche von Positionierungs-, Aktivitäts- und Wegstreckenbestimmungssystemen sind äußerst weitläufig. Einen Hauptanwendungsbereich spezieller Ortungssysteme stellt sicherlich der militärische Bereich dar. Auch die See-, Luft- und Raumfahrt könnten ohne präzise Positionierung nicht mehr arbeiten.

In der Logistik sind Positionierungssysteme nicht mehr wegzudenken, jedoch auch im Verkehr wurde durch die Einführung der LKW-Maut die Positionierung nötig.

Weitere Anwendungsbereiche lassen sich in der Industrie finden, jedoch auch im Leistungssport und in der Forschung an Mensch und Tier. Zunehmende, wenn auch umstrittene Bedeutung gewinnt die Überwachung von Menschen und Tieren, wie sie beispielsweise in den USA erfolgreich an Kindern, Senioren oder Straftätern durchgeführt wurde. Auch in Deutschland sind kommerzielle Systeme erhältlich, um beispielsweise Kinder per Handynetze zu orten. In der Biologie steht das Gewinnen von Daten wildlebender Tiere im Vordergrund. Hierbei können wertvolle Hinweise beispielsweise zu Gruppierungen, Habitaten, Flächennutzungen oder Zug- und Wanderrouten von Tieren gewonnen werden. Im Teilgebiet Verhaltensforschung können speziellere Aufgabenstellungen bedient werden: hier können einzelne Verhaltensweisen näher beleuchtet werden, es können Stunden-, Tages- oder Jahresprofile erstellt und Rhythmen aufgezeigt werden. Im Besonderen im Bereich der Landwirtschaft werden Methoden zur Identifizierung, Positionierung und Aktivitätsbestimmung von Tieren eingesetzt. Hierbei liegen die Schwerpunkte auf der Tiererkennung beziehungsweise Identifizierung, dem Betrieb von automatischen Einrichtungen zur Fütterung und zum Melken. Einen großen Anteil hat auch die Bestimmung der Bewegungsaktivität zur Terminierung eines Brunstgeschehens bei Rindern. Auch das Management von Viehbeständen kann hierdurch erleichtert werden. Als Grundidee des so genannten *Precision Livestock Farming* gilt die exakte und differenzierte Erfassung von Produktionsdaten, um nach diesen Vorgaben den Produktionsprozess zu steuern (SCHÖN et al. 2001). Ziel ist es, Eingangsgrößen in Abhängigkeit von den Ausgangsgrößen so zu regeln, dass ein optimales Produktionsergebnis erzielt wird (SCHÖN und ARTMANN 1993). Übergeordnetes Ziel des Precision Livestock Farming ist also eine auf das Einzeltier bezogene Versorgung, Überwachung und Herdenführung (SCHÖN et al. 2001) bei gleichzeitig möglichst weitgehend automatisierten Arbeitsabläufen und nur einmaliger Datenerfassung (RATSCHOW 2005), eine Ausrichtung der Haltungssysteme an die individuellen Ansprüche der Tiere soll ermöglicht werden (SCHÖN et al. 2003). Die Unterstützung des Landwirtes in den Bereichen Tiergesundheit, Futteraufnahme, Reproduktionszyklus sowie Leistungsdaten kann durch elektronische oder mechanische Sensorsysteme erfolgen. Somit kann auch bei artgerechter Haltung eine intensive Einzeltierbetreuung erfolgen. Als Voraussetzungen für das Precision Livestock Farming nennt RATSCHOW (2005) die qualifizierte Datenerfassung vor

Ort, die Datenüberwachung und Datenpflege, die Steuerung und Regelung der Prozessabläufe sowie den Datenaustausch und die Datenverrechnung, welche gewährleistet sein müssen. Als Schlüsseltechnologie in der rechnergesteuerten Tierüberwachung kann die elektronische Tieridentifizierung angesehen werden, welche den Grundbaustein der automatisierten Dokumentation und Prozessteuerung darstellt. Jedoch muss klar zwischen Anwendungen im Bereich der Prozesstechnik und Untersuchungsmethoden in der Verhaltensforschung an sich unterschieden werden, die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf letztere.

Je nach Anwendungsbereich werden verschiedene Positionierungssysteme eingesetzt, welche auf unterschiedlichen Prinzipien beruhen: Die wichtigsten Verfahrensweisen zur Positionierung und Aktivitätsbestimmung basieren auf *optischen, akustischen, elektro-mechanischen oder elektro-magnetischen* Grundlagen. Verfahrensweisen wie beispielsweise die *olfaktorische Ortung* (mittels Geruchssinn), wie sie erfolgreich im Bereich der Schutz- und Rettungshundetätigkeit ausgeübt wird, sind kommerziell nicht nutzbar und werden hier bewusst ausgeklammert.

2.5 OPTISCHE VERFAHREN

Bereits sehr früh in der Menschheitsgeschichte, 150 v. Chr., erfolgte eine Orientierung und Verständigung der Menschen untereinander durch Rauchzeichen. Ein erstes historisches Positionierungsmittel ist der so genannte *Sextant*, mit Hilfe dessen durch Winkelbestimmungen des Sonnenstandes und der Uhrzeit eine Position bestimmt werden konnte. Das System arbeitete jedoch nur auf wenige Kilometer genau und es war eine exakte Kenntnis der Uhrzeit nötig. Es konnte jedoch zur Bestimmung der Uhrzeit durch Winkelmessungen auch nachts am Sternenhimmel eingesetzt werden. Optische Verfahren beruhen, ebenso wie die später aufgeführten elektromagnetischen Verfahren, auf dem elektromagnetischen Wellenspektrum. Da es sich hier jedoch um den Bereich des sichtbaren Lichtes handelt und das Funktionsprinzip abweichend funktioniert, werden die optischen Verfahren als eigenständiges Kapitel aufgeführt. In den Bereich der optischen Verfahren fallen also alle Methoden, welche eine Ortsbestimmung mit Hilfe optischer Geräte ermöglichen.

2.5.1 Visuelle Ortsbestimmung (Direktbeobachtung)

Das einfachste Gerät zur visuellen Ortsbestimmung ist das menschliche Auge. Mit Hilfe dieses speziellen Organs erreicht der Mensch eine Orientierung innerhalb seiner Umwelt. Es können jedoch auch andere Objekte visuell lokalisiert und beobachtet werden. Eine einfache und instrumentell wenig aufwendige Methode der Positionierung ist die so genannte *Direktbeobachtung* von Menschen, Tieren oder Objekten. Die Direktbeobachtung von Tieren ist eine klassische Methode der Verhaltensforschung, welche beinhaltet, dass eine Person ein Tier oder eine Gruppe von Tieren vor Ort direkt beobachtet und Notizen über ausgewählte Verhaltensparameter führt (HOY 2009). Sie impliziert geringen materiellen und personellen Aufwand, ist nicht ortsgebunden und beeinträchtigt das natürliche Verhalten der Tiere in der Regel nicht, wenn eine Eingewöhnungszeit der Tiere an den Menschen voranging. Die Anwesenheit eines Menschen kann sich jedoch trotzdem auf bestimmte Verhaltensweisen der Tiere auswirken, so dass diese nicht oder in veränderter Form gezeigt werden. Hier spielt nicht nur die Sicht, sondern auch bereits das Wittern von Menschen in der Nähe eine bedeutende Rolle (NAGUIB 2006; HOY 2009). Nachteil der Methode Direktbeobachtung ist der hohe Zeitaufwand der beobachtenden Person, sowie die Nicht-Wiederholbarkeit bestimmter unklarer Sequenzen. Limitierender Faktor ist die Konstitution der beobachtenden Person(en), da zum Einen nur eine bestimmte Anzahl an Verhalten gleichzeitig beobachtet und notiert werden kann, zum Anderen lässt die Konzentration nach. Bei mehreren beobachtenden Personen kommen durch subjektive Beurteilung weiterhin auch Abweichungen in der Erfassung von Daten zum Tragen. Daher müssen vor Beginn einer Untersuchung die zu beobachtenden Verhaltensweisen klar definiert werden, damit sie auch von anderen Beobachtern repliziert werden können (NAGUIB 2006). Für die Gewinnung von Daten zur Verhaltensanalyse durch Beobachtungen (Direktbeobachtung respektive Videobeobachtung) gibt es im Allgemeinen zahlreiche verschiedene Herangehensweisen. Meist ist es nicht möglich, z.B. alle Verhaltensweisen aller Tiere einer größeren Herde über einen langen Zeitraum zu erfassen. Da das, je nach Fragestellung, jedoch meist auch nicht nötig ist, wurden verschiedene Methoden entwickelt, wie man unter Einsparung von Zeit trotzdem verlässliche Aussagen zu den gesuchten Verhaltensmerkmalen treffen kann. Hierbei

unterscheidet man zunächst verschiedene Beobachtungsmethoden, diese legen die Aufzeichnungsdauer fest, in der beobachtet wird (JENSEN et al. 1986):

- Continuous recording: Hierbei erfolgt eine kontinuierliche zeitliche Erfassung von vorher festgelegten ausgewählten Verhaltensparametern.
- Time sampling: Bei dieser Stichproben-Methode wird, um Zeit einzusparen, nur in bestimmten Zeitintervallen von Minuten, Stunden oder Tagen der jeweilige Zustand beobachtet. Gängige Beobachtungsintervalle liegen im Minutenbereich von 1 bis 20 Minuten, in der verbleibenden Zeit werden keine Notizen gefertigt.

Weiterhin unterscheidet man verschiedene Erhebungsmethoden, um bestimmte Verhaltensweisen von Tieren zu erfassen (ALTMANN 1974):

- Ad libitum sampling: Der Untersucher beobachtet je nach Gelegenheit. Anwendungsgebiet dieser Technik ist eine erste Übersicht über eine Lage zu verschaffen, sowie Anhaltspunkte für weitere speziellere Untersuchungen zu erhalten.
- Focal sampling: Der Beobachter konzentriert seinen Fokus auf ein bestimmtes Tier oder eine bestimmte Verhaltensweise.
- Scan sampling: Hier wird eine Gesamtfeststellung aller gleichzeitig ablaufenden Aktivitäten angestrebt.
- Instantaneous sampling: Jedes Auftreten einer bestimmten Verhaltensweise in einer Gruppe wird registriert.
- Predominant Activity sampling: Nur eine bestimmte, dominante Verhaltensweise wird registriert.
- Sequence Sampling: Die Aufeinanderfolge bestimmter Verhaltensweisen wird ausgewertet.

- One-Zero-Sampling: Der Beobachter unterscheidet ausschließlich das Auftreten oder Nichtauftreten einer bestimmten Verhaltensweise in festgelegten Beobachtungszeiträumen.

Je nach Einsatz und verfolgtem Zweck haben die verwendeten Methoden verschiedene Vor- und Nachteile. Sie können unter Umständen viel wertvolle Zeit sparen und dennoch aussagekräftige Ergebnisse liefern. In einer über mehrere Jahre laufenden Beobachtungsstudie an verschiedenen Spezies in einem zoologischen Garten konnten die Autoren herausarbeiten, dass Sampling-Methoden zuverlässige Ergebnisse lieferten (MARGULIS und WESTHUS 2008). Je nach untersuchtem Verhaltensmerkmal kann eine Beobachtung nur in gewissen Zeitabständen jedoch auch große Differenzen zum tatsächlich aufgetretenen Verhalten aufweisen. BOCKISCH (1983) untersuchte diesen Aspekt in einer Simulationsstudie an Rindern: In simulierten Intervallbeobachtungen konnte er relative Abweichungen bei unterschiedlichen Intervallgrößen gegenüber der laufenden Beobachtung herausstellen, vor allem in Bezug auf kurzzeitige Verhaltensweisen. Da jedoch gerade die kurzzeitigen Verhaltensweisen wertvolle Parameter für die Einordnung von Stallsystemen darstellen, gestalten sich in diesem Bereich Intervallbeobachtungen problematisch. Bei der Bestimmung der täglich zurückgelegten Wegstrecken ermittelte BOCKISCH bei Beobachtungen in einem 10-Minuten-Intervall Abweichungen von 40%, bei einem 30-Minuten-Intervall Abweichungen von 60%, der tatsächlich zurückgelegten täglichen Wegstrecke von Kühen im Liegeboxenlaufstall. HIRATA et al. (2002) untersuchten die Effekte des Aufnahme-Intervalls auf die Schätzung des Weideverhaltens von Rindern. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass Aufnahmeintervalle von 10 bis 30 Minuten die Weidezeit und das Wiederkauen unterschätzten, die Ruhezeiten jedoch überschätzten. Intervallbeobachtungen von einer Minute bis zu fünf Minuten hingegen brachten korrekte Schätzungen bezüglich des tatsächlichen Verhaltens. Bei allen berücksichtigten Aktivitäten der Kühe (Grasen, Liegen und Wiederkauen), stiegen die Schätzungsfehler an, sobald die Aufnahmeintervalle fünf Minuten überstiegen. Das Fressverhalten von Rindern auf der Weide betreffend, kam HASSOUN (2002) zu anderen Ergebnissen. Er fand bei verschiedenen Direktbeobachtungsintervallen von 5, 10, 15 und 20 Minuten nur wenig Abweichungen und hält alle Frequenzen für möglich. Die Ergebnisse der Arbeit legen nahe, dass eine Frequenz von 10 Minuten

am besten geeignet ist, da sie wenig aufwendig ist und nur geringfügig von den Ergebnissen des 5-Minuten-Intervalles abweicht.

2.5.2 Erfassung per Videokamera und Videotracking

Ein ähnliches Prinzip wie die Direktbeobachtung verfolgt die Beobachtung von Objekten per Videokamera. Hierbei können die gleichen Verhaltensparameter erfasst werden wie bei einer Direktbeobachtung, besondere Sequenzen sind jedoch reproduzierbar und beliebig oft zu wiederholen. Auch besteht keine zeitliche Bindung an eine bestimmte Beobachtungszeit, da bei ausreichender Sicherung der Daten diese jederzeit zur Verfügung stehen und eine Auswertung beliebig unterbrochen werden kann (HOY 2009). Auch für die Videoauswertungen gelten vorhergehend genannte Sampling-Methoden. Nachteil einer Videobeobachtung ist, dass der direkte Kontakt zum beobachteten Objekt und seiner Umwelt fehlt. Ereignisse, welche sich außerhalb des Sichtfeldes der Kamera abspielen, werden nicht erfasst und können Werte verändern. Geräusche wie Vokalisationen der Tiere, z.B. Wiehern oder Zähneknirschen, sowie Geschehnisse außerhalb des Sichtfeldes der Kameras werden nicht erfasst (CAANITZ et al. 1991; HOFFMANN et al. 2007). Weiterhin ist für eine gute Sichtbarkeit von Tieren auf Videoaufnahmen eine passende Ausleuchtung der entsprechenden Zonen nötig, vor allem bei Nacht. Eine zu starke Beleuchtung hingegen kann unter Umständen das Verhalten der beobachteten Tiere beeinflussen (POURVOYEUR et al. 2006). Ebenfalls müssen die Tiere individuell markiert werden, um eine gute Unterscheidbarkeit zu gewährleisten. Die Auswertung von Videodaten ist zwar praktikabler als die Direktbeobachtung, jedoch ist der zeitliche Aufwand als ähnlich hoch anzusehen. Vor allem bei der Analyse von 24-Stunden-Intervallen ist die computerassistierte Auswertung aller Aktivitätsparameter als sehr komplex anzusehen (POURVOYEUR et al. 2006). Speziell zur Verhaltensanalyse von Menschen und Tieren wurden einige Computerprogramme entwickelt, welche zur leichteren Auswertbarkeit und besseren Dokumentation benutzt werden können. Die in der Nutztierethologie meist genutzten Programme sind die Systeme *Observer*[®] (Firma Noldus) sowie *Interact*[®] (Firma Mangold) und *Biobserve*[®] (Firma Biobserve), welche nach einem ähnlichen Prinzip arbeiten. Sie erfassen Verhaltensweisen automatisch, indem man das vorher definierte Verhaltensmuster mittels Start- und Endzeit markiert (HOY 2009).

Weiterhin gibt es die Möglichkeit, Videodaten mehr oder weniger automatisiert zu verarbeiten. Dies geschieht durch das so genannte Video-Tracking. Hierbei können bewegte Objekte automatisch erfasst und ihre Bewegung digital verfolgt werden (HOY 2009). In der Regel erfolgt die Erkennung von Objekten durch grafische Muster. Diese können durch Kameras erkannt werden und nach genauer Kenntnis der Umgebung kann ein Rechner anhand der Größe des Musters abschätzen, wie weit ein Muster entfernt ist und wo im Raum es sich befindet. Dies geschieht bei Anwendung so genannter *Visual Tags*, einer Art Etiketten, welche am Objekt befestigt werden, durch rote und grüne Quadrate. Über die Anordnung dieser Quadrate können, ähnlich einem Barcode, einfache Informationen codiert werden. Da die Größe der Etiketten bekannt ist, kann daraus die Entfernung zur Kamera und die Orientierung im Raum ermittelt werden (KALKUSCH et al. 2002). Im Bereich der Verhaltensforschung wurde diese Art der Anwendung ermöglicht durch das Programm *Ethovision*[®] (Firma Noldus), welches mit Hilfe von Video-Tracking arbeitet. Hierbei wird durch einen Kontrast zwischen Bodenbelag und Tier das Untersuchungsobjekt erkannt und automatisch verfolgt, hierdurch können zurückgelegte Wegstrecken, Geschwindigkeiten, Aufenthaltsdauern sowie auch spezielle Verhaltensweisen selbständig vom Computerprogramm erkannt werden. Es kommt meist im Rahmen pharmakologischer Standardtests an kleinen Labortieren zum Einsatz (HOY 2009), kann aber auch beispielsweise zur Erforschung von Insektenbewegungen genutzt werden (NOLDUS et al. 2002). Auch die Software *Video Motion Tracker*[®] (Firma Mangold) erfasst eigenständig die zurückgelegten Wegstrecken von zuvor markierten Tieren. In einem Vergleich mit der Software *Ethovision*[®] wurden ähnliche, von Ferkeln zurückgelegte, Wegstrecken ermittelt (BRENDLE et al. 2009). Das System *VIS.TRACK*[®], welches mit Hilfe von zwei Kameras und Computeralgorithmen arbeitet, ist von der Firma CAIROS Technologies AG, Ismaning entwickelt worden (2010a). Es ermöglicht Echtzeit-Analysen und kommt im Sportbereich (derzeit ausschließlich im Fußball) zum Einsatz; es wurde bisher nicht im Tierbereich eingesetzt.

2.5.3 Photogrammetrie

Die Photogrammetrie ist eine Methode, mit welcher Bilder von Objekten vermessen werden können. Hierbei unterscheidet man zum einen nach der Lage des

Aufnahmeortes (Erbild- oder Luftbildmessung), zum anderen nach der Anzahl der zur Auswertung benötigten Bilder (Einbildphotogrammetrie bei ebenen Objekten, Stereophotogrammetrie bei dreidimensionalen Objekten). Anwendungsgebiete der Photogrammetrie finden sich im Ingenieurwesen, in Architektur, Archäologie, Medizin oder aber Tierverhaltensforschung (BOCKISCH 1985). ZIPS (1983) arbeitete im Tierbereich mit einer Form der Photogrammetrie. Er verwendete die modifizierte Nahbereichsphotogrammetrie, welche mittels Stereoanalyse digitaler Bildpaare arbeitet. Das Tierverhalten von Rindern in einem Liegeboxenlaufstall konnte mit dieser Methode registriert und quantifiziert werden. Hierbei wurden Reihenbildkameras im Stall aufgestellt und durch die Erstellung von Bildpaaren sowohl eine dreidimensionale Standortbestimmung, als auch eine Aktivitätsanalyse der Tiere vorgenommen. Die Steuerung der Bildauslösung wurde manuell geregelt, in Zeiten in denen viele Verhaltensmerkmale auftraten, konnten somit viele Bilder gemacht werden und die Genauigkeit der Erfassung war höher. Vorteil dieser Methode ist die berührungsfreie Erfassung der Verhaltensdaten. Die Informationen der Bilder können beliebig oft ausgewertet werden, die Auswertung kann automatisiert mit Hilfe von Computern erfolgen. Es handelt sich jedoch um eine statische Methode, welche das Verhalten nicht sofort in Echtzeit erfasst. Auch BOCKISCH (1985) wendete die Methode der Nahbereichsphotogrammetrie an. Er untersuchte das Verhalten von Kühen im Liegeboxenlaufstall, insbesondere im Bezug auf Fress-, Liege- und Lokomotionsverhalten, um daraus Rückschlüsse als Parameter zur Beurteilung von Stallsystemen zu ziehen. Simulierte Intervallbeobachtungen dienten hier dem Nachweis, dass gerade kurzzeitige Verhaltensweisen bei Beobachtungen in größeren Intervallen nicht genau erfasst werden und zu Fehlinterpretationen führen können.

2.5.4 Motografie

Die Motografie ist eine Technik, welche Bewegungen als Lichtspuren auf Filmen aufzeichnet und somit eine qualitative Analyse der Bewegungen ermöglicht. Anwendung findet diese Methode häufig in der Sportmedizin, in der Ergonomie oder der Bewegungstherapie. Im Tierbereich wird sie derzeit meist zur computergestützten Ganganalyse bei Pferden oder Hunden eingesetzt (*Movement Science Group*, Veterinärmedizinische Universität Wien (2010h)). GEORG et al. (1999) führten

Bewegungsanalysen von Fressvorgängen bei Milchkühen mit Hilfe der Online-Motografie durch, welche die klassische Motografie mit digitaler Bildverarbeitung kombiniert. Hierbei wurde die Fragestellung untersucht, ob körperlich kleinere Tiere an einem Vorrück-Fressgitter benachteiligt sind. Der Fressbereich wurde mit CCD-Kameras ausgestattet, die Kühe erhielten spezielle Halfter, an welchen im Bereich des Flotzmauls Leuchtdioden angebracht wurden. Somit konnten, mit Hilfe der Aufnahmen, räumliche und zeitliche Analysen des Fressvorganges auf verschiedenen Höhen durchgeführt und bestimmte Präferenzbereiche der Tiere ermittelt werden. Als Bewertungsverfahren für die Fressplatzgestaltung lieferte die Motografie in dieser Untersuchung gute Ergebnisse.

2.6 AKUSTISCHE VERFAHREN

Ein frühes Verfahren zur akustischen Raumorientierung setzten bereits die Wikinger mit dem Nebelhorn ein. Das Prinzip war einfach: im dichten Nebel konnten Schiffe ein Signal ausstoßen, welches über viele Kilometer hörbar war und als Positionssignal für andere Schiffe diente. Das System arbeitete sehr ungenau, da keine einheitliche Lautstärke der Hörner erreicht wurde, dadurch war auch keine genaue Entfernungsbestimmung möglich. Nebelhörner sind auch heute noch Pflicht bei Linienschiffen, auch wenn sie aufgrund des Radarsystems eigentlich nicht mehr nötig sind.

2.6.1 Ultraschall-Systeme

Ultraschall sind Töne in einem Frequenzbereich zwischen 20 Kilohertz bis zu einem Gigahertz, welche für den Menschen nicht hörbar sind, da sie über seinem Hörbereich liegen. Viele Tiere nehmen diesen Frequenzbereich jedoch wahr: Delfine und Fledermäuse orientieren sich mittels Ausstoß von Ultraschallsignalen und deren Reflektionen im Raum, Hunde reagieren auf Ultraschallpfeifen, und Ratten sowie Mäuse kommunizieren auch im Ultraschallbereich miteinander (EIBL-EIBESFELDT 1999). Technische Anwendung findet Ultraschall mittels Echolot und Sonar zur Ortung und Navigation von Schiffen. Jedoch kann Ultraschall auch zur Positionierung in Gebäuden eingesetzt werden. In geschlossenen Räumen herrschen konstante Bedingungen, wie sie für den Einsatz von akustischen Systemen ideal sind.

Ultraschallbasierte Systeme verfügen in der Regel nur über geringe Reichweiten, sie werden beeinträchtigt durch Bildung von Echos und unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten des Schalls, diese wird wesentlich von Luftdruck und Temperatur beeinflusst. Für den Menschen sind Ultraschallfrequenzen nicht zu hören und der Einsatz gilt als unproblematisch. Es gibt zwei verschiedene Möglichkeiten der Ultraschall-Positionierung: am zu positionierenden Objekt wird ein Ultraschallsender angebracht, dessen Schall über fest angebrachte Sensoren geortet wird, oder von den Sensoren wird ein Signal ausgesendet und dann das Reflektionsbild ausgewertet. Mittels Ultraschall können in sehr hoher Genauigkeit Abstände zwischen Sendern und Empfängern ermittelt werden. Die Ausbreitungszeit eines Ultraschallsignals ist proportional zur Entfernung, somit kann durch Messung der Zeit, die das Signal vom Sender zum Empfänger benötigt, leicht die Entfernung genau bestimmt werden (ROTH 2005). Mit dem Forschungsprojekt *ActiveBat*[®] wurden Genauigkeiten von 10 cm erreicht. Hierbei werden Empfänger, so genannte Bats, getragen, welche nach Aufforderung über Funk durch einen zentralen Server kurze Ultraschallimpulse ausstoßen. Dieses Signal wird von an der Decke befestigten Empfängern zum Location Server weitergeleitet, welcher die Positionen der Bats berechnet (ROTH 2005). Ein ähnliches System ist *Cricket*[®], ebenfalls ein Forschungsprojekt, bei welchem aber das Prinzip von Sender und Empfänger komplementär funktioniert. Es senden dabei die fest installierten Komponenten den Ultraschall aus, welcher von den mobilen Geräten empfangen wird. Das Cricket-System arbeitet ohne zentralen Server. Ziel dieses Systems ist jedoch nicht die exakte Positionsbestimmung, sondern eine Art Informationsdienst für den Nutzer, wenn er einen Raum betritt (ROTH 2005). Die Anwendung von ultraschallbasierten Technologien im Tierbereich hat sich nicht durchsetzen können. Aufgrund eines umfangreicheren Hörbereiches können sehr viele Tierarten Töne in diesen Frequenzbereichen wahrnehmen. ALGERS (1984) konnte in einer Untersuchung an landwirtschaftlichen Nutztieren deutlich zeigen, dass diese Tiere auf die Ultraschalltöne eines Rattenbekämpfungssystems reagierten. Die Reaktionen schwankten zwischen Ohrenspitzen und Wenden des Kopfes in die entsprechende Richtung bis hin zu starken Unruhe-Erscheinungen. Die Umweltschutzorganisation GREENPEACE brachte in einer Meldung auf ihrer Internetseite das gehäufte Sterben von Meeressäugern mit dem Einsatz von Sonartechniken in Verbindung (2008).

Daher liegt es nahe, dass akustische Systeme nicht tiergerecht sind und sie im Tierbereich keine Anwendung finden können.

2.7 ELEKTROMECHANISCHE VERFAHREN

Mechanische Verfahren sind zur dreidimensionalen Positionsbestimmung im eigentlichen Sinne weniger geeignet. Jedoch können mit Hilfe *Sensorbasierter Datenerfassung* Aussagen über die Position eines Tieres im Raum getroffen werden (Stehen, Liegen), weiterhin über die Aktivität der Tiere oder über zurückgelegte Strecken. Im Gegensatz zur Direkt- und Videobeobachtung von Tieren erfolgt die sensorbasierte Datenerfassung mit meist elektrischen, mechanischen oder elektromechanischen Geräten, welche in der Regel nicht-invasiv am Tier angebracht werden oder sich in dessen Umgebung an Elementen des Haltungs- oder Produktionssystems befinden und mit den Tieridentifikationssystemen (i.d.R. Ohrmarken) Kontakt zum Einzeltier aufnehmen. Die Anwendungsbereiche liegen, je nach zu erwartenden Messparametern, sowohl in der Forschung, als auch im praktischen Einsatz in landwirtschaftlichen Betrieben, besonders in Hinsicht auf ein Precision Livestock Farming. Die zunehmende Automatisierung und Mechanisierung im Tierhaltungsbereich verlangt für die Tierüberwachung Systeme mit kontinuierlicher Messwerterfassung, Datenspeicherung und Übertragung, sowie bei Bedarf deren Abrufbarkeit von einem zentralen PC (BREHME et al. 2002). Das Datengewinnungssystem an sich darf keinen störenden Einfluss auf das Tier und sein Verhalten ausüben (SCHEIBE et al. 2003). Die Möglichkeiten in der nicht-invasiven Tierdatenerhebung und Verhaltensmessung wurden entscheidend verbessert (BREHME et al. 2004); vor allem im Bereich der Milchviehhaltung werden häufig Messsensoren eingesetzt und ihr Einsatz ist dort etabliert. Der Bereich der sicheren Brunsterkennung spielt hier eine große wirtschaftliche Rolle. Auch die Erfassung der Milchparameter Menge, elektrische Leitfähigkeit sowie der Tieraktivität können das Herdenmanagement verbessern (STUMPENHAUSEN 2001). In eher extensiven Haltungen wie beispielsweise der Mutterkuhhaltung ist jedoch noch immer eher die Nutzung von Managementprogrammen üblich, welche auf menschlicher Beobachtung basieren (KAUFMANN und UHR 2002).

Die Anbringung von Sensoren am Tier kann diese mehr oder weniger stark in ihrem Verhalten beeinflussen oder sogar beeinträchtigen. Man geht davon aus, dass Technik die Tiere nicht stört, wenn sie diese mechanisch nicht behindert, sowie unter zwei Prozent des Körpergewichtes beträgt (BLANC und BRELERUT 1996). In einer Studie zur Tragfähigkeit von Pferden konnte gezeigt werden, dass diese kurzfristig bis zu 30 Prozent ihres Körpergewichtes tragen konnten, das entspricht einem Gewicht von 150 kg bei einem durchschnittlichen Pferd mit 500 kg Körpergewicht. Nach einer Stunde Standardbewegung (simulierte Reitstunde) zeigten sich erst bei Gewichten von 30 Prozent des Körpergewichtes signifikante Erhöhungen von Herzfrequenz, Blutlaktatwert, Muskelschmerzen und Verspannungen (POWELL et al. 2008).

Es gibt eine große Zahl verschiedener sensor- oder computergestützter Systeme, welche zur Ermittlung von physiologischen Aspekten oder Verhaltensparametern im Tierbereich eingesetzt werden können. Die unterschiedlichen Systeme differieren hierbei in der Fragestellung, welche Daten gewonnen werden sollen, und dementsprechend in der technischen Ausführung und in der Anbringung am Tier.

2.7.1 Pedometer

So genannte Pedometer oder Schrittzähler werden hauptsächlich bei Rindern zur Brunsterkennung eingesetzt. Es sind verschiedene Modelle von verschiedenen Herstellern erhältlich, welche sich in Technik und Datenverarbeitung unterscheiden (KLINDTWORTH et al. 2002). Das Funktionsprinzip ist jedoch bei allen Modellen ähnlich – es erfolgt eine Erfassung der Aktivität durch Zählung der auftretenden elektrischen Impulse. In den ersten Pedometermodellen geschah dies durch einen Quecksilbertropfen, welcher sich bei Bewegungen des Tieres in einem Glasröhrchen hin- und herbewegte und an zwei Kontaktpolen elektrische Impulse auslöste. Neuere Modelle dürfen jedoch nicht mehr mit Quecksilber arbeiten. Dort verwendet man eine magnetische Metallkugel, welche zwischen zwei Kupferspulen elektrische Impulse auslöst. Die modernste Pedometervariante sind so genannte ALT-Pedometer® (Ingenieurbüro Holz, Falkenhagen). Die Buchstaben ALT stehen für Aktivität, Liegezeit und Temperatur, welche von den Pedometern erfasst werden. Sie besitzen einen μ -Prozessor zur Erfassung und Speicherung der Messdaten, sowie einen

Piezosensor, welcher die Schrittaktivität erfasst. Ergänzt wird die Technik durch zwei digitale Lagesensoren zur Erfassung der Liegezeiten, ein Thermometer zur Messung der Umgebungstemperatur am Pedometer sowie eine Echtzeituhr zur besseren Synchronisierung der ermittelten Daten (BREHME et al. 2004). In einem frei wählbaren Zeitintervall von 1-60 Minuten können somit drei tierindividuelle Parameter kontinuierlich erfasst und gespeichert werden. Die Übertragung der Daten erfolgt manuell oder per Funkmodem zu einem PC. Entwickelt und primär eingesetzt wurde die Pedometer-Technik zur Brunsterkennung beim weiblichen Rind. Hierbei konnte in über 60 Rinderherden erfolgreich das Brunstgeschehen identifiziert, sowie automatisch über einen längeren Zeitraum kontrolliert und aufgezeichnet werden (BREHME et al. 2004). Jedoch auch an Pferden konnten Pedometer, speziell ALT-Pedometer, bereits in verschiedenen Untersuchungen eingesetzt werden. BREHME et al. (2006) untersuchten den Biorhythmus von Pferden auf der Weide, in Einzelboxen sowie in Einzelboxen mit angegliedertem Paddock-Auslauf. Auch kamen ALT-Pedometer in einer Untersuchung zur Bewegungsaktivität und Stressbelastung bei Pferden in Auslaufhaltungssystemen zum Einsatz (HOFFMANN 2008). In beiden zuvor genannten Veröffentlichungen wird dazu geraten, das Pedometer an einem Hinterbein anzubringen, da es am Vorderbein häufiger zu Bewegungen kommt, welche nichts mit Fortbewegung als solcher zu tun haben, wie beispielsweise Scharren oder Spielverhalten, und somit zu falschen Ergebnissen führen können. BORCHERS (2008) überprüfte, ob ALT-Pedometer für den Einsatz als Fohlengeburtmelder geeignet sind. Dazu wurden 37 tragenden Stuten mit einem Pedometer ausgestattet und deren Daten zu Bewegungsaktivität und Liegeverhalten einige Tage vor der Geburt bis hin zur Geburt aufgezeichnet. Diese Daten wurden teilweise mit Videoaufnahmen verglichen. Es stellte sich heraus, dass Pedometer nicht zur Geburtsüberwachung bei der Stute geeignet sind, da erhöhte Bewegungsaktivitäten der Stute nicht automatisch mit einer einsetzenden Geburt korrelierten. Auch zeigten sich teils deutliche Differenzen zwischen den Daten der Pedometer und denen der gleichzeitig erfolgten Videoaufzeichnung. Ursachen hierfür waren jedoch nicht bekannt und wurden nicht näher beleuchtet.

2.7.2 Rescounter®

Rescounter® (Westfalia Landtechnik GmbH) sind Systeme, welche ähnlich wie Pedometer funktionieren und elektronisch die Bewegungsimpulse eines Tieres zählen. Die Sensorik ist hierbei jedoch in einem Halsband integriert. In den meisten Untersuchungen wurde festgestellt, dass bei der Anbringung von Aktivitätssensoren im Beinbereich bei Kühen die Brunst besser erkannt wurde als am Hals (KLINDT WORTH et al. 2002; BREHME et al. 2002). Es gibt jedoch auch Autoren, die nicht zu dem Ergebnis kamen, dass sich Aktivitätsänderungen bei Kühen in dieser Hinsicht durch Pedometer genauer erfassen lassen (WANGLER und WOLF 2002). Bisher wurden Rescounter® nicht beim Pferd eingesetzt. Da die alleinige Bewegungsaktivität, welche beim Pferd in Hinsicht auf ein Brunstgeschehen nicht von Interesse ist, von Pedometern besser angezeigt wird, besteht kein Grund, Rescounter® beim Pferd einzusetzen.

2.7.3 Actiwatch® Activity Monitoring System

Das Actiwatch® Activity Monitoring System (AMS, Philips Respironics Company) wurde für den Einsatz beim Menschen entwickelt, um Aktivitätsniveaus und tageszeitliche Rhythmen zu messen. Das Gerät wird häufig in der Diagnostik von Schlafstörungen eingesetzt, aber auch in der Verlaufskontrolle bei saisonal bedingten Depressionen (PJREK et al. 2003). Es konnte jedoch auch erfolgreich bei Studien an Tieren eingesetzt werden. In einem kleinen Gehäuse wurde ein piezoelektrischer Sensor untergebracht, welcher Anzahl und Dauer von Beschleunigungsimpulsen misst, welche im Bereich von über $0,49 \text{ m/s}^2$ liegen. Das Messintervall kann zwischen 2 Sekunden und 15 Minuten variiert werden. Die Anbringung am Tier erfolgt wahlweise an einem Bein oder dem Hals des Tieres und ist aufgrund der geringen Größe des Messgerätes einfach zu gestalten. AMS wurde bei Milchkühen eingesetzt und die ermittelten Daten parallel mit einer Videoanalyse verglichen (MÜLLER und SCHRADER 2003), was gute Übereinstimmungen ergab. Auch bei einer Untersuchung an Rentieren konnten aktive und inaktive Phasen mit einer hohen Genauigkeit unterschieden werden (VAN OORT et al. 2004). AMS wurde bisher nicht bei Pferden eingesetzt. Zur Bestimmung der Aktivitäten wäre dies jedoch möglich.

2.7.4 Heatwatch®

Heatwatch® (CowChips LLC) ist ein System, welches zur Erkennung von brünstigen Kühen entwickelt wurde. Es detektiert das typische Aufsprungverhalten brünstiger Kühe mittels eines Drucksensors, welcher mit einem Funkwellensender kombiniert ist. Die Befestigung des Gerätes erfolgt am Schwanz der Kuh. Durch den Aufsprung einer Kuh, welcher über zwei Sekunden hinausgeht, erfolgt die Aktivierung des Drucksensors und eine Weiterleitung der relevanten Daten an einen Computer, wo sie gespeichert werden und zur Verarbeitung zur Verfügung stehen (NEBEL et al. 2000; AT-TARAS und SPAHR 2001). AT-TARAS und SPAHR (2001) erreichten mit Hilfe des Heatwatch®-Systems in einer Untersuchung Brunsterkennungsraten von 87 % bei Milchkühen, was mehr als 20 % über der Erkennungsrate bei alleiniger visueller Brunstbeobachtung lag. Das System Heatwatch® wurde bisher nicht bei Pferden eingesetzt. Aufgrund der sehr speziellen Anwendungsgrundlage ergibt sich jedoch auch in der Zukunft kein Bedarf, Heatwatch® beim Pferd einzusetzen.

2.7.5 ETHOSYS®; VECTRONIC®

ETHOSYS® (IMF Electronic GmbH) ist ein nicht invasives Speichertelemetriesystem, welches Verhaltensdaten von größeren Säugetieren kontinuierlich misst (SCHEIBE et al. 1997). Sensoren in einem Halsband (Abbildung 3) erfassen die Parameter Aktivität und Futteraufnahme, wobei zwischen Bewegung als solcher und Bewegung mit dem Kopf des Tieres oben oder unten unterschieden werden kann. Letzteres wird dabei mit der Aufnahme von Futter vom Boden assoziiert, wie sie typischerweise beim Weiden auftritt. Die einzelnen Signale werden von einer Software miteinander verknüpft und vier logischen Zuständen zugeordnet. Die Daten können in 5- bis 60-Minutenintervallen gespeichert werden und werden mit Hilfe von Auslesestationen gewonnen. Je nach eingestelltem Intervall kann die Betriebs- und Speicherdauer des Halsbandes sieben (Intervall 5 Minuten) bis zu 85 Tage betragen (Intervall eine Stunde). In dieser Zeit muss das Tier an der Auslesestation vorbeikommen, was besonders bei Wildtieren eventuell einen Nachteil darstellen kann (SCHEIBE et al. 1997).

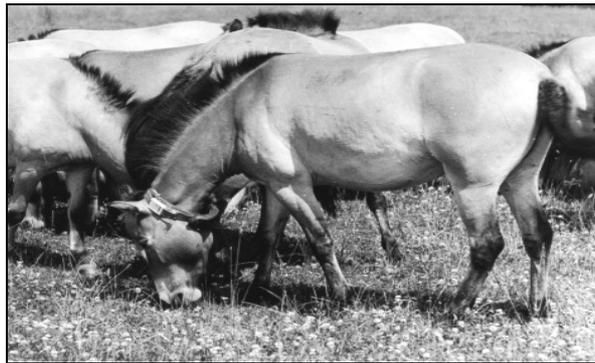


Abbildung 3: Halbwild lebendes Przewalski-Pferd, mit ETHOSYS-Halsband ausgestattet (SCHEIBE et al. 1997).

ETHOSYS[®] eignet sich besonders zur Erfassung von Verhaltensdaten über einen längeren Zeitraum. Dies wurde in mehreren Untersuchungen an wild lebenden Tieren oder extensiv gehaltenen Nutztieren erprobt (PEPIN et al. 2006). In einer vergleichenden Untersuchung über die Flächennutzung eines Naturschutzgebietes durch Rinder und Pferde, wurde ETHOSYS[®] auch bei Pferden eingesetzt. Zur Analyse der Aktivitätsrhythmik und Tagesmustern im Verhalten erwies es sich beim Pferd als geeignet, ebenso wie das parallel in der Untersuchung eingesetzte Halsband VECTRONIC[®] (Firma Vectronic Aerospace GmbH, Berlin), welches auf Basis des gleichen Prinzips arbeitet. Durch eine Veränderung in der Winkelung des Halses, wie sie beim Pferd während des Grasens entsteht, eignete sich das VECTRONIC[®]-Halsband auch zur Erfassung des Verhaltensmerkmals „Fressen“. Auch Aufenthaltsorte der Tiere, Distanzen der Gruppen Pferd und Rind zueinander sowie zurückgelegte Strecken konnten im Rahmen dieser Untersuchung mit beiden Halsband-Produkten erfasst werden (SCHIRRMANN 2008).

2.7.6 VIENNA[®]

Bei dem System VIENNA[®] (entwickelt von der Veterinärmedizinischen Universität Wien) handelt es sich um ein invasives System, welches mit Telemetrie arbeitet. Hierbei wird ein Transmitter einem Tier implantiert, welcher Herzfrequenz und Körpertemperatur misst. Diese Daten werden kombiniert mit den Daten eines Halsbandsensors, welcher Aktivitäten mit dem Kopf oben bzw. unten unterscheidet. Eine batteriebetriebene Datenempfangsstation bearbeitet den Funkempfang und die Speicherung der Daten, welche in Herzfrequenz, Körpertemperatur und Aktivität

unterschieden werden können. Die Weiterverarbeitung kann an einem PC erfolgen. Bei Einstellung von Aufzeichnungsintervallen à eine Minute hat das System eine Betriebsdauer von bis zu sechs Monaten, was lange Beobachtungszeiträume ermöglicht. Im Gegensatz zu ETHOSYS[®] identifiziert VIENNA[®] jedoch nur jegliche Aktivität, welche sich vom Liegen abhebt (BERGER et al. 1996). Ein Einsatz von VIENNA[®] beim Pferd ist nicht beschrieben, wäre für Versuchszwecke jedoch denkbar. Die Implantierung eines größeren Sensors wäre allerdings mit gesundheitlichen Gefahren verbunden und würde bei privat gehaltenen Pferden von Besitzern nicht toleriert werden.

2.7.7 APEC[®]

APEC[®] (entwickelt von der INRA Station, Theix) ist ein Sensor, welcher Kaubewegungen misst und beim Rind Fressen, Wiederkauen und Ruhen unterscheidet. Das System besteht aus einem pneumatischen Signalgeber, welcher unter dem Kiefer des Tieres befestigt wird und dort die Druckveränderungen registriert, welche beim Kauen entstehen. Diese werden interpretiert, einem Muster zugeordnet und in einem Datenlogger gespeichert. Das Messintervall beträgt 2,5 Sekunden, wodurch es zu einer geringen Betriebszeit von maximal sechs Tagen kommt. Langzeitbeobachtungen, beispielsweise von frei weidenden Rindern, sind mit diesem System daher nicht möglich. Hinzu kommt, dass zum Auslesen der Daten direkter Kontakt zwischen einem PC und dem Tier notwendig ist, was eine hohe Stressbelastung der Tiere nach sich zieht durch Vereinzelung und eventuelle Zwangsmaßnahmen. Der Einsatz bei extensiv gehaltenen, halbwilden oder wilden Tieren ist daher nicht möglich (BLANC und BERGER 1995). APEC[®] wurde für den Einsatz am Wiederkäuer, speziell am Rind, entwickelt. Der Einsatz am Pferd ist durch abweichendes Kauverhalten und fehlendes Wiederkauverhalten fraglich und wurde bisher nicht durchgeführt.

2.7.8 Sonstige sensorbasierte Systeme

Es wurden verschiedene Systeme entwickelt, welche im Körperinneren des Tieres zum Einsatz kommen. Meist handelt es sich dabei um Systeme, welche unter die Haut transplantiert werden, wie beispielsweise Mikrochips zur einfachen Identifikation

über eine Funkablesung (KLINDTWORTH et al. 1999). Dies kann ebenso über Ohrmarken oder beim Rind über Boli im Netzmagen erfolgen. Die Auslesung erfolgt meist über die RFID-Technik, auf welche in einem späteren Kapitel noch näher eingegangen wird. Diese Transponder tragen die Information zum Einzeltier, können aber auch teilweise erweiterte Funktionen bedienen, wie die Messung der Körpertemperatur (BREHME et al. 1999; BREHME et al. 2001a; EIGENBERG et al. 2008; GREEN et al. 2008). Auch dienen sie im Stallbereich häufig zur Benutzung von Kraffutterstationen durch die Tiere. HESSEL et al. (2008) ermöglichten erstmals eine simultane Einzeltiererkennung von mehreren Ferkeln gleichzeitig an einer Kraffutterstation, indem sie Transponder hoher Frequenz an den Ohrmarken der Ferkel befestigten. Bei Rindern wurden intravaginale Datenlogger eingesetzt, welche die Körperkerntemperatur sowie die elektrische Leitfähigkeit des Vaginalsehims zur Brunstbestimmung ermittelten (BREHME et al. 2001b). Ebenfalls beim Rind wurden intraruminale Messgeräte getestet, welche im Pansen der Tiere Daten zur Vormagenmotorik, Pansentemperatur sowie Leitfähigkeitsveränderungen im Pansensaft erfassten (SIEVERS 2005). Auch der für die Verdauungsvorgänge beim Rind sehr wichtige pH-Wert im Pansen konnte mit Hilfe eines telemetrischen Bolus gemessen und übermittelt werden (MOTTRAM et al. 2008). GABEL et al. untersuchten bereits im Jahr 1988 die Möglichkeit der Implantation von Transpondern zur Identifikation bei Pferden. Die Bioverträglichkeit wurde als exzellent eingestuft, es traten keine Lageveränderungen der Geräte im Tier auf. Nachfolgende mikroskopische Untersuchungen zeigten, dass sich um die Implantate eine fibröse Kapsel gebildet hatte, welche die Transponder im Gewebe fixierte. Lediglich die chirurgische Entfernung der Transponder beurteilten die Autoren als äußerst schwierig (GABEL et al. 1988). Laut Verordnung (EU) 504/2008 muss seit dem 01.07.2009 jedes, nach diesem Stichtag geborene Pferd, mit einem Mikrochip ausgestattet werden. Auch gibt es bereits Futterautomaten, welche durch im Pferd implantierte Sender gesteuert werden (Firma HIT (2010c)).

2.8 ELEKTROMAGNETISCHE VERFAHREN

Der Magnetismus ist in Form einfacher Magnete ebenso wie der Erdmagnetismus seit dem Altertum bekannt. Tiere nutzen durch biologische Positionsbestimmung den Erdmagnetismus zur Orientierung im Raum. Vor allem bei Vögeln wird ein Organ zur

Wahrnehmung des Erdmagnetismus vermutet, welches ihnen ermöglicht, weite Flugstrecken Richtung Süden oder Norden zu überwinden oder, wie bei Tauben, sich im Raum so zu orientieren dass der heimatliche Schlag wieder gefunden wird (EIBL-EIBESFELDT 1999). Natürliche Magnete waren den Menschen schon seit langer Zeit geläufig, ebenso die Möglichkeit, mit ihrer Hilfe eine Nord-Süd-Richtung zu bestimmen. In Form von Kompassen wurde dieses Phänomen genutzt, anfangs nur im Bereich der Astronomie, später als wichtige Hilfe zur Navigation in der Seefahrt. Der Kompass ist bis heute ein wichtiges Hilfsmittel und wird in Form von elektronischen Kompassen noch immer zur Orientierung genutzt. Nachdem Heinrich Hertz 1888 die Funkwelle entdeckte, ist diese in Kombination mit dem Magnetismus heute als elektromagnetische Welle bekannt. Die zentralen Eigenschaften der elektromagnetischen Welle sind ihre hohe Reichweite sowie die Fähigkeit, in begrenztem Maße auch feste Materie zu durchdringen. Der Einsatz von elektromagnetischen Wellen zur Positionierung hat den Vorteil, dass Funkwellen Wände durchdringen können. Durch das Messen der Signalstärke können Abstände zwischen Sender und Empfänger bestimmt werden. Hierbei wird die Stärke eines elektromagnetischen Signals mit dem Quadrat des Abstandes abgeschwächt, wobei Störquellen wie Hindernisse oder Variationen in der Sendeleistung bedacht werden müssen. Diese Fehler können jedoch minimiert werden, indem mehrere Sender in eine Berechnung einfließen. Durch Anbringung von Sensoren in mehreren Höhenebenen lässt sich eine dreidimensionale Positionsbestimmung realisieren (ROTH 2005).

2.8.1 Grundlagen der Positionsbestimmung durch elektromagnetische Signale

Eine korrekte Positionierung basiert zunächst auf einer Entfernungsmessung und Ortsbestimmung. Das einfachste, gleichzeitig aber auch ungenaueste Prinzip der Entfernungsmessung ist die *Messung der Signalstärke* zwischen Sender und Empfänger. Hierbei gilt eine Abnahme des Signals um $1/d^2$, wobei d die Entfernung zwischen Sender und Empfänger bezeichnet. Jedoch ist die Empfangsleistung nie konstant und schwankt mit den äußeren Bedingungen. Hierbei kommen zum Tragen die Freiraumdämpfung (Signalstärkeverlust), Reflektionen an größeren Flächen, Streuungen an kleinen Hindernissen (*Scattering*) sowie Beugung an scharfen Kanten (*Diffraction*), was in der Gesamtheit als *Multipathing* oder Mehrwegausbreitung

bezeichnet wird. In Gebäuden können elektromagnetische Wellen von verschiedenen Materialien reflektiert oder absorbiert werden, wobei reflektierte Wellen in der Lage sind, das Hauptsignal sowohl zu verstärken als auch abzuschwächen. Die Messung der Signalstärke ist daher zur Positionierung nur bedingt geeignet (ROTH 2005). Eine einfache und weit verbreitete Methode ist die zellenbasierte Positionsbestimmung, *Cell of Origin (COO)* dargestellt in Abbildung 4.

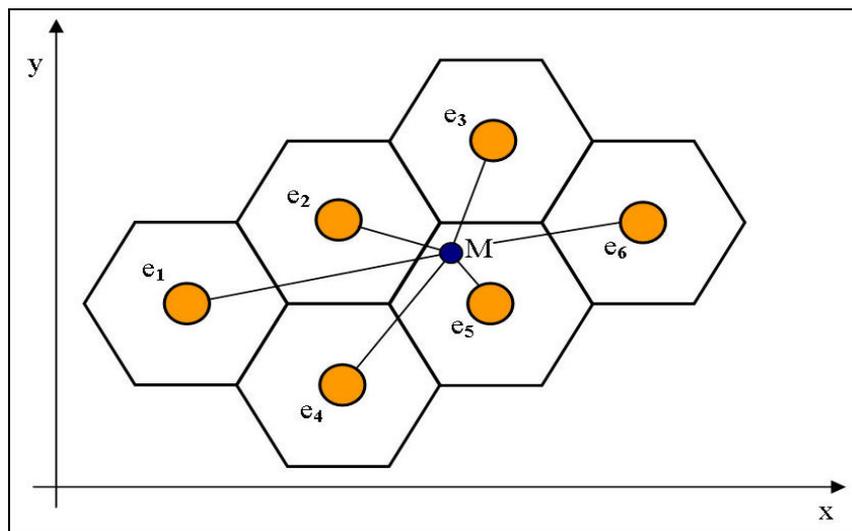


Abbildung 4: Ortungsmethode COO (Cell of Origin), ein auf Zellen basierendes System. Das mobile Gerät (M) wird in der Zelle geortet, in welcher es der jeweiligen Basis (e) am nächsten ist (nach TOST 2009).

Hierbei wird ein Signal in einer bestimmten Zelle eines aus Zellen aufgebauten Systems lokalisiert. Voraussetzung ist die Zellstruktur des Systems: jede Basisstation hat einen bestimmten Sendebereich und das mobile Gerät stellt immer eine Verbindung zu der Basisstation her, welche am nächsten liegt. Die Positionen der sendenden Basisstationen sind bekannt. Nimmt ein mobiles Gerät Kontakt zu einer solchen bekannten Station auf, weiß man in welcher Zelle es sich befindet, was jedoch in Hinsicht auf eine Positionierung relativ ungenau ist. Im ungünstigsten Fall handelt es sich hier um eine Positionierungsungenauigkeit vom Radius der Basisstation. Das Prinzip COO findet breite Anwendung im Bereich des Mobilfunks, wo die Netze aus einer solchen Zellenstruktur aufgebaut sind (TOST 2009). Je nach Zellengrößen kann es zu Ortungsungenauigkeiten von mehreren Kilometern kommen, vor allem in ländlichen Gegenden wo die Zellengrößen weit sind (ROTH 2005).

Ein genaueres und in der Positionierung wichtigeres Prinzip ist das der *Signallaufzeitmessung* (Abbildung 5). Hierbei wird die Laufzeit der elektromagnetischen Signale bestimmt, welche sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, und der Zeitunterschied zwischen Aussendung und Empfang des Signals gemessen. Dazu ist jedoch eine exakte Übereinstimmung der Systemzeiten von Sender und Empfänger nötig.

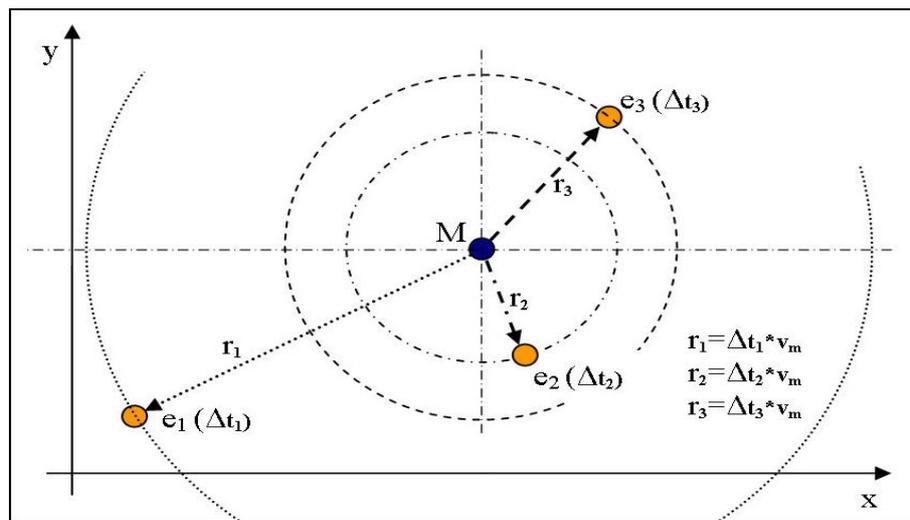


Abbildung 5: Prinzip der Signallaufzeitmessung. Aus der Differenz der Laufzeiten zwischen mobiler (M) und festen Stationen (e) wird die Position von M errechnet (nach TOST 2009).

Das in Abbildung 6 dargestellte Messprinzip *Round Trip Time of Flight (RTOF)* funktioniert, indem die Umlaufzeit eines Funksignals von Sender zu Empfänger und zurück ermittelt wird (TOST 2009).

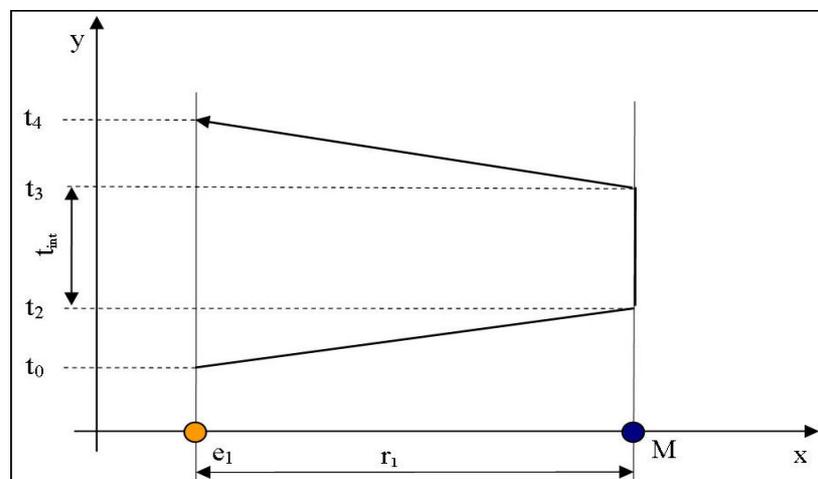


Abbildung 6: Prinzip des Round Trip Time of Flight (RTOF), nach TOST 2009.

Die Signallaufzeitdifferenz bestimmen die Methoden *Time of Arrival (TOA)* und *Time Difference of Arrival (TDOA)*. Beim Verfahren TOA ist der Sende- und Empfangszeitpunkt des Signals bekannt und aus der Zeitdifferenz lässt sich die Entfernung von Sender zu Empfänger bestimmen. Eine Messung wird in der Regel als Einwegmessung durchgeführt, das Signal wird nicht reflektiert. Sender und Empfänger müssen als wichtigste Grundvoraussetzung eine interne Uhr besitzen. Diese muss äußerst exakt synchronisiert werden, oder aber man setzt einen weiteren Empfänger ein, um die Zeitdifferenz zwischen Sender- und Empfängeruhr festzustellen. Das System GPS arbeitet mittels TOA, hierbei werden zur Positionierung drei Satellitensichtungen benötigt, ein vierter Satellit trägt zur Zeitfehlerkorrektur bei. Im Gegensatz zu TOA benötigt bei TDOA die zu ortende Station keine eigene Uhr. Hierbei genügt es, wenn mindestens drei Basisstationen das Signal einer mobilen Station empfangen, dieses mit einem Zeitstempel versehen und es zur weiteren Positionsberechnung weiterleiten. Aus den Differenzen der Zeitstempel kann die Position der mobilen Station errechnet werden (ROTH 2005).

Eine Positionierung kann auch über eine *Winkelbestimmung* erfolgen, das Funktionsprinzip heißt hier *Angle of Arrival (AOA)*. Dazu müssen die Basisstationen bestimmte Antennen beinhalten, über welche es ermöglicht wird, den Eingangswinkel des Signals zu messen. Signale werden nun auf einer Geraden in einem bestimmten Winkel zum Boden ausgestrahlt, die Schnittpunkte dieser Geraden ermitteln die Position des mobilen Gerätes. Theoretisch sind hier zur Positionsbestimmung nur zwei Basisstationen nötig, mehrere erhöhen jedoch die Genauigkeit, da mit Messabweichungen gerechnet werden muss. Auch der Positionierung durch Winkelbestimmung schließt sich noch ein Berechnungsverfahren an. Zur eigentlichen Positionsbestimmung kann nun auf die durch Entfernungsbestimmung oder Winkelmessung ermittelten Werte zurückgegriffen und eine Position errechnet werden, was durch verschiedene Verfahren möglich ist. Bei Entfernungsmessungen geschieht dies durch *Lateralation*, bei Winkelbestimmungen durch *Angulation* (ROTH 2005). Eine Berechnung der Winkel mittels Angulation (Abbildung 7) wird in der Regel als *Triangulation* durchgeführt, da drei der Winkel zur Längsachse des mobilen Systems bekannt sein müssen, um daraus eine Position zu ermitteln (ROTH 2005; MENZ 2005).

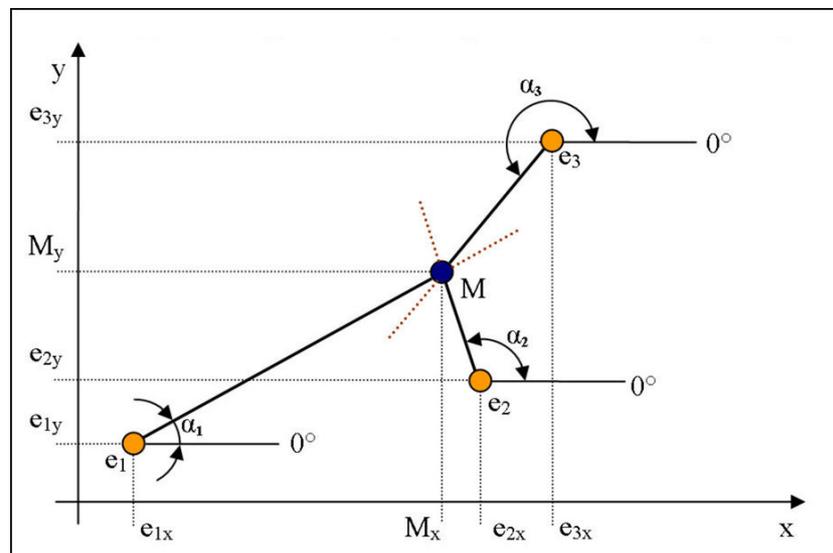


Abbildung 7: Prinzip der Angulation (nach TOST 2009).

Die Lateration erfolgt in der Regel in Form einer so genannten *Trilateration* (Abbildung 8). Hierzu benötigt man mindestens drei Sender für eine zweidimensionale Positionsbestimmung, und vier Sender für eine dreidimensionale Positionierung. Die vorher ermittelten Abstände zu den Sendern bilden Radien der Kreise (zweidimensionale Positionierung) oder Kugeln (dreidimensionale Positionierung), die um die Sender gelegt werden. Ausgangspunkt der Berechnungen einer Trilateration sind also drei Kreisgleichungen bzw. vier Kugelgleichungen der Form

$$(\vec{x} - \vec{m})^2 = r^2$$

Hierbei ist m der Mittelpunktsvektor und r der Radius. Es werden immer die Schnittpunkte zweier Kreise bestimmt, dazu je zwei unterschiedliche Kreiskombinationen herangezogen und für jede Kombination die Schnittpunkte errechnet. Anschließend werden die Abstände der Schnittpunkte der ersten und zweiten Kombination berechnet, und aus diesen kann bestimmt werden, welche beiden Schnittpunkte der jeweiligen Kombination sich am nächsten liegen (MENZ 2005).

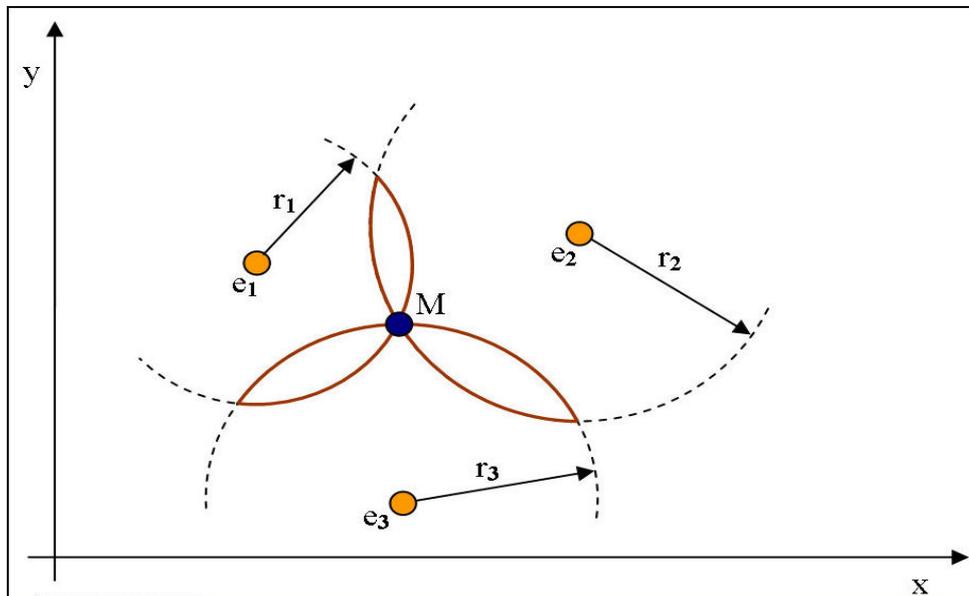


Abbildung 8: Prinzip der Trilateration. Die Ortung ergibt sich aus dem Schnittpunkt der drei Kreise (nach TOST 2009).

Ist die Entfernung eines Objektes zu verschiedenen Referenzpunkten bekannt, kann mit einem räumlichen Bogenschnitt (*Hyperbolische Lateration oder Multilateration*) gearbeitet werden (TOST 2009), in der folgenden Abbildung 9 dargestellt.

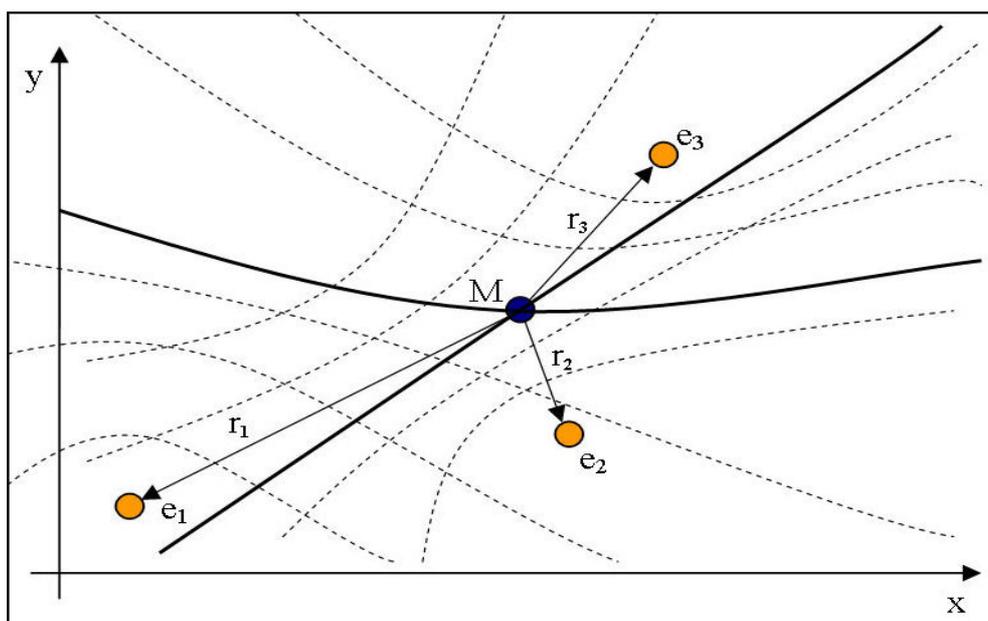


Abbildung 9: Hyperbolische Lateration (nach TOST 2009).

2.8.2 Satellitennavigation

Im Jahr 1970 konzipierte das US-Verteidigungsministerium ein System namens NAVSTAR GPS (Navigation System with Timing and Ranging – Global Positioning System), folgend nur noch GPS genannt. Letztendlich in der heutigen Form voll funktionierend ist das System jedoch erst seit 1995. Es besteht aus derzeit 24 Satelliten, welche auf sechs Bahnen mit jeweils vier Satelliten im Abstand von 20.200 km die Erde umkreisen. Pro Umlauf benötigt ein Satellit 12 Stunden. Die Anordnung der Satelliten auf den Umlaufbahnen entspricht der Regel, dass von jedem Punkt der Erde mindestens fünf und maximal 11 Satelliten über dem Horizont zu sehen sind. Die tatsächliche Anzahl der sichtbaren Satelliten kann jedoch durch Signalabschattungen und ähnliches schwanken und niedriger sein (ROTH 2005). Für eine korrekte Positionsbestimmung wird die Sichtung von vier Satelliten nötig.

Das Globale Positionierungssystem (GPS) besteht aus drei Segmenten (TURNER et al. 2000; ROTH 2005). Das *Weltraumsegment* bilden die derzeit 24 Satelliten des Systems, welche auf ihrer Umlaufbahn die Erde umkreisen. Sie wiegen 1,5 bis 2 Tonnen und werden über Sonnensegel autonom mit Energie versorgt. Hauptelement des Himmelskörpers ist der Zentralrechner mit 16-MHz-CPU und einem Betriebssystem, welches aus einem 25.000-zeiligen Code besteht. Das *Kontrollsegment* umfasst ein Netzwerk aus Bodenstationen, welche die Satelliten verwalten und die Funktionsweise des Systems sichern, indem sie eine Korrektur der Satellitendaten in Bezug auf Systemzeit, Position und Bahndaten sicherstellen. Hierzu wird durch die so genannten *Monitorstationen* ständig das Satellitensignal abgerufen, mit bekannten Positionen sowie der Atomzeit verglichen und daraus Korrektursignale berechnet. Diese werden an die *Master Control Station (MCS)* in Colorado Springs, USA, weitergeleitet, welche aus diesen Daten weitere Korrekturen berechnet und diese an die Satelliten weiterleitet. Auch die Korrektur der Atomzeiten in den Satelliten sowie die Einrichtung neuer Satelliten ist Aufgabe des Kontrollsegmentes. Zur Kommunikation zwischen MCS und den Satelliten wird hierbei eine spezielle Frequenz verwendet, das S-Band, welches durch Bodenantennen übertragen wird. Das *Benutzersegment* letztendlich ist das Endgerät, welches die Daten der Satelliten empfängt und in Positionsangaben umrechnet, also alle Geräte die der Benutzer direkt bedient (GPS-Empfänger). Jeder

Satellit muss sich speziell beim Endgerät identifizieren können, da alle Satelliten auf der gleichen Frequenz senden. Zur Unterscheidung wird daher für jeden Satelliten ein bestimmter Code benötigt, mit welchem er sich für das Empfängergerät klar identifiziert. Hierzu wird das so genannte *CDMA-Verfahren* verwendet, wobei jeder Satellit einen eigenen Code aussendet, den *Pseudo Random Noise (PRN)*. Anhand dieses Codes ist es den Empfängergeräten möglich, die Satelliten zu unterscheiden und die Position mittels Signallaufzeiten zu bestimmen. Mit dem Signal werden zusätzliche Daten in einer Datenrate von 50 Bit/s überlagert; es sind dies die Position des Satelliten, die Uhrzeit und die Bahndaten der anderen Satelliten (ROTH 2005). Die Positionsbestimmung an sich erfolgt durch die Messung von Laufzeiten. Hierzu ist es nötig, die Position eines Satelliten sowie die Entfernung zu diesem zu ermitteln. Zur genauen Positionsbestimmung ist diese Kenntnis von insgesamt drei Satelliten nötig, um einen exakten Punkt mittels der Schnittfläche von drei Kugeloberflächen zu ermitteln. Hierbei ist die Position eines Satelliten einfach zu bestimmen, da diese sich auf festen Umlaufbahnen bewegen, die Bestimmung der Entfernung ist jedoch aufwendiger. Hierzu sendet jeder Satellit ein Signal aus, dessen Absendezeitpunkt exakt bestimmt und codiert wird. Der Empfänger kann diesen exakten Zeitpunkt des ausgesendeten Signals daraufhin mit seiner inneren Uhr vergleichen und aus dem Laufzeitunterschied Δt kann mittels $r = c \times \Delta t$ die Entfernung berechnet werden, wobei r die Entfernung zum Satelliten und c die Lichtgeschwindigkeit (300.000 km/s) bezeichnet. Aufgrund der hohen Lichtgeschwindigkeit ist die exakte Zeitmessung hier der kritischste Punkt. Ein Fehler von nur einer μs führt zu einem Unterschied von 300 Metern in der Positionsbestimmung (ROTH 2005). Daher sind alle Satelliten mit einer Atomuhr ausgestattet, die eine sehr genaue Zeitmessung möglich macht. Dies ist im Benutzersegment jedoch nicht möglich, daher ist hier eine ständige Synchronisierung mit der Systemzeit des Satellitenkompartiments nötig. Da dies jedoch auch durch die Lichtgeschwindigkeit begrenzt ist, wurde als Lösung ein vierter Satellit in die Positionsbestimmung integriert, mit Sichtbarkeit von mehr als vier Satelliten werden die Daten immer genauer. Mit dem GPS-Empfänger kann so eine exakte Position bestimmt, jedoch auch die aktuelle Geschwindigkeit in drei Dimensionen ermittelt werden. Man bedient sich hierzu verschiedener Möglichkeiten: zum einen kann man zwei Positionsangaben nacheinander ermitteln, und aus dem Abstand der Positionen geteilt durch die Zeit zwischen den Messungen die

Geschwindigkeit errechnen. Zum anderen kann man mit Hilfe des Doppler-Effektes arbeiten, hierbei kommt es bei bewegten Objekten zu einer Frequenzverschiebung auf dem empfangenen Signal, und die Größe der Verschiebung kann zur Bestimmung der Geschwindigkeit herangezogen werden (ROTH 2005). Beim GPS gibt es einige mögliche Fehlerquellen zu beachten: durch *Uhrenfehler* können, trotz großer Genauigkeit der Satellitenuhren, Abweichungen in der Positionsbestimmung von 1,5 Metern auftreten. *Schwankungen der Umlaufbahn*, welche durch Gravitationskräfte von Sonne und Mond entstehen, lassen Fehler von 2,5 Metern in die Positionsbestimmung einfließen. *Störungen der Atmosphäre* durch schwankende Druck- und Wetterverhältnisse beeinträchtigen die Signalübertragung mit einer Abweichung von 0,5 Metern, während es im Bereich der *Ionosphäre* durch geladene Teilchen zu einer Störung von bis zu 5 Metern kommen kann. Durch reflektierte Signale in der Umgebung eines Empfängers kommt es zu *Multipath-Fehlern*, deren Einfluss eine Differenz von 0,6 Metern zur tatsächlichen Position ausmacht (ROTH 2005). Durch den Einsatz des Verfahrens *Differential GPS (DGPS)* kann eine höhere Genauigkeit der Positionsbestimmung erreicht werden. Hierzu werden auf der Erdoberfläche Basisstationen errichtet, welche Korrekturdaten errechnen. Das Prinzip beruht darauf, dass die Positionsdaten der Basisstation bekannt sind. Die Basisstation führt nun eine Positionsbestimmung mittels Satelliten durch und errechnet aus der Differenz zu ihrer exakten, bekannten Position die Korrekturdaten. Diese können von den Anwendern im Umkreis der Basisstation genutzt und die Fehlerraten nahezu kompensiert werden. Dadurch erhöht sich die Genauigkeit auf bis zu 0,5 Meter, wobei hier die Nähe zur korrigierenden Basisstation der maßgebliche Einflussfaktor ist (ROTH 2005; EBELT et al. 2009). Trotz umfassender Weiterentwicklungen im GPS-Bereich konnte es bisher nicht gelingen, im Inneren von Gebäuden stabil gute Werte zu erreichen. Es sind zwar Empfänger vorhanden, welche eigens für den Indoor-Gebrauch konzipiert wurden und annähernd gute Ergebnisse liefern, es kommt jedoch weiterhin zu Signalausfällen und Störungen innerhalb von Gebäuden und Überdachungen. Die Firma u-blox konzipierte eine Technologie speziell zum Einsatz in teilüberdachten Bereichen und Häuserschluchten (ANTARIS Supersense[®]). In einem Einkaufszentrum, einer teils offenen Bahnhofshalle und einer Tankstelle lieferte das System gute Positionierungsergebnisse, wenn zwischenzeitlich Kontakt zum Himmel möglich war.

Ganz ohne Kontakt zum Weltraumsegment können jedoch auch diese Empfänger nicht arbeiten, sie überbrücken lediglich Zeiten schlechten Empfangs (U-BLOX AG 2004). In den üblichen Tierhaltungen, in denen sich Tiere die gesamte Zeit oder über längere Zeiträume in Innenbereichen aufhalten, erscheint der Einsatz von GPS-Geräten daher als ungeeignet (ROTH 2005; VOSSIEK et al. 2005). Zudem gibt es auch viele Stalleinrichtungen, welche Signalreflektionen und Signalabschattungen provozieren könnten.

Weitere Satellitensysteme sind das russische GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), welches als eigenständiges System nicht mehr verfügbar ist, sowie das europäische GALILEO, welches 2008 in Betrieb genommen wurde. GALILEO bietet drei verschiedene Dienste an: den kostenlosen Dienst zum freien Empfang, einen verschlüsselten, kostenpflichtigen Dienst sowie einen verschlüsselten Dienst für staatliche Zwecke. Ein System, welches ähnlich wie DGPS arbeitet, ist WAAS (Wide Area Augmentation System). Auch hier werden mit Hilfe von fixen Positionsdaten der rund 30 Basisstationen auf amerikanischem Gebiet Korrekturdaten berechnet, die den Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Die Übertragung erfolgt hierbei jedoch durch geostationäre Satelliten und nicht durch terrestrische Sender wie beim DGPS. Das europäische Pendant zum amerikanischen WAAS ist das System EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System), welches am 26.04.2005 in Betrieb genommen wurde und seitdem die europäische Satellitennavigation unterstützt (ROTH 2005).

GPS wurde im Tierbereich bereits häufig eingesetzt. In allen Bereichen der Außenanwendung konnten gute Ergebnisse erzielt werden, wenn es beispielsweise um eine Überwachung von Wildtieren (PHILIPPS et al. 1998; HULBERT und FRENCH 2001; COELHO et al. 2007) oder Weidemanagement und Flächennutzungen von Haustieren ging (RUTTER et al. 1997; HULBERT et al. 1998; TURNER et al. 2000; GANSKOPP 2001; WELTZIEN 2002; SCHWENKE und AUERNHAMMER 2002; NEMENYI et al. 2003; KURVERS et al. 2006; BRAUNREITER et al. 2007; PUTFARKEN et al. 2008). In Kombination mit einem triaxialen Beschleunigungssensor erwies sich die GPS-Technik als wertvolles Instrument, um die menschliche Biomechanik genauer zu studieren (TERRIER et al. 2000). Auch im Pferdesportbereich stellte es sich als sinnvolle Technik dar, vor allem

in Bereichen in denen Geländestrecken überwunden werden müssen, wie in der Vielseitigkeit oder im Fahrsport. Hierbei können sowohl Wege, Wegstrecken, als auch Geschwindigkeiten aufgezeichnet werden und in Zusammenhang mit der Messung von Herzfrequenzen wertvolle Hinweise für Training und Wettkampf geben (MCCLURE BLACKMER et al. 2001; DAHLKAMP 2003; LIEBETRAU 2004; HEBENBROCK 2005). Untersuchungen zum Flugverhalten von Tauben konnten ebenfalls mit Hilfe von GPS erhoben werden. Durch GPS-Tracking konnte gezeigt werden, dass Tauben sich visuell orientieren und Tiere, welchen die Landschaft fünf Minuten gezeigt wurde, schneller nach Hause fanden (BIRO et al. 2002). Eine Ortung von Tieren mittels GPS-Halsband entwickelte die Firma Petguard Tierortungssysteme (Wunstorf, (2010d)). Das Angebot richtet sich derzeit vor allem an Jagd- und Diensthundeführer, welche per GPS und Funksender den Standort ihres Hundes ermitteln können, jedoch räumt die Firma auch eine theoretische Tauglichkeit für andere Tierarten ein.

2.8.3 Netzwerkgestützte Positionsbestimmung

Da die vollständige Neuerrichtung eines Systems zur Positionierung mit erheblichen Kosten verbunden ist, bietet es sich an, für eine Positionierung bereits vorhandene drahtlose Netzwerke zu nutzen. Besonders gut geeignet für diesen Zweck sind Systeme, welche das Verfahren zur Funkzellenbestimmung (COO) nutzen, da hiermit schon eine grobe Bestimmung der Position innerhalb dieser Zellen erreicht wird. In diesem Bereich kann dann durch zusätzliche Anwendung von Verfahren wie Laufzeitmessung (TOA) oder Winkelmessung (AOA) die Position genauer bestimmt werden. Netzwerkgestützte Positionsbestimmung ist möglich durch die Mobilfunknetze GSM (Global System for Mobile Communication) und UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), durch große drahtlose lokale Netzwerke (W-LAN, Wireless Local Area Network) oder im kleineren Maßstab arbeitende Netze (Wireless Personal Area Networks) mittels Funk (Bluetooth) oder Infrarot (IrDA) (ROTH 2005). Ein Beispielsystem bietet die Firma EKHAU an. Ihre Produkte Ekahau *Tracker* und Ekahau *Finder* arbeiten in einem lokalen Funknetzwerk nach Wi-Fi-Standard IEEE-802.11, in Deutschland in der Regel W-LAN, und orten bzw. verfolgen Personen in Räumen oder Gebäuden (2010b). Eine Echtzeit-Ortung durch Ultrabreitband-Funktechnologie (UWB) in Netzwerken bietet

die Firma UBISENSE. Die an Personen, Fahrzeugen oder Gegenständen zu befestigenden mobilen „Tags“ senden ihre Signale an Sensoren, welche in einer bestehenden Standard-Ethernet-Netzwerk-Infrastruktur installiert werden können. Diese Sensoren senden die Daten dann über das Netzwerk an die eigene Ubisense-Softwareplattform, wo sie weiterverarbeitet werden können (2010g). Ebenfalls im Ethernet-Netzwerk arbeitet das *Argus Welfare System* der Firma SCHAUER (2010e). Das Inhouse-Ortungssystem wurde als einziges System speziell für den Gebrauch am Tier entwickelt, mit der Intention der Überwachung von Gruppenhaltungen im Bereich Rinder, Schweine, Pferde und anderer Tiere, wobei exakt Position und Positionsverlauf jedes einzelnen Tieres gemessen werden können. Hierbei werden so genannte „ZigTags“ als Sender an den Tieren befestigt, welche an bis zu 16 Referenzknoten im Stall senden und sich über ein Ethernet-Netzwerk verständigen. Über W-LAN können diese Daten eingesehen und ausgewertet werden (2010f).

Breite Anwendungsmöglichkeiten bietet die Positionierung im Mobilfunknetz. Das Netz ist bereits in Zellen aufgeteilt, so dass hier eine grobe Positionierung stattfinden kann, indem festgestellt wird, welches Handy in welcher Zelle eingebucht ist. Dies wird ermöglicht durch den VLR (Visitors Location Register), welcher jeden Teilnehmer registriert, sobald er eine Zelle betritt, und diese Daten an den HLR (Home Location Register) weiterleitet. So können Mobilfunkgeräte innerhalb der Zellen bestimmt werden, was aber nicht sehr genau ist. Die Zellengrößen variieren von 1 km bis zu 35 km, je nach Nähe zu Ballungszentren, was für eine Positionsbestimmung unter Umständen viel zu ungenau ist. Daher wurde das System MPS (Mobile Positioning System, Ericsson) entwickelt, welches eine genauere Positionierung innerhalb der Funkzellen ermöglicht. Durch verschiedene Verfahren wie Laufzeitmessung kann so die Genauigkeit auf bis zu 50 Meter optimiert werden (ROTH 2005). Im Mobilfunknetz können also Handys bzw. Personen oder Tiere geortet werden. Diese Technik machen sich bereits Firmen zunutze, um beispielsweise entlaufene Haustiere oder vor allem Kinder wieder zu finden bzw. Kinder besser zu überwachen (Firmen: Track your kid (2010j); Handy-Ortung (2010i)).

2.8.4 Infrarot-Systeme

Infrarot ist ein einfaches und günstiges System und wurde bereits häufig für Positionierungsprojekte eingesetzt. Bei Infrarotlicht handelt es sich um elektromagnetische Wellen im Frequenzbereich von 780 nm bis 1 mm. IrDA (Infrared Data Association) ist ein Standard für drahtlose Datenkommunikation per Infrarotlicht. Hierbei funktioniert das System nur in einem sehr engen Bereich. Beide Kommunikationspartner müssen sich in einem maximalen Abstand von 60 cm zueinander befinden. Eine Positionierung ist nicht möglich, man erhält keine Informationen darüber, in welcher Richtung oder Entfernung sich ein Kommunikationspartner befindet. Jedoch ist eine zellenbasierte Ortung möglich und somit die Aussage, dass sich ein Objekt in einer bestimmten Zelle befindet. Nach einer Installation von mehreren solcher Infrarot-Zellen kann also ein mobiles IrDA-Gerät positioniert werden (ROTH 2005). Ein frühes Projekt, welches Infrarotstrahlung nutzte, war das System *Active Badge*[®] (1992). Bei diesem System wurden am zu lokalisierenden Objekt kleine, objektspezifisch codierte Infrarotsender befestigt, die so genannten Active Badges. Diese sendeten alle 15 Sekunden für 0,1 s ein Infrarotsignal aus, welches von im Gebäude positionierten Infrarotsensoren empfangen und an einen Rechner weitergeleitet wurde. Infrarotsignale breiten sich nur in einem Raum aus und werden durch die Wände reflektiert, statt diese zu durchdringen. Über ein Netzwerk konnte durch diese eingespeisten Informationen so jederzeit abgefragt werden, in welchem Raum sich welche Person befand (ROTH 2005). Ein weiter entwickeltes System ist *WIPS*[®] (Wireless Indoor Positioning System). Hierbei sind die Infrarotsender nicht mobil, sondern bilden im Gebäude fest installierte Komponenten, deren Infrarotsignal von den mobilen Komponenten empfangen wird. Diese geben daraufhin ihre Ortsinformation mittels W-LAN an einen Location Server weiter, der die Daten aufbereitet und an die mobilen Komponenten zurück leitet (ROTH 2005). Eine Infrarot-Positionierung arbeitet zwar sehr genau, ist jedoch auf den Innenbereich beschränkt, da sie sehr durch Sonneneinstrahlung beeinflusst wird. Ein Einsatz im Tierbereich wäre also nur unter stark kontrollierten Bedingungen in einem Innenstall möglich.

2.8.5 Positionierung durch Magnetfelder

BOLLHALDER und KRÖTZL-MESSERLI (1997) entwickelten ein System zur Tierortung, welches auf magnetischer Induktion basiert. Diese Hochfrequenz-Magnetfeld-Ortung setzten sie bei Rindern in einem Laufstall ein. Erfasst und auf einer Zeitachse abgespeichert werden konnten Aufenthaltsort sowie Aktivität (Stehen/Liegen) von bis zu 40 Tieren. Hierzu wurden im Stallboden Antennen in rechteckigen Schlaufen koordinatengemäß verlegt und die Tiere mit Transpondern ausgestattet. In diesen Transpondern wurde ein elektrischer Strom erzeugt, sobald sie einem magnetischen Wechselfeld am Boden ausgesetzt waren. Mittels spezieller Sendeantenne wurden einem zentralen Rechner Daten übermittelt, welches Antennenfeld die Kuh gerade betreten hatte. Zusätzlich wurde am Transpondergehäuse ein Lagesensor in Form eines Pendels angebracht, welcher dem Transponder meldete wenn die Lage des Pendels mehr als 45° von der Vertikalachse abwich, wodurch Abliegevorgänge registriert wurden. Als Nachteil des Systems erwies sich der hohe Aufwand beim Verlegen der Bodenstruktur, insbesondere wenn es sich nicht um neu zu erbauende Ställe handelt. Als weitere Schwachstellen wurden von den Autoren der Lagesensor genannt, die Größe des Systems sowie die häufigen Feldstärkeneinbrüche im Bereich von metallischen Gegenständen, wie sie in der Tierhaltung häufig zu finden sind.

2.8.6 Identifizierung, Ortung und Positionierung mittels Funktechniken

Ältester Einsatzbereich in der Verhaltensforschung für funkbasierte Techniken ist schon seit langer Zeit die Telemetrie. Sie stellt eine etablierte Technik dar und hat sich über viele Jahre im Einsatz bei Wild- und Haustieren bewährt (SCHOBER 1986). Ein experimentelles System namens *SpotOn*[®] arbeitet ebenfalls mit Funk. Es wurde für den Einsatz in Gebäuden konzipiert. Von einem Benutzer wird ein Signal ausgesendet, welches durch im Gebäude aufgestellte Funksensoren aufgenommen und an einen Server übermittelt wird. Durch Erfassung des Senders und Messung der Signalstärke von mehreren Sensoren kann eine Position auf drei Meter genau bestimmt werden. Es handelt sich bei SpotOn jedoch um ein Projekt, was keine Marktreife erreichte und auch im Tierbereich nicht eingesetzt wurde (HIGHTOWER et al. 2001). Im kleinen Bereich einsetzbar sind Funksysteme, welche einen so

genannten *virtuellen Gartenzaun* entstehen lassen. Hierzu trägt ein Haustier, in der Regel ein Hund, ein Halsband mit einem Transponder. Ihm wird ein vorher festgelegtes Gebiet zugeteilt, in welchem er sich frei bewegen kann. Überschreitet der Hund die festgelegten Grundstücksgrenzen, reagiert das Funksystem und sendet einen akustischen oder elektrischen Impuls aus, auf welchen der Hund nach einigem Training reagiert und wieder in seinen Bereich zurückkehrt (ANDELT et al. 1999). Auch Kühe konnten auf eine solche Art von Zaun trainiert werden und begriffen schnell, wo sich die Weidegrenzen befanden (QUIGLEY et al. 1990), ebenso Ziegen (FAY et al. 1989). In Anbetracht steigender Materialkosten entstehen große Kosten für einen Zaunbau, welche auf diese Art und Weise eingespart werden können, wie BISHOP-HURLEY et al. (2007) bei ihren Untersuchungen an einem virtuellen Weidezaunsystem für Kühe zeigten. Einen auf GPS basierten virtuellen Weidezaun entwickelten australische Wissenschaftler. Hier tragen die weidenden Tiere Halsbänder, welche einen Signalton ausstoßen, sobald das zu beweidende Gebiet verlassen wird (LEE et al. 2007; LEE 2007).

Eine weitere funkbasierte, im Tierbereich mittlerweile sehr wichtige Technik ist RFID (Radio Frequency Identification, Radiofrequenzidentifikation). RFID arbeitet mit kleinen Transpondern, welche über Prozessor, Speicher und Antenne verfügen, jedoch in der Regel keine eigene Stromversorgung haben. Die Energieversorgung erfolgt aus den Funksignalen, welche an sie gerichtet werden und auf welche sie daraufhin antworten. Die Reichweite eines solchen Systems ist gering, in der Regel kann der Abstand zwischen Sender und Empfänger nicht mehr als einen Meter betragen. RFID-Transponder werden eingesetzt, um Objekte zu verfolgen, meist innerhalb einer Produktion oder eines Transportes. Hierbei erfolgt in der Regel keine 3D-Positionierung, sondern eine Kontrolle des Passierens bestimmter Fixpunkte, beispielsweise an Fließbändern (MENZ 2005). Im Tierbereich wird RFID zur Tiererkennung in Form von Ohrmarken und Halsbändern eingesetzt. Dies hat vor allem den Sinn der Identifikation jedes Einzeltieres, dient aber im Sinne des Precision Livestock Farming auch der Überwachung und Steuerung von Fütterungs- und Melkanlagen sowie Gesundheitsparametern (SCHÖN et al. 2001). Ein einfaches System zur Positionierung durch Funktechnik wendeten SWAIN et al. (2003) bei Rindern an. Hierzu verwendeten sie ein System, welches ursprünglich der Überwachung von Gebäude-Eingängen dient (*Bewator Cotaq Granta Compact*[®]),

und rüsteten dieses zum Einsatz bei Weiderindern um. Das System beruht auf Schleifenantennen, welche rechteck- oder kreisförmig am Boden verlegt werden, sowie einem Controller und so genannten Transpondern, welche am Tier befestigt wurden. Zur Überwachung größerer Weidestücke wurden mehrere Schleifenantennen verlegt. Sobald eine Kuh mit ihrem Transponder in den Sendebereich einer Antenne kommt, empfängt der Transponder ein Signal von der entsprechenden Antenne und sendet dieses mit einer Identifikationscodierung für die bestimmte Kuh zurück. Über den Controller, der an die Antennen angeschlossen ist und die Codierung von bis zu vier Antennen empfängt, kann so auf einfache Weise eine Standortbestimmung der Kuh ermittelt werden. Sobald ein Tier in einen Sendebereich kommt, werden Eintrittspunkt, Zeit und die persönliche Identifikationsnummer der Kuh registriert. Die Versuche dienten der Umsetzung eines solchen Systems. Es wurde getestet, inwiefern man die Antennenpositionen variieren konnte (überirdisch oder unterirdisch), und welchen Einfluss die Transponderposition am Tier hat. Eine Positionierung des Transponders am Bein der Tiere ergab die besten Ergebnisse, da sie sich so nächstmöglich zur Antenne befanden. Schlussfolgernd konnten die Autoren sagen, dass das System sehr umfangreich und aufwendig ist, jedoch gute Ergebnisse lieferte und vor allem keine Beeinträchtigungen der Tiere durch das System auftraten (SWAIN et al. 2003).

Ein System zur zentimetergenauen Innenbereichs-Lokalisierung wurde erstmals 2003 vorgestellt (STELZER et al. 2003). Das System LPM (Local Position Measurement) wird mittlerweile von der Firma Abatec Electronics AG (Regau, Österreich) vertrieben und sowohl im Sport als auch im Tierbereich eingesetzt. Es beruht auf dem Prinzip der frequenzmodulierten kontinuierlichen Funkwellen (FMCW) und dem TDOA-Messprinzip. Es wurde für den Einsatz auf maximal 500 x 500 m² großen Flächen entwickelt. Es sind Sample-Raten von bis zu 1000 Messungen pro Sekunde möglich, was zu einer hohen Genauigkeit beiträgt, aber auch große Mengen an auflaufenden Daten verursacht. Das System wurde mehrfach im Rinderbereich getestet und eingesetzt, hierbei wurden Ortungsgenauigkeiten im Zentimeterbereich erreicht. Durch Multipathing und andere Fehlerquellen verursachte Fehler beliefen sich lediglich auf etwa 60 mm (STELZER et al. 2004; POURVOYEUR et al. 2006). Ebenfalls auf Basis dieses Systems wurde eine Untersuchung an Rindern durchgeführt, welche sich mit dem Zusammenhang zwischen dem Rang in

der Dominanzhierarchie und der Nähe zwischen Tieren beschäftigte (NEISEN et al. 2007). Hierzu wurden sechs Herden von Milchkühen in verschiedenen Laufställen mittels Ortungssystem verfolgt und deren Daten analysiert. Das System zeichnete die Koordinaten der Tiere minütlich für jedes Individuum in x-/y-Richtung mit einer Genauigkeit von 20 cm auf (GYGAX et al. 2006). Hierbei traten jedoch häufige Probleme und Ausfälle auf. Durchschnittlich wurden lediglich 26-77 % der möglichen Daten erfasst. Es lag also gesichert nur jede vierte Minute eine Beobachtung vor. Die meisten Unterbrechungen dauerten eine Minute und wurden verursacht durch Ausfälle im System oder fehlende Ortsbestimmungen durch Reflektionen an metallischen Materialien. Problembehaftet war auch die vollständige Synchronisation der Sender untereinander, was bei einem Ortungsintervall von einer Minute schwierig war. Die Autoren nehmen jedoch an, dass dies durch die langsame Fortbewegung von Kühen keine große Fehlerquelle darstellte.

An der Technischen Universität Clausthal-Zellerfeld wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Symeo (München) ein hochgenaues Ortungssystem für Industrieanwendungen entwickelt (VOSSIEK et al. 2005). Ein Einsatz dieses Systems im Tierbereich hat bisher nicht stattgefunden und soll im Rahmen dieser Dissertation evaluiert werden.

2.9 SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DER LITERATURÜBERSICHT

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die moderne Pferdehaltung ein deutliches Maß an Bewegungsaktivität zulassen sollte. Um genauer zu eruieren, welche Stallungen dem natürlichen Bewegungsbedürfnis der Tiere gerecht werden, welche Wegstrecken in welchem System zurückgelegt werden, und wann die Tiere sich wo und in welcher Art und Weise aufhalten, müssen genaue Beobachtungen erfolgen. Diese sind jedoch sehr zeit- und personalaufwändig. Mit Hilfe moderner technischer Systeme kann jedoch die detaillierte Beobachtung der Tiere durch den Menschen eventuell ersetzt, oder zumindest stellenweise stark vereinfacht werden. Erstrebenswertes Ziel ist es, zum Einen wertvolle Daten über bevorzugte Aufenthaltsorte zu liefern, zum Anderen aber auch zurückgelegte Wegstrecken und Geschwindigkeiten zu erfassen und spezielle Verhaltensweisen, wie beispielsweise das Liegeverhalten, detailliert aufzuzeigen. Dem heutigen Stand der Wissenschaft

entsprechend gilt es als sicher, dass die Gruppen-Auslaufhaltung die tiergerechteste Form der Pferdehaltung im Stall darstellt (BOCKISCH und KREIMEIER 2001). Auch ist bekannt, dass Bewegungsanreize geschaffen werden müssen, damit Pferde sich mehr bewegen (FRENTZEN 1994). In einer Untersuchung zur Stressbelastung bei Pferden mit verschiedenen Bewegungsangeboten (HOFFMANN 2008) wurde deutlich, dass die Tiere mit erhöhter täglicher Bewegung weniger Stress hatten als die Pferde mit restriktiver Bewegung. Auch aus tiermedizinischer Sicht ist es belegt, dass regelmäßige Bewegung über die reiterliche Nutzung hinaus für die Gesunderhaltung eines Pferdes förderlich ist. Daher gilt es als Ziel, mehr Platz- und Auslaufangebote in Pferdehaltungen zu schaffen. Dies wurde schon teilweise durch den so genannten „Aktivstall“ der Firma Hit GmbH (Weddingstedt) umgesetzt. Jedoch bleibt zu untersuchen, ob Pferde sich in solchen Aufstallungsformen tatsächlich mehr bewegen, wie sie sich bewegen, an welchen Orten sie sich aufhalten und welche Wegstrecken sie in welchen Geschwindigkeiten zurücklegen. Diese Daten könnten dazu beitragen, Empfehlungen für eine artgerechte Pferdehaltung auszusprechen und den tiergerechten Stall- und Auslaufbau für Pferde zu optimieren.

Methoden zur Positionierung von Objekten sind bereits reichlich vorhanden, der Markt wächst täglich. Im Besonderen im Bereich der Industrieanwendungen, vor allem in der Logistik, ist ein steigender Bedarf zu verzeichnen. Jedoch auch der Aspekt der Ortung von Gegenständen und insbesondere von Personen und Tieren erscheint zunehmend interessant und eröffnet neue Perspektiven. Im landwirtschaftlichen Bereich sind die Entwicklungen besonders im Bereich der Nutztierhaltung wichtig. Hier steht sicherlich die durchgehende Verfolgbarkeit eines lebensmittelliefernden Tieres von der Geburt bis zum Tode im Vordergrund. Weiterhin eröffnen neue Technologien jedoch auch neue Möglichkeiten im Bereich der Verhaltensforschung. Je präziser das Verhalten des Einzeltieres und die artspezifischen Eigenheiten erfasst werden können, desto artgerechtere Haltungsformen für das Individuum können entwickelt werden. In der vorliegenden Untersuchung soll also herausgestellt werden, welche Möglichkeiten zur Überwachung von Tierbeständen es gibt, und welche sich am besten für ein Forschungsvorhaben, speziell in der Anwendung am Pferd, eignen.

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 VERSUCHSRAHMENBEDINGUNGEN

3.1.1 Versuchsstallanlage

Für die Forschungen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung standen die Versuchsstallanlagen des Institutes für Betriebstechnik und Bauforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, FAL (jetzt: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig) zur Verfügung (Abbildung 10). Es handelte sich um eine Stallung mit einer Grundfläche von 999,40 m² für 12 Pferde, welche im Jahr 2001 erbaut wurde. Sie bestand aus Vollholz, war nicht wärme-gedämmt und entsprach mehr oder weniger den natürlichen klimatischen Außenbedingungen. Die offene Vorderfront war nach Süden ausgerichtet, die Belüftung des Stalles erfolgte sowohl über die offene Front als auch über Fenster, Türen und Dach, welche mit Windschutznetzen versehen waren.



Abbildung 10: Luftaufnahme des Versuchspferdestalles am Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, FAL (jetzt: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig).

Die Stallanlage besaß eine Unterteilung in die Bereiche „Einzelhaltung“ sowie „Gruppenhaltung“. Beide waren auf die Haltung von sechs Pferden ausgerichtet und hatten an den Stall angrenzende Ausläufe (im Folgenden als *Paddocks* bezeichnet). Diese waren im vorderen Stallbereich mit Beton befestigt und überdacht, im hinteren Bereich ohne Dach und mit Sand aufgefüllt (Abbildung 11 zeigt den Grundriss des Stalles).

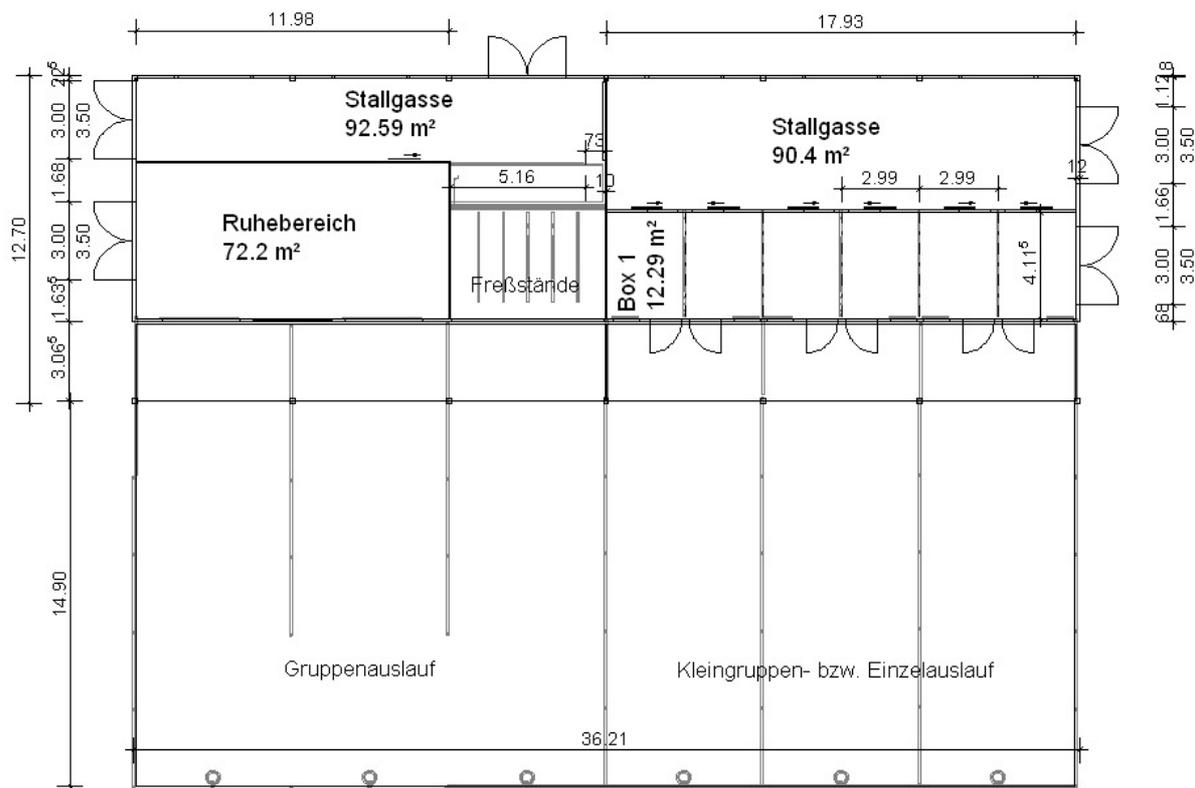


Abbildung 11: Grundriss der Versuchsstallanlage.

Gleichzeitig zur vorliegenden Untersuchung wurden im gleichen Zeitraum noch zwei weitere Untersuchungen in der Versuchsanlage durchgeführt. Diese beschäftigten sich zum Einen mit dem Anfall von Staub und Schadgasen bei variierendem Einstreumaterial und Mistmanagement, sowie zum Anderen mit dem Liegeverhalten von Pferden unter besonderer Berücksichtigung des Einstreumaterials. Daher orientierten sich Aufbauten im Stall, Mistmanagement, Einstreumaterialien und Versuchsdurchführung an den laufenden Untersuchungen.

3.1.1.1 Einzelhaltung

Die Einzelhaltung befand sich im rechten Stallbereich (Abb. 11). Hier wurden die Pferde in sechs jeweils 12 m² großen Einzelboxen gehalten, welche alle einen eigenen Zugang zum Paddockbereich hatten. Jeweils zwei Tiere benutzten einen Paddock gemeinsam, wobei der Sandbereich eine Fläche von 90 m² umfasste, der überdachte Vordachbereich 18 m². Ausgestattet waren die Boxen mit einer in die Boxentür integrierten, zeitgesteuerten automatischen Heuraufe, einer Futterkrippe mit Kraffutterdosierer, einem Salzleckstein sowie einer Rohrnippeltränke. An der vom Stall am weitesten entfernten Stelle befand sich im Paddock zusätzlich eine beheizbare Schwimmertränke. Die Einzelboxen waren aufgebaut aus 1,5 Meter hohen Holz-Trennwänden, über denen sich 1,0 Meter vertikale Metallgitterstäbe anschlossen. Abschließend war nach weiteren 0,5 Metern ein horizontaler Querriegel aus Metall installiert, so dass die Trennwände insgesamt eine Höhe von 3,0 Metern erreichten. Jeweils ein Kompartiment von zwei aneinander angrenzenden Pferdeboxen wurde durch eine, in die Gitterstäbe eingeschobene Holzwand, abgegrenzt.

3.1.1.2 Gruppenhaltung

Die Mehrraum-Gruppenauslaufhaltung befand sich im linken Bereich des Stalles (Abb. 11). Diese war in verschiedene Funktionsbereiche (Abb. 12) unterteilt, welche räumlich voneinander getrennt waren: Ein großer, eingestreuter *Ruhebereich* befand sich im Inneren des Gebäudes (72 m²), welcher über zwei Ein- und Ausgänge zu den Paddocks verfügte. Diese waren je drei Meter breit und mit Plastikstreifenvorhängen verschlossen. Daran schlossen sich ein überdachter, betonierter Vorplatz von 54 m² und ein Sandpaddock von 270 m² an, welche den *Auslaufbereich* darstellten. Um Bewegungsanreize zu schaffen und das Gehen der jeweils kürzesten Strecke zu verhindern, wurde der Sandbereich durch zwei Trennelemente (Rohrkonstruktionen, Firma Patura KG, Laudenbach) gegliedert. Der *Tränkebereich* befand sich zum einen im Liegebereich in Form einer Rohrnippeltränke, zum anderen waren im Außenbereich am stallabgewandten Ende des Paddocks je drei beheizbare Schwimmertränken vorhanden (wiederum als zusätzlicher Bewegungsanreiz). Der *Fressbereich* bestand aus sechs Fressständen à 4,11 m x 0,86 m, also ausreichend

Platz damit alle Pferde, ihrem Bedürfnis entsprechend, gleichzeitig fressen konnten. Die Fressstände befanden sich im überdachten Bereich und waren befestigt. In ihnen befand sich eine automatische Heuraufe, deren Schieber sich transpondergesteuert öffneten. Jedes Pferd trug dauerhaft einen persönlichen Transponder in einem Halsband. Das Kraftfutter wurde automatisch zugeteilt, und zeitgesteuert in einen sich am Boden befindlichen Auffangbehälter ausgeschüttet.

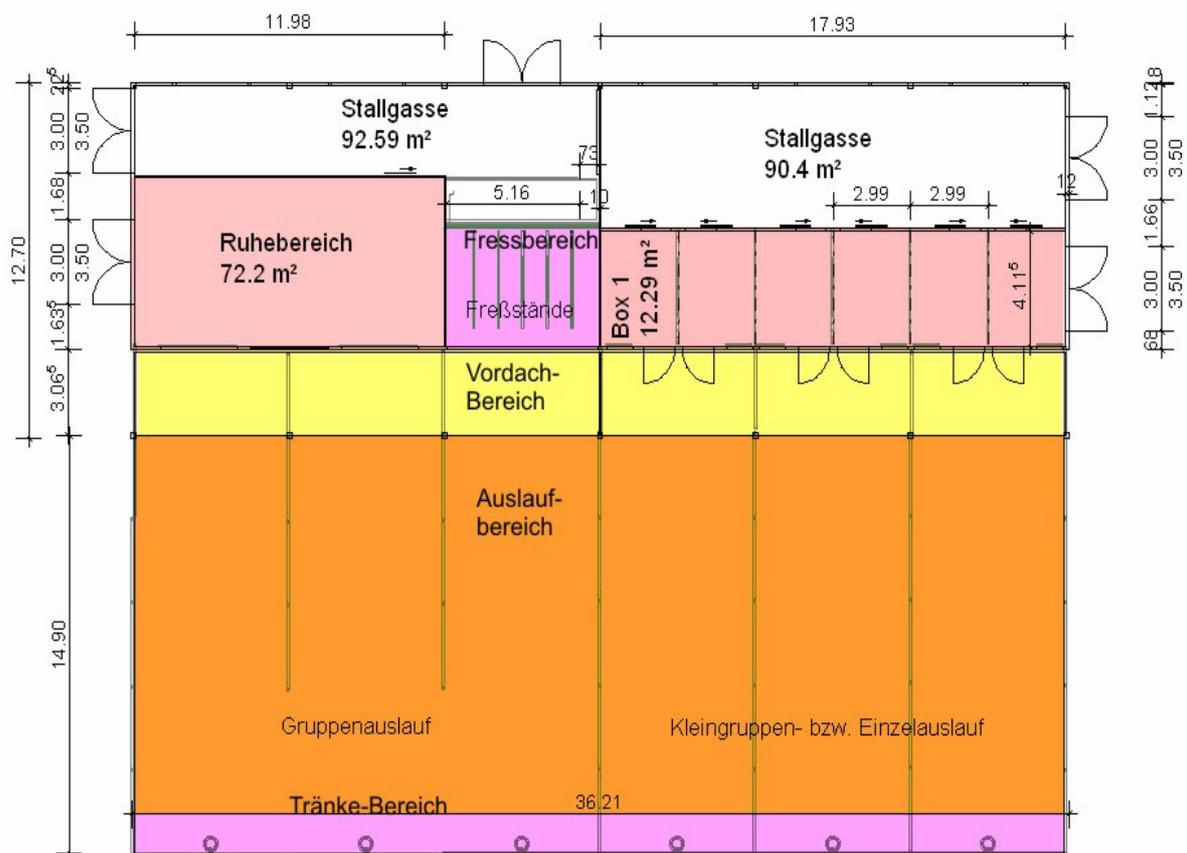


Abbildung 12: Funktionsbereiche des Versuchsstalles.

3.1.2 Pferde

Bei den im Versuch verwendeten Tieren handelte es sich um eine homogene Gruppe aus jungen Hannoveraner Warmblutstuten, welche zu Versuchsbeginn durchschnittlich eineinhalbjährig waren (Tabelle 2). Diese wurden dem Institut für Betriebstechnik und Bauforschung von zwei Züchtern aus der Umgebung für die Zeit der Untersuchungen zur Verfügung gestellt.

Tabelle 2: Name, Geburtsdatum, Abstammung und Farbe der im Versuch eingesetzten Pferde.

	Name	Geburtsdatum	Vater	Mutter	Muttervater	Farbe
Gruppen-Haltung	Selma	18.04.2006	Stakkato	Baronesse	Bold Indian xx	Braun
	Empire	03.04.2006	Escudo I	Widia	Werther	Braun
	Rucola	02.05.2006	Ruehmann	White Lady	White Magic	Fuchs
	Emma	05.06.2006	Escudo I	Welfin	Wandergesell	Fuchs
	Enja	25.04.2006	Escudo I	Sensation	Stakkato	Braun
	Sambuca	27.04.2006	Stolzenberg	Bodega	Bold Indian xx	Braun
Einzel-Haltung	Sympathie	18.02.2006	Stakkato	Sanssouci	Silvio I	Braun
	Stakkita	01.03.2006	Stakkato	Pepita	Pino Colado	Rappe
	El Chica	05.04.2006	El Bundy	Cha Cha	Compliment	Rappe
	Rosiene	25.03.2006	Royal Blend	Fienchen	Fabriano	Braun
	Donnalie	16.01.2006	Don Frederico	Rosalie	Rosentau	Fuchs
	Royal Djamba	02.02.2006	Royal Blend	Djamba Lu	Don Frederico	Fuchs

Die Stuten wurden nach Eintreffen in der Versuchsanlage einer gründlichen Eingangsuntersuchung unterzogen. Auch im laufenden Versuch erfolgte eine tägliche Gesundheitskontrolle und eine regelmäßige Dokumentation des Körpergewichtes. Die Tiere wurden in regelmäßigen Abständen entwurmt, sowie gegen Tetanus geimpft. Ein Hufschmied übernahm die regelmäßige Pflege der Hufe, ein Beschlag wurde nicht aufgebracht. Bei den Pferden der Gruppenhaltung wurde die soziale Rangordnung innerhalb der Gruppe nach der Methode von Sambraus bestimmt. Hierbei errechnete sich der Rangindex nach der Zahl der unterlegenen dividiert durch die geklärten Rangverhältnisse eines Pferdes (SAMBRAUS 1975).

3.1.3 Fütterung und Einstreu

Die Fütterung der Stuten erfolgte mit 9 - 13 kg Heu (je nach Verzehr am Vortag) und 2,1 kg ungequetschtem Hafer pro Pferd und Tag. Zusätzlich erfolgte die tägliche manuelle Gabe von 50 Gramm Mineralfutter („Horse Vital Plus“, Firma Heinrich Eggersmann GmbH & Co KG, Rinteln). Salzlecksteine und frisches Wasser standen den Tieren ad libitum zur Verfügung. Die Fütterung der Tiere erfolgte mit Hilfe von Raufutterautomaten sowie Krafffutterdosierern. In der Gruppenhaltung wurde den Pferden das Heu transponder-gesteuert über ein Raufuttersystem der Firma Wasserbauer (Wasserbauer Fütterungssysteme GmbH, Waldneukirchen, Österreich)

verabreicht. In der Einzelhaltung erfolgte diese Zuteilung zeitgesteuert. Die Verabreichung des Kraftfutters erfolgte in der Gruppenhaltung über einen Kraftfutter-Dosierautomaten der Firma „HIT“ (Hinrichs Innovation & Technik GmbH, Weddingstedt), in der Einzelhaltung wurden Kraftfutterdosierer der Firma „Weinsberger International“ (Weinsberg) eingesetzt. Den Pferden der Einzelhaltung standen drei Fresszeiten à 120 Minuten für Heu zur Verfügung (04.35, 14.00 und 20.00 Uhr). Die Tiere in der Gruppe erhielten eine Gesamt-Fresszeit von 999 Minuten zugeteilt. Dadurch ergab sich in der Gruppenhaltung eine ad libitum Fütterung von Heu (tägliche Menge pro Tier rund 13 Kilogramm). Der Kraftfutterausstoß um 7.00, 13.00 und 18.30 Uhr erfolgte in der Gruppe zur gleichen Zeit wie in der Einzelhaltung, da dieser große Unruhe unter den Tieren verursachte und so ein gleichzeitiges Fressen möglich war. Pro Ausgabe wurde eine Menge von 700 Gramm Hafer zugeteilt, so dass die Gesamtmenge Hafer pro Tag und Pferd 2,1 Kilo betrug. Als Einstreumaterialien wurden in einem rotierenden System Weizenstroh, Strohpellets oder Hobelspäne verwendet, welches sich nach parallel laufenden Versuchen richtete. Das *Weizenstroh* stammte von einem Landwirt aus der näheren Umgebung von Braunschweig und wurde Anfang August 2007 gedroschen. Der Weizen wurde für bessere Standfestigkeit mit einem Halmverkürzungsmittel behandelt. Die Lieferung und Lagerung des Strohs erfolgte in Form von Quaderballen. Die verwendeten *Strohpellets* der Marke „Bioroll“ wurden von der Firma Heros hergestellt. Sie waren frei von Bindemitteln und chemischen Zusätzen und bestanden aus zerkleinertem, hochverdichtetem Stroh, welches in Pellets gepresst wurde. Diese wurden nach einigen Tagen von den Pferden zu einer weichen Einstreuschicht zertreten. Lieferung und Lagerung erfolgten in Big Bags à 800 Kilo. Weiterhin kamen *Hobelspäne* der Firma Goldspan (Göttingen) zum Einsatz, welche aus unbehandeltem Weichholz von Fichte und Tanne hergestellt wurden. Dabei wurde das Holz einem Trocknungsverfahren unterzogen und anschließend entstaubt. Es war nach Herstellerangaben frei von Pilzsporen und chemischen Mitteln. Lieferung und Lagerung erfolgte in plastikverschweißten 140 Liter-Ballen (Streuvolumen: 600 Liter).

3.1.4 Stallmanagement und Tagesablauf

Zwischen 06.00 und 12.00 Uhr vormittags wurden im Stall Routinetätigkeiten durch das Stallpersonal sowie Doktoranden vorgenommen. Dazu zählten das Misten und Einstreuen der Boxen und Liegebereiche, das Auffüllen der Vorratsbehälter der Heu- und Kraftfutterspender sowie die Pflege der Ausläufe. Auf diesen wurde einmal täglich der Kot abgesammelt und die anfallenden Mistmengen erfasst. Weiterhin wurden in dieser Zeit Versuchseinrichtungen gewartet und eventuell notwendige Reparaturarbeiten vorgenommen. Auch die tägliche Gesundheitskontrolle der Pferde fand in diesem Zeitraum statt, eventuelle Verletzungen oder Erkrankungen wurden in einem Versuchsprotokoll dokumentiert. Vier Stunden des Tages (vormittags) verbrachten die Pferde jeweils zu sechst auf einem Auslauf außerhalb des Stallgebäudes. Dies war im Winter ein unbegrünter Auslauf in der Größe von 0,25 Hektar, im Sommer eine Weide der Größe 0,5 Hektar. Zur besseren Erkennbarkeit auf Videoaufnahmen, sowie zur Unterscheidung der einzelnen Tiere wurden ihnen unterschiedliche Symbole ins Fell gebleicht (Abbildung 13). Verwendet wurde dazu ein Blondierungsmittel aus dem Friseurbedarf (Blondierpulver Oxydant 9 %, Firma Gieseke GmbH, Langenhagen; Creme Oxyd 9 %, Firma Rufin Cosmetic Langenhagen). Es wurde an drei Stellen (rechte und linke Brustseite sowie oben auf der Kruppe) auf das Fell aufgetragen und nach einer Einwirkzeit von etwa 15 - 20 Minuten ausgewaschen. Die Blondierung musste jeweils zum Fellwechsel im Sommer und im Winter, sowie teilweise bei Bedarf auch häufiger, erneuert werden.



Abbildung 13: Individuelle Kennzeichnung der Pferde durch in das Fell gebleichte Symbole.

In den Sommermonaten wurden die Tiere regelmäßig mit dem Insektenschutzmittel Wellcare[®] (Firma Essex Pharma GmbH, München) behandelt. Geräte zur Aufzeichnung von Daten, welche am Pferd direkt angebracht wurden, wurden mit einem bitterstoffhaltigen Mittel (Equistop[®] der Firma Stassek Diversit GmbH, Ahaus) behandelt, um sie vor Verbiss zu schützen. In unmittelbarer Nähe des Pferdestalles befand sich eine Wetterstation (Mikroprozessor-Wetterstation MWS 9-5, Firma Reinhardt, Diessen), weiterhin standen Daten des Deutschen Wetterdienstes aus der näheren Umgebung zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Daten konnten Witterungsbedingungen protokolliert und extreme Witterungsverhältnisse direkt am Stall festgestellt werden. Temperatur und Luftfeuchte im Stallbereich wurde mittels Tiny Tags[®] (Firma Gemini Data Loggers, UK) gemessen.

3.2 VERSUCHSZEITRAUM

Die Untersuchungen wurden im Zeitraum von Mai 2007 bis September 2008 durchgeführt, wobei sich der Hauptversuch innerhalb von vier Monaten von 01.06.2008 bis 30.09.2008 erstreckte. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten, im Besonderen wegen der hohen Verbauung von Metallteilen im Bereich der Einzelboxen und dem damit verbundenen schlechten Empfang der Funk-Positionierung, wurden ausschließlich in der Mehrraum - Gruppenauslaufhaltung Daten erhoben.

3.3 VERSUCHSAUFBAU

Die ersten zwei Wochen nach Ankunft der Stuten im Versuchsgebäude dienten als Eingewöhnungszeit, da die Tiere bisher ausschließlich in Weidehaltung aufgewachsen waren. In dieser Zeit konnten sie sich gut an Stalleinrichtungen, insbesondere das automatische Fütterungssystem, und das Handling durch Menschen akklimatisieren. Der folgende Zeitraum von ungefähr einem Jahr wurde genutzt, um das neue Positionierungssystem zu installieren und für den Einsatz am Pferd umzurüsten. Der Hauptversuch der vorliegenden Dissertation erstreckte sich über 16 Wochen und diente der Überprüfung der Funktionalität des neu erbauten Systems. Hierbei erstreckte sich der Versuch über zwei Phasen: Nach der Umrüstung der Technik wurden zunächst Positionierungssimulationen durchgeführt,

um Betrieb und Genauigkeit sowie Störanfälligkeit des Systems zu erfassen. Anschließend erfolgte der praktische Einsatz am Pferd. Hierbei wurden Daten der Tiere in 24-Stunden-Episoden erfasst. Dies erfolgte, je nach örtlichen Gegebenheiten und Untersuchungszweck, parallel mittels neu erbauter Positionierung, Videoaufzeichnungen und Anbringung von ALT-Pedometern und GPS-Geräten. In den Zeiten in denen die Pferde auf der Weide waren, wurden statt Videoaufzeichnungen Direktbeobachtungen durchgeführt. Aufgrund begrenzter technischer Kapazitäten wurden immer jeweils drei Pferde der Gruppenhaltung mit allen Geräten ausgestattet und es wurden Messintervalle von 24 Stunden angestrebt, in denen alle Methoden miteinander verglichen wurden. Hierbei wurden Positionierungsdaten dauerhaft aufgezeichnet, diese mit einer speziellen Software (TOPOS[®], TU Clausthal) visualisiert und auf Plausibilität sowie ihre Aussagefähigkeit im speziellen Einsatzgebiet geprüft.

Übersicht Versuchsaufbau:

- **Phase 1 (Mai 2007 bis Mai 2008):** Umrüstung, Adaption und Aufbau des neuen Positionserfassungssystems
- **Phase 2 (Juni bis Juli 2008):** Positionierungssimulationen und Genauigkeitsmessungen ohne Pferde
- **Phase 3 (August 2008):** Erhebung von 24-Stunden-Messungen am Pferd und Vergleiche mit den Daten der anderen Messmethoden

3.3.1 Phase 1: Adaptions- und Aufbauphase

In Phase 1 erfolgte die Umrüstung des Systems vom ursprünglichen Einsatzgebiet in der Logistik zur Anwendung am Pferd. Hierfür mussten verschiedene Anpassungen bezüglich Größe, Gewicht und Betriebssicherheit vorgenommen werden. Ebenfalls erfolgte die Adaption an den speziellen Einsatzort, da im Tierbereich mit anderen Bedingungen zu rechnen war. Weitere vorbereitende Zeitabschnitte beinhalteten den Aufbau der Hardware, deren Funktionsoptimierung, die Gewährleistung einer ungestörten 24-Stunden-Dauerfunktion durch Optimierung der Akkuleistung sowie die Entwicklung einer spezifischen Auswertungs-Software. Auch wurden spezielle

Pferdegurte entwickelt, in denen die technischen Geräte sicher und tiergerecht platziert werden konnten. Bezüglich Materialeigenschaften und Konstruktion mussten einige Anpassungen erfolgen, da die Gurte in einer Gruppenhaltung, insbesondere bei jungen und neugierigen Tieren, sehr starken Belastungen durch Verbiss und Spielverhalten ausgesetzt waren. Weiterhin mussten die absolut unerfahrenen Jungtiere sehr langsam an das Anbringen von Gurten und Pedometern gewöhnt werden. Auch das Tragen selbiger über einen Zeitraum von jeweils 24 Stunden musste über längere Zeit hinweg trainiert werden.

3.3.2 Phase 2: Positionierungssimulationen

Bevor das Positionierungssystem am Pferd eingesetzt wurde, wurden Funktion und Genauigkeit des Systems in spezifischen Anwendungen simuliert. Es wurden verschiedene Simulationen durchgeführt, welche pro Funktionseinheit je dreimal wiederholt wurden. Die Simulationen wurden in fünf verschiedene Schwerpunktthemen unterteilt:

Schwerpunktthema Wegstreckenbestimmung

- I. Begehen definierter Strecken Indoor/Outdoor
- II. Test gerader Streckenverlauf versus Kurven
- III. Begehen definierter Muster und Kreise mit bestimmten Radien
- IV. Befestigen an einer Führanlage, bestimmte Umdrehungszahl und Berechnen der exakten Wegstrecke

Schwerpunktthema Geschwindigkeiten

- I. Montage an einer Führanlage und Überprüfung Geschwindigkeiten
- II. Erkennen von Geschwindigkeitsänderungen, Richtungswechseln in der Führanlage

Schwerpunktthema Koordinatenbestimmung und Ortstreue

- I. Aufsuchen von genau definierten Koordinaten im Stall und auf der Weide, einzeln und nacheinander nach bestimmtem Schema
- II. Platzieren der Ortungseinheit an strategisch wichtigen Punkten (Tränken, bestimmte Fressstände, Weidetor)

- III. Platzieren der Ortungseinheit an einer definierten Stelle und dortiges Verbleiben für 5, 10, 30, 60 Minuten bzw. 12 h und 24 h;
Nebenbeobachtung: Betriebsdauer der Akkus

Schwerpunktthema Lagesimulationen

- I. Verbringen der Ortungseinheit in verschiedene Höhen zur Überprüfung der z-Koordinate
- II. Ortungsgenauigkeit in Schräg- oder Kopflage

Schwerpunktthema Fehlersimulationen

- I. Bestimmung der Reichweite auf dem Gelände
- II. Bestimmung von toten Winkeln
- III. Simulation von Signalabschattungen durch die Umwelt (Metall, Holz, Wasser, Pferde, Menschen, nasse Blätter, Stalleinrichtungen)
- IV. Simulation von Beeinträchtigungen durch das Pferd (Verrutschen, mehrere Pferde dicht beieinander): Abdecken der Antenne, mehrere Ortungseinheiten in unmittelbarer Nähe

3.3.3 Phase 3: Methodenvergleiche

Nachdem der Systembeweis in Simulationen erfolgt war, wurde die Technik in der Praxis am Pferd erprobt. Hierbei erfolgte ein direkter Vergleich der vom Funkortungssystem ausgeworfenen Daten mit Daten anderer Messmethoden. Hierzu wurden die Pferde mit jeweils einer Basisstation zur 3D-Positionierung ausgestattet, einem GPS-Gerät sowie einem Pedometer an jedem Bein (vier insgesamt). Die komplette Messepisode wurde per Videokamera aufgezeichnet, um das Verhalten der Tiere im Nachhinein überprüfen zu können. Während vier Stunden hielten sich die Pferde auf einer angrenzenden Weide auf, welche aus technischen Gründen nicht mit Videosystemen ausgestattet war. In dieser Zeit wurden ersatzweise Direktbeobachtungen durchgeführt. Jeweils eine Person beobachtete hierbei ein Pferd mittels der Continuous-Recording-Methode. Es wurden ausschließlich Messepisoden verwendet, in denen die Geräte 24 Stunden am Stück größtenteils

fehlerfrei gemessen haben und es nicht zu Ausfällen durch Technik, Pferde oder ungünstige Witterungseinflüsse kam.

Insgesamt standen letztendlich neun komplette Messungen à 24 Stunden für die Auswertung und zum Methodenvergleich zur Verfügung. Die Messungen stammten von fünf verschiedenen Pferden (teils mehrfach gemessen), und wurden zufällig ausgewählt, je nach Vollständigkeit der Datensätze. Dabei wurden die Messungen meist in einen **Gesamtpool von insgesamt 216 Stunden** verwandelt und anschließend ausgewertet.

3.4 ERFASSUNGSMETHODEN

3.4.1 Methodenwahl

Für die vorliegende Untersuchung wurden folgende Methoden verwendet: Ein System zur 3D-Positionierung, die Direktbeobachtung der Tiere, ein Videoüberwachungssystem im Stall, ALT-Pedometer sowie GPS-Geräte. Diese Methoden wurden in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten als praktisch am besten durchführbar und als tiergerecht erachtet. Direktbeobachtungen sowie Videoaufzeichnungen wurden gewählt, da sie die Tiere wenig beeinflussen und trotzdem gute Aussagen bezüglich des Verhaltens ermöglichen. Dies geschah besonders in der Hinsicht, dass für die Überprüfung der 3D-Positionierung ein Goldstandard benötigt wurde. Auch der Einsatz von Pedometern zur Anbringung am Pferdebein war leicht durchführbar und ebenso wie die anderen Methoden relativ kostengünstig zu verwirklichen. Das Verhalten der Tiere wurde durch die Anbringung der relativ kleinen, leichten Pedometer nicht nennenswert beeinträchtigt. Einen etwas größeren technischen, sowie finanziellen Aufwand bedeutete die Installation von GPS-Geräten am Pferd. Hier sollte evaluiert werden, ob GPS-Geräte für den Einsatz in offenen Stallungen mit großen Auslaufbereichen vielleicht geeignet sein könnten. Arbeitshypothese war hier, dass GPS nur im Außenbereich einsetzbar sei und weder die erforderliche Genauigkeit noch eine ausreichend hohe Messrate liefert (VOSSIEK et al. 2005). Der Einsatz der 3D-Positionierung erfolgte zum ersten Mal im Tierbereich und sollte präzise Daten zu Aufenthaltsbereichen, zurückgelegten Wegstrecken und Geschwindigkeiten der Pferde sowie zum Liegeverhalten liefern.

3.4.2 Direktbeobachtung

Direktbeobachtungen wurden vormittags (8-12 Uhr) innerhalb des 24-Stunden-Intervalles auf der Weide durchgeführt. Hierbei wurden die Tiere vorher an die Anwesenheit der Beobachterinnen gewöhnt, so dass hier keine Beeinflussung vorgenommen wurde. Die Weidezeit in dieser Versuchsphase betrug täglich vier Stunden. Hierbei wurde per Direktbeobachtung erfasst, in welchem Sektor der Weide (vier Quadranten, Abbildung 14) die Tiere sich aufhielten. Weiterhin wurde der *Fortbewegungsstatus* erfasst (Stehen, Schritt, Trab, Galopp), sowie die *Verhaltenssequenzen* Liegen in Brustlage und Liegen in Seitenlage. Alle Erhebungen erfolgten mittels Continuous Recording, jedoch beschränkten sich die Beobachtungen auf jeweils die drei Pferde, welche die Geräte trugen. Insgesamt umfasste der Zeitraum der Direktbeobachtungen von insgesamt neun Pferden 36 Stunden auf der Weide.



Abbildung 14: Virtuelle Einteilung der Weide in vier Quadranten (Weide 1-4).

3.4.3 Videoanalyse

Zur ständigen Überwachung der Pferde wurde im Bereich des Stalles ein System von zehn Videokameras fest installiert, mit welchem die Aktivitäten der Pferde selbst und sonstige Abläufe im Stall jederzeit beobachtet werden konnten. Die Kameras erfassten den gesamten Stallbereich in Einzel- und Gruppenhaltung, die Stallgasse, die Paddocks sowie Teile der Stallumgebung (Abb. 15). In der Einzelhaltung befanden sich im Innenbereich insgesamt drei Videokameras, welche an Masten in einer Höhe von 5,5 Metern immer zwischen zwei Pferdeboxen angebracht wurden, so dass diese zwei Boxen in der Aufsicht zu erkennen waren. Dafür wurden drei

Kameras vom Typ Sony Exwave HAD; SSC-DC 50 AP/54 AP/58 AP mit dem Objektiv Computar Auto Iris Vari Vocal Lens 2,7-8 mm / F 1:1,0 und einer Chipgröße von 1/3 Zoll verwendet. In der Gruppenhaltung wurden zwei Kameras im Liegebereich verwendet, um die Tiere auch nachts noch gut unterscheiden zu können. Beide Kameras waren auf einer Höhe von drei Metern angebracht und erfassten den Liegebereich in einem schrägen Winkel. Weiterhin wurde eine Kamera (Sony Exwave HAD, SSC-DC 58 AP mit Objektiv 4-10 mm/F 1,8) in einer Höhe von sechs Metern über dem Fressbereich angebracht, so dass sowohl der Fressbereich selbst, als auch der überdachte Platz vor dem Fressbereich eingesehen werden konnte, da sich die Pferde auch hier häufig aufhielten. Die Außenbereiche wurden von zwei Kameras erfasst, welche an zwei Masten an den Enden des Sandauslaufes in einer Höhe von acht Metern angebracht wurden. Hierbei konnte jeweils der Auslaufbereich der Einzelhaltung von dem der Gruppenhaltung unterschieden werden. Zum Einsatz kamen zwei Farbrechtlichtkameras (Ganz ZC-Y 20 PH mit Objektiv Eneo DC Control 2,6 mm/F 1,0). Weiterhin gab es eine Kamera, welche die Vorgänge auf der Stallgasse überwachte, sowie ein Gerät welches den Vordachbereich der Gruppenhaltung aufzeichnete. Der komplette Stall- und Außenbereich war mit dämmerungsaktiver, schwacher Beleuchtung ausgestattet, um die nächtliche Erkennbarkeit der Tiere auf den Videoaufnahmen zu gewährleisten. Die an verschiedenen Stellen gemessene Beleuchtungsstärke lag hierbei zwischen 0,3 und 6,2 Lux (Messgerät: Illumination Meter, Voltcraft, DX-200, Conrad Electronics, Hirschau).

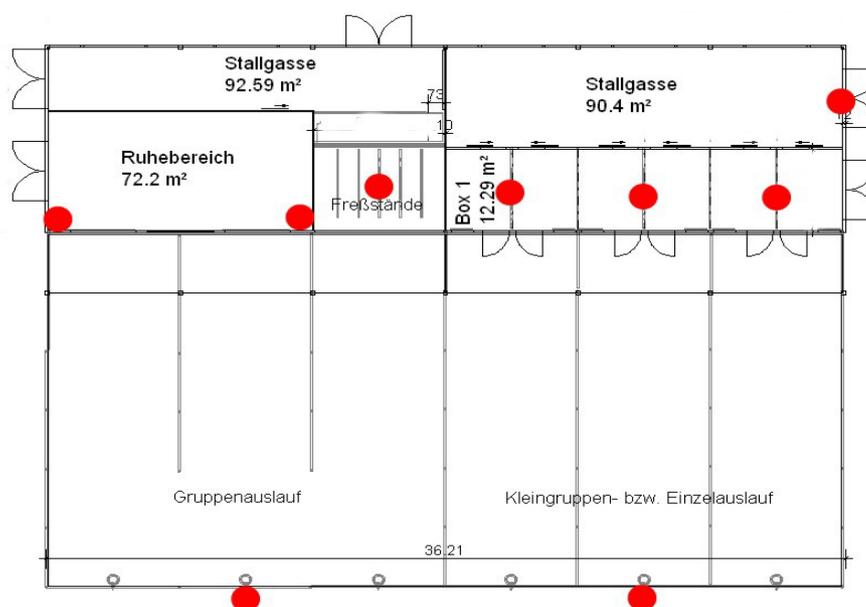


Abbildung 15: Grundriss des Stalles mit Positionen der Videokameras.

Die Videoaufzeichnung erfolgte kontinuierlich über 24 Stunden täglich, sieben Tage in der Woche, ganzjährig. Dabei wurden die Videos mittels Multiplexer zu einem Vierfachbild gebündelt, direkt digitalisiert und auf einem Videosever gespeichert, welcher täglich auf seine Funktionalität überprüft wurde. Somit stand eine große Zahl an Videodaten zur Verfügung. Die Analyse der digitalen Videodaten erfolgte mit Hilfe eines Computerprogramms zur Verhaltensanalyse (Interact[®] Version 8.0, Firma Mangold, Arnstorf). Mit Hilfe dieses Programms konnte das Verhalten mehrerer Pferde gleichzeitig analysiert werden. Dazu konnte das digitale Filmmaterial direkt am PC mit Hilfe des Windows Media Player[®] (Firma Microsoft) abgespielt und ausgewertet werden. Zuvor ausgewählte Verhaltensparameter konnten den einzelnen Tieren zugeordnet und in einer separaten Interact-Datei gespeichert werden. Zusätzlich wurden die Datensätze im Tabellenkalkulationsprogramm Excel (Firma Microsoft) gespeichert, um die anschließende statistische Auswertung zu erleichtern. Zur Auswertung wurden die Verhaltensparameter „*Stehen*“, „*Schritt*“, „*Trab*“, „*Galopp*“, „*Liegen in Brustlage*“ und „*Liegen in Seitenlage*“ definiert. Diese wurden ausgewählt, da sie mit den anderen Methoden vergleichbar sind, z.B. kann sehr gut in allen Methoden unterschieden werden ob ein Pferd eine Aktivität zeigt, oder ob es in Brustlage ruht. Verhaltensparameter wie beispielsweise „*Fressen*“ können jedoch von Methoden wie der Positionierung nicht erkannt werden und wurden daher bei der Untersuchung nicht berücksichtigt, da keine Aussagen zum Verhalten der Tiere getroffen werden sollten. In einer weiteren, getrennt von den Verhaltensparametern durchgeführten Untersuchung, wurde die Aufenthaltshäufigkeit in bestimmten Bereichen des Stalles erfasst. Hierbei wurde der Stall zum Einen in die Funktionsbereiche Fressen, Liegen und Auslauf unterteilt, zum Anderen wurden aber auch diese Bereiche nochmals in kleinere Zonen unterteilt und besondere Punkte im Stall festgelegt, so genannte *Points of Interest*. Diese waren beispielsweise einzelne Fressstände oder die Tränken des Stalles (Abb. 16).

Die Auswertung der Videodateien stellte den zeitlimitierenden Faktor dar, da für die Auswertung einer Zeitstunde Videomaterial bis zu eine Zeitstunde Auswertungszeit gerechnet werden musste. Daher wurden Methodenvergleiche nur in den Zeiten erfasst, in denen auch Videos ausgewertet oder Direktbeobachtungen durchgeführt werden konnten.

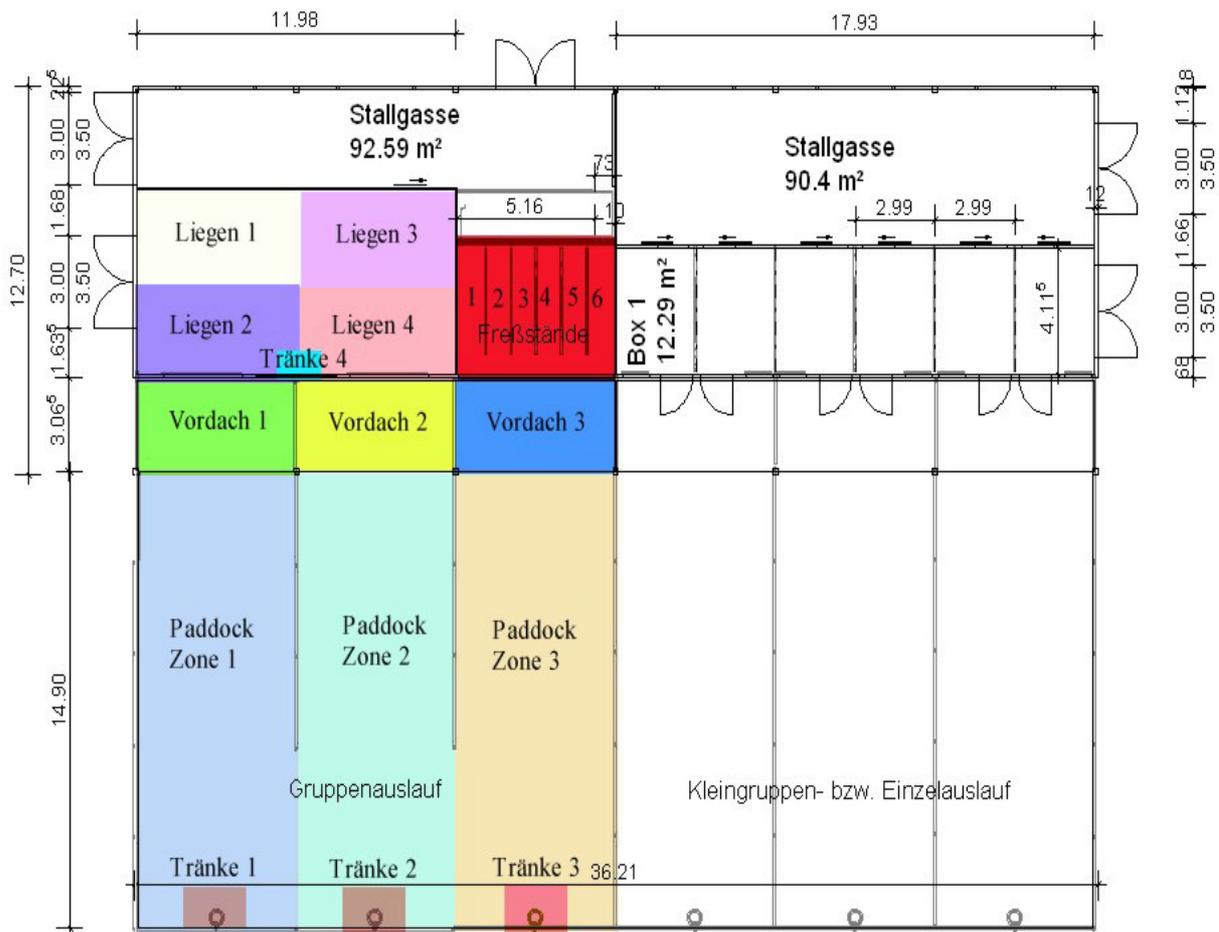


Abbildung 16: „Points of Interest“, Festlegung von auszuwertenden Aufenthaltsbereichen, im Bereich der Gruppen-Auslaufhaltung (linker Teil des Stalles). Die Einfärbung dient lediglich zur Unterscheidung der Zonen und impliziert keine Wertung.

3.4.4 Pedometer

Eingesetzt wurden so genannte ALT-Pedometer (Ingenieurbüro Holz, Falkenhagen). Hierbei steht „A“ für die Messung der Aktivität, „L“ für die erfasste Liegezeit, welche nochmals in Brust- oder Bauchlage unterschieden werden kann, sowie „T“ für die am Tier gemessene (Umgebungs-) Temperatur. Für die Untersuchung standen pro Pferd vier Pedometer zur Verfügung, sowie zusätzlich dazu insgesamt drei Ersatz-Pedometer. Das System der Pedometer wurde ursprünglich für den Einsatz zur Brunsterkennung beim Rind entwickelt, inzwischen wurde es aber auch häufig für Studien am Pferd eingesetzt, wie im Literaturteil bereits herausgestellt wurde. Es erfasst die Bewegungsaktivität und Lageveränderungen, welche beim Liegen des

Tieres in Brust- oder Seitenlage entstehen, durch Bewegungen einer kleinen Metallkugel, sowie die Umgebungstemperatur am Fesselbein durch einen Thermosensor. Weiterhin verfügte jedes Pedometer über einen μ -Prozessor, einen Datenspeicher sowie ein Funkmodul zur drahtlosen Weiterleitung der Daten an einen Empfänger-PC. Der Prozessor erfasste die Schrittkaktivität (*Steps*) der Pferde im Frequenzbereich von zwei Hertz; die beiden Liegepositionen *Brust- und Seitenlage (L1/L2)* wurden innerhalb einer Tastzeit von 15 Sekunden unterschieden. Zu Beginn einer Messperiode konnte ein Messintervall durch den Anwender festgelegt werden, dieses betrug in der vorliegenden Untersuchung jeweils 60 Minuten. Die jeweiligen Werte des Tieres wurden vom Pedometer-Prozessor gesammelt und nach Ablauf jedes Messintervalls im internen Datenspeicher zwischengespeichert. Die Summe von Schrittkaktivität, Liegeposition, Umgebungstemperatur sowie Datum und Zeit bildete jeweils einen Datensatz, welcher alle 60 Minuten anfiel. Alle drei Stunden wurden diese Datensätze automatisch über ein Funkmodul, welches sich mittig im Stall unter dem Dach befand, vom Empfänger-PC abgerufen und in einer Datenbank (MS Access) abgelegt. Konnte ein Pedometer vom Funkmodul nicht erreicht werden, da sich das Pferd beispielsweise auf der Weide befand, konnten die Daten unbeschädigt zu einem späteren Zeitpunkt ausgelesen werden. Die Anbringung der etwa 130 Gramm schweren Pedometergeräte erfolgte an den unteren Gliedmaßenabschnitten der Pferde, am Röhrbein oberhalb des Fesselgelenkes (Abb.17). Da es verschiedene Einflussfaktoren für die Anbringung an Vorder- oder Hinterbein gibt, wurden pro Pferd vier Pedometer angebracht, eines an jedem Bein. In den Vorversuchen entstand der Verdacht, dass am Vorderbein angebrachte Pedometer die Liegeposition der Tiere besser erkennen. Hierbei war zu beachten, dass am Vorderbein angebrachte Pedometer durch Spiel- und Kommunikationsverhalten von Pferden (z.B. Scharren) höhere Bewegungsaktivitäten („Steps“) zeigen können als am Hinterbein des gleichen Tieres. Auch der eventuelle Unterschied zwischen der Anbringung des Pedometers am Vorder- oder Hinterbein sollte im Zuge des Methodenvergleiches erfasst werden. Zu Beginn der Versuche wurden die Pedometer am Gerät, sowie am Befestigungsband, mit Moosgummi unterpolstert und dieses Polster mit Gewebeklebeband fixiert. Da die jungen Stuten jedoch sehr neugierig waren und einen großen Spieltrieb zeigten, wurden diese Polster immer von den Tieren abgerissen und stellenweise sogar aufgefressen.

Daher wurde im weiteren Versuch auf eine Polsterung verzichtet und es wurden stattdessen Plastik-Bänder (Kuhmarkierungsband, Firma Fehlig) zur Anbringung benutzt, welche auch bei Kühen verwendet werden (Abb. 17). Die Befestigung der Pedometer wurde jeden Tag kontrolliert. Die Beine der Pferde, sowie die Geräte und Bänder, wurden gesäubert und die Haut der Tiere auf Verletzungen und Scheuerstellen überprüft. Die Pedometer wurden im Vorversuch maximal fünf Tage an demselben Bein getragen, danach folgte eine freie Zeit von zwei Tagen, und in den darauf folgenden fünf Tagen wurden die Geräte am gegenüberliegenden Bein angebracht. Im Hauptversuch, wenn die Tiere vier Pedometer trugen, wurden diese nach 24 Stunden abgenommen.



Abbildung 17: Anbringung und Position eines Pedometers am Pferdebein.

3.4.5 GPS

Das im Versuch eingesetzte GPS-Gerät *POLAR Equine RS800*[®] wurde von der Firma Polar zur Verfügung gestellt. Es befand sich in einem speziell für den Einsatz am Pferd entwickelten Bauchgurt (sog. Textilsender), welcher speziell für starke Belastungen ausgelegt war (Abb. 18 und 23). Einsatzbereich dieses Gerätes ist in der Regel im Pferdesport zum Leistungsmonitoring, da eine gleichzeitige Messung der Herzfrequenz erfolgt. Diese wurde jedoch für den vorliegenden Versuch nicht genutzt, sondern ausschließlich die Daten zu den zurückgelegten Wegstrecken, Höhen und Geschwindigkeiten. Die Daten wurden zunächst vom GPS-

Erfassungsgerät an den Datenspeicher im Armbanduhrformat gesendet. Das Speichergerät verfügt über eine kabellose Übertragungsmöglichkeit per Infrarotschnittstelle zum Computer. Hierher wurden die gespeicherten Daten übertragen und anschließend mit einer Auswertungssoftware (Polar Equine ProTrainer 5.0) analysiert.



Abbildung 18 : GPS-Gerät, bestehend aus GPS-Empfänger, Datenuhr und Bauchgurt.

3.4.6 Funkortung

Verwendet wurde das Positionierungssystem „Local Positioning Radar“ (LPR) der Firma Symeo (München). Es wurde ursprünglich für den Bereich Logistik und Transport, genauer zur Ortung von beweglichen Transportmitteln wie Gabelstaplern oder Kränen in definierten Arealen, entwickelt. Dieses wurde in Zusammenarbeit mit der TU Clausthal-Zellerfeld (Institut für Elektrische Informationstechnik IEI, Prof. Martin Vossiek) für die Anwendung am Pferd umgerüstet und für den speziellen Einsatzort adaptiert. Das Prinzip der LPR-Positionierung beruht auf der Messung von Signallaufzeiten der Funkwellen zwischen den mobilen Basisstationen (Sender) und den fest installierten Transpondern (Empfänger). Es kam das Prinzip des Round Trip Time of Flight (RTOF) zum Einsatz (Abb. 6). Hierbei sendet die mobile Basisstation ein frequenzmoduliertes Signal aus (*FMCW, Frequency Modulated Continuous Wave*). Dieses Signal kann durch die Transponder (TP), welche sich in Sichtweite zur Basisstation (BS) befinden, empfangen werden. Dort wird das Signal verstärkt, auf

charakteristische Weise moduliert und zur sendenden Station zurückgefunkt (Abb. 19). Die mobile Station ist nun in der Lage, aus dem gesendeten und dem empfangenen Signal mittels Frequenzdifferenz die Entfernung von der mobilen zur fixen Einheit zu berechnen. Die Besonderheit ist hierbei, dass das Signal im TP nicht verarbeitet, sondern lediglich moduliert reflektiert wird. Hierdurch entstehen gegen Null gehende so genannte Totzeiten. Die TP arbeiten unabhängig voneinander und müssen nicht untereinander oder mit den BS synchronisiert werden. Eine höhere Anzahl von TP, sowie eine gute Abdeckung und Sichtkontakt zu mindestens drei TP auf jedem Punkt eines Geländes, erhöhen die Funktionssicherheit und Genauigkeit des Systems. Die eigentliche Positionierung der Basisstationen bzw. Pferde erfolgte über einen Algorithmus, die Objektdynamik wurde hierbei mittels Kalmanfilter berücksichtigt.

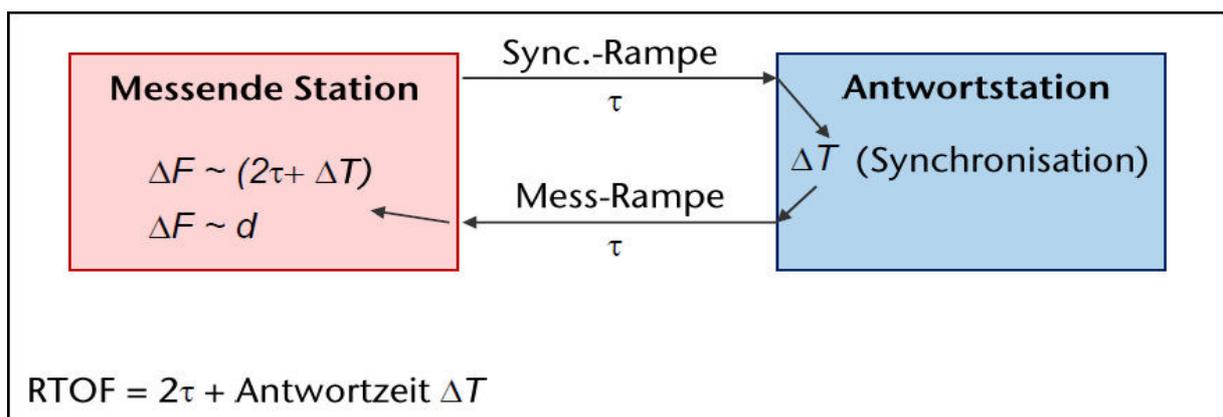


Abbildung 19: Messprinzip des eingesetzten Funkortungssystems (RTOF-Prinzip), Abbildung nach EBELT 2009.

Im Stall sowie in der näheren Umgebung und auf der Weide wurden insgesamt 13 Transponder installiert (Abbildung 20 und 21). Im Stall wurden die Geräte in einer Höhe von mindestens drei Metern an der Wand befestigt, weiterhin im Auslaufbereich an zwei Kameramasten in einer Höhe von sechs Metern, an einem Strohlager gegenüber des Stalles auf acht Metern Höhe, sowie auf der Weide an fünf Holzmasten auf vier Metern Höhe. Dadurch wurden der gesamte Stall, sein Auslaufbereich, die Umgebung des Stalles und die Weide erfasst. Technische Details des Positionierungssystems (Herstellerangaben Firma Symeo, München):

- Frequenzband: 5,725 - 5,875 GHz
- Sendeleistung: Max. 0,008 W / 9 dBm Leistung am Antennenanschluss.

- Reichweite: Max. 1800 m
- Messgenauigkeit: ± 5 cm
- Messfrequenz: Max. 30 Hz
- Spannungsversorgung: 10-36 V
- Umgebungstemperatur: -40°C bis $+70^{\circ}\text{C}$



Abbildung 20: Installation der Transponder im Stall (links), sowie auf der Weide (rechts).



Abbildung 21: Aufsicht auf den Pferdestall und die angrenzende Weide (rote Linie) mit Position der Transponder (blau). (Abbildung: TU Clausthal-Zellerfeld).

Zusätzlich zum LPR-System wurde jede Messeinheit noch mit einem Lage- und Beschleunigungssensor ausgestattet (SMB 380 Triaxial Acceleration Sensor, Firma

Bosch, Reutlingen), welcher in das Gehäuse der Basisstation integriert wurde. Dieser konnte Bewegungen und Neigungen in drei Achsen bestimmen, um eine Unterscheidung zwischen Brust- und Seitenlage zu ermöglichen. Jeweils drei Pferde trugen eine Funkausrüstung in einem speziell angefertigten, weich gepolsterten Brust-Bauchgurt (Abb. 23). Die Funkausrüstung bestand aus einer Basisstation, zwei Akku-Paketen, sowie einer Antenne, welche jeweils untereinander verbunden waren (Abb. 22).

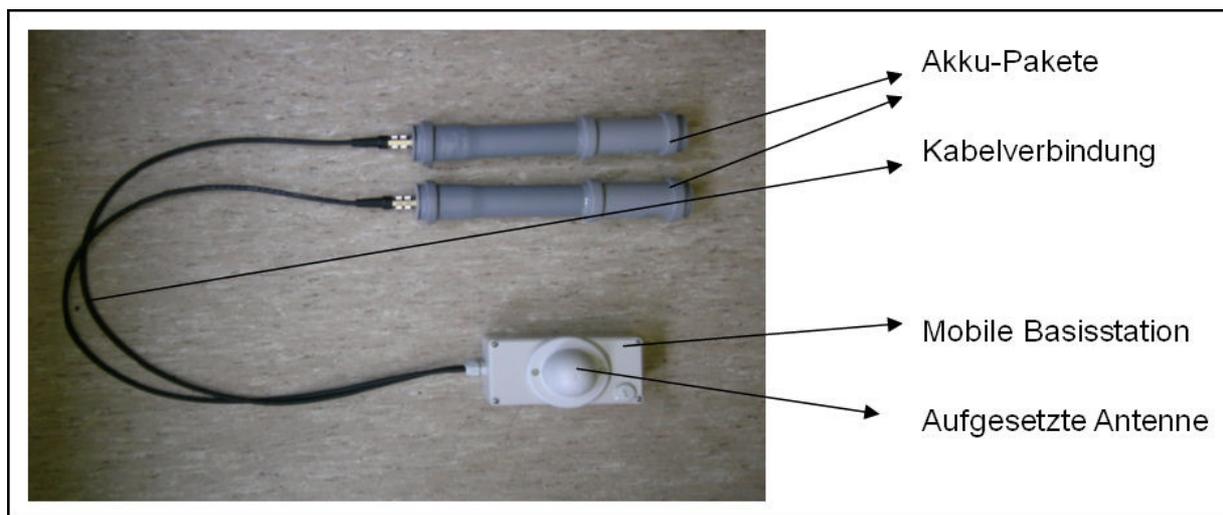


Abbildung 22: Positionierungseinheit, bestehend aus zwei Akku-Paketen sowie einer Basisstation mit aufgesetzter Antenne (mobiles System).

Zum Schutz der Geräte vor Witterungseinflüssen und Beschädigungen durch die Tiere wurden diese in feste Kunststoffgehäuse verbracht und gut gepolstert in einen stabilen Gurt eingenäht. Hierbei wurden die Akkus, welche aus Gründen der Gewichtsverteilung in zwei Portionen aufgeteilt wurden, jeweils rechts und links am Hals des Pferdes positioniert. Die Antenne musste aus technischen Gründen (bestmöglicher Empfang) gut gepolstert im Widerristbereich am höchsten Punkt des Pferdes angebracht werden. Aufgrund der hohen Empfindlichkeit von Hochfrequenz-Antennenkabeln und deren Bruchgefahr wurde das Kabel von der Basisstation zur Antenne komplett in dem Behälter für die Basisstation versenkt und die Antenne direkt auf dieser angebracht, so dass Basisstation und Antenne gemeinsam auf dem Pferderücken getragen wurden. Die Leistung der Akkus wurde soweit optimiert, dass ein Austauschen selbiger frühestens alle 24 Stunden nötig war. Somit konnten Messintervalle von durchgehend 24 Stunden gewährleistet werden. Die gesamte

Ausrüstung eines Tieres belief sich auf drei Kilogramm, also durchschnittlich etwa 0,6 bis 0,7 % des Körpergewichtes der Pferde. Der Gurt wurde jedoch zur Schonung der Tiere nur an einzelnen Tagen über 24 Stunden getragen, und es wurde stets sichergestellt dass die Stuten keine Verletzungen oder Scheuerstellen aufwiesen.

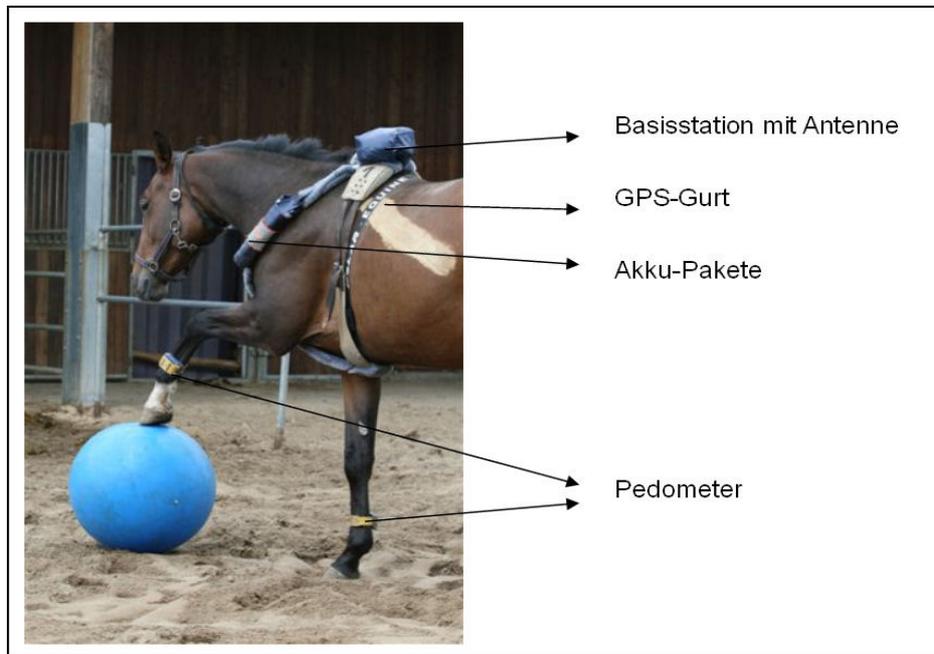


Abbildung 23: Pferd mit Messgeräten (Positionierung, GPS, Pedometer).

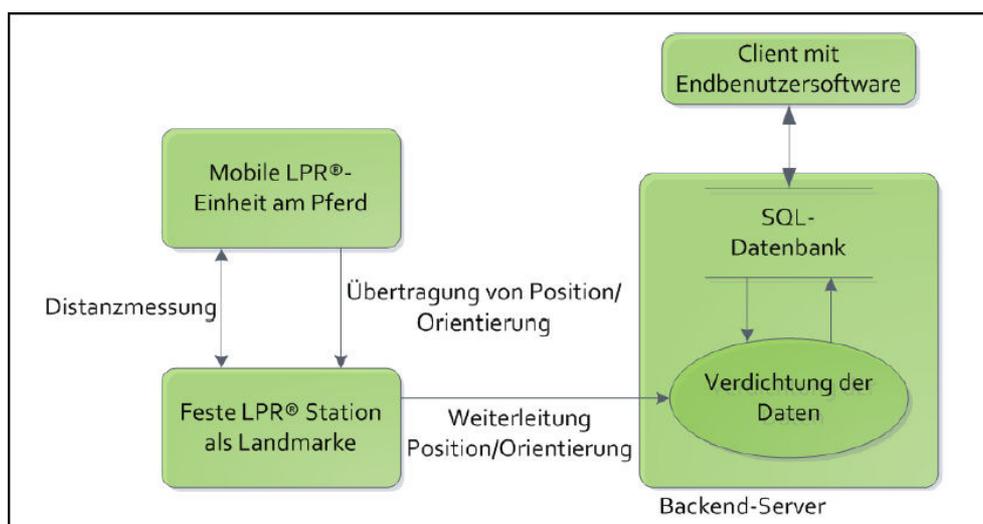


Abbildung 24: Gesamtüberblick über die Infrastruktur des eingesetzten Ortungssystems (EBELT 2009).

Abbildung 24 stellt den Weg der Datenerfassung und deren Weiterverarbeitung dar. Die gesammelten Funkdaten wurden drahtlos zu einer Sammelstation, einem unter dem Stalldach montierten Industrie-PC, übertragen und von dort zu einem PC in einem Stallnebengebäude weitergeleitet. Dort konnten sie verdichtet, in einer Datenbank gespeichert und mittels Endbenutzersoftware (TOPOS[®]) weiterverarbeitet werden.

3.5 DATENVERARBEITUNG

Sämtliche anfallenden Daten wurden im Tabellenkalkulationsprogramm Excel[®] (Firma Microsoft) bis zur weiteren Verarbeitung gespeichert. Die Daten der Pedometer wurden zunächst in einer Microsoft Access[®]-Datenbank gespeichert, zur weiteren statistischen Bearbeitung jedoch in ein MS Excel[®] Tabellenblatt überführt. Für die Visualisierung der Daten von der 3D-Positionierung stand TOPOS[®], eine spezielle Software, zur Verfügung, welche vom Institut IEI der TU Clausthal entwickelt und zur Verfügung gestellt wurde. Hiermit konnten Wegstrecken und Geschwindigkeiten, Aufenthaltshäufigkeiten in verschiedenen Bereichen des Stalles und weiterhin 2D-Histogramme von der Tagesverteilung der Aktivitäten grafisch umgesetzt werden. Hierfür wurden die Positionsdaten zusammengefasst und verdichtet (Abb. 25), um sie zu reduzieren und zu vereinfachen. Sämtliche Datenerfassungen fanden in einem zugrunde gelegten Raster von 0,5 x 0,5 Metern (so genannte Sektoren) statt. Hierbei wurden Ein- und Austritt aus diesen Sektoren registriert und gezählt, wodurch Aufenthaltsorte und Wegstreckenmessungen zustande kamen.

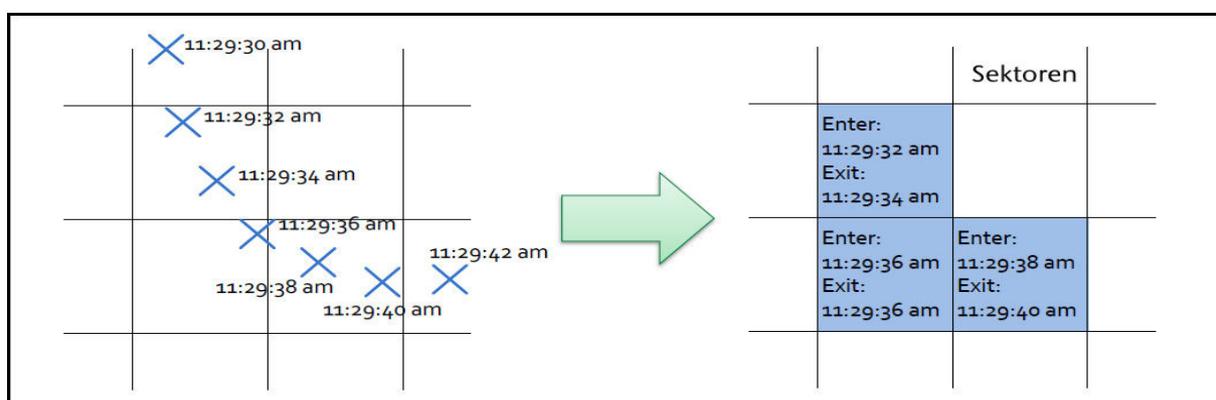


Abbildung 25: Verdichtung und Komprimierung der Funkortungsdaten (EBELT, 2009).

Die Verhaltenszustände wurden durch Geschwindigkeits- und Lagemessungen ermittelt. Die Definition der Zustände ist aus Tabelle 3 ersichtlich. Hierbei wurde dem Liegen eine Höhe in der z-Achse von unter einem Meter, sowie eine Geschwindigkeit von 0 m/s zugeordnet. Der Lagesensor ordnete dabei je nach Neigungswinkel dem Pferd eine Brust- oder Seitenlage zu. Der Zustand Stehen wurde mit einer Höhe in der z-Achse größer als 1 Meter, sowie einer Geschwindigkeit von 0- 0,3 m/s definiert. Fortbewegung wurde eingeordnet als Schritt (0,3 – 2 m/s), Trab (2 – 4,8 m/s) oder Galopp (> 4,8 m/s).

Tabelle 3: Definition der von der Funkortung gemessenen Zustände, Zuordnung nach Bodenhöhe und Geschwindigkeit.

Zustand	Definition Höhe über dem Boden	Definition Geschwindigkeit
Liegen	$h < 1$ Meter	$v = 0$ m/s
Stehen	$h > 1$ Meter	$v = 0 - 0,3$ m/s
Schritt	$h > 1$ Meter	$v = 0,3 - 2$ m/s
Trab	$h > 1$ Meter	$v = 2 - 4,8$ m/s
Galopp	$h > 1$ Meter	$v > 4,8$ m/s

Die Daten wurden in einem automatischen Tabellenformat ausgegeben, welches für die weitere Verarbeitung problemlos direkt in MS Excel[®] übertragen werden konnte (Abb. 26). Hierbei waren aus einer Tabelle Zeit, Aufenthaltsort und Zustand von jeweils drei Basisstationen (BS) ersichtlich. Die Darstellung erfolgte mittels Zahlenschlüssel, den Zahlen waren Zustände und Aufenthaltsorte zugeordnet. Diese ermittelten Grunddaten konnten genutzt werden, um sich Grafiken darstellen zu lassen. Dies war zum einen für die Bewegungszustände und Geschwindigkeiten der Tiere (Abb. 27), als auch zum anderen für deren Aufenthaltsorte im Stall möglich (Abb. 28).

Microsoft Excel - 24h_Messung1_Gesamt.xls

File Edit View Insert Format Extras Data Window ?

E71 16

1	A	B	C	D	E	F	G	H
	Zeit	Zustand BS1	Makrosektor BS1	Zustand BS2	Makrosektor BS2	Zustand BS3	Makrosektor BS3	
98	19.08.2008 20:06:49	2	8	0	12	0	10	
99	19.08.2008 20:06:50	2	8	0	12	0	10	
100	19.08.2008 20:06:52	2	8	0	12	0	10	
101	19.08.2008 20:06:54	3	8	0	12	0	10	
102	19.08.2008 20:06:56	2	8	0	12	0	10	
103	19.08.2008 20:06:58	2	8	0	12	0	10	
104	19.08.2008 20:07:00	2	8	0	12	0	10	
105	19.08.2008 20:07:02	2	8	0	12	0	10	
106	19.08.2008 20:07:05	2	8	0	12	0	10	
107	19.08.2008 20:07:07	2	8	0	12	0	10	
108	19.08.2008 20:07:08	2	8	0	12	0	7	
109	19.08.2008 20:07:09	2	8	0	12	0	7	
110	19.08.2008 20:07:10	2	8	0	12	1	7	
111	19.08.2008 20:07:11	2	8	0	12	1	7	
112	19.08.2008 20:07:12	2	8	0	12	2	7	
113	19.08.2008 20:07:14	2	8	0	12	2	7	
114	19.08.2008 20:07:16	2	8	0	12	2	7	
115	19.08.2008 20:07:18	2	8	0	12	2	7	
116	19.08.2008 20:07:19	2	8	0	12	3	7	
117	19.08.2008 20:07:20	2	8	0	12	3	7	
118	19.08.2008 20:07:21	2	8	0	12	3	7	
119	19.08.2008 20:07:22	2	8	0	12	3	7	
120	19.08.2008 20:07:23	2	8	0	12	2	7	
121	19.08.2008 20:07:25	2	8	0	12	2	7	
122	19.08.2008 20:07:27	2	8	0	12	2	7	
123	19.08.2008 20:07:29	2	8	0	12	2	7	
124	19.08.2008 20:07:31	2	8	0	12	2	7	
125	19.08.2008 20:07:32	2	8	0	12	2	7	
126	19.08.2008 20:07:34	2	8	0	12	2	7	
127	19.08.2008 20:07:36	2	8	0	12	2	7	
128	19.08.2008 20:07:38	2	8	0	12	2	7	
129	19.08.2008 20:07:40	2	8	0	12	2	7	
130	19.08.2008 20:07:41	2	8	0	12	2	7	
131	19.08.2008 20:07:42	2	8	0	12	2	7	
132	19.08.2008 20:07:43	2	8	0	12	2	7	
133	19.08.2008 20:07:44	2	8	0	12	2	7	
134	19.08.2008 20:07:45	2	8	0	12	2	7	
135	19.08.2008 20:07:47	2	8	0	12	3	7	
136	19.08.2008 20:07:49	2	8	0	12	3	7	
137	19.08.2008 20:07:51	2	8	0	12	2	7	
138	19.08.2008 20:07:54	2	8	0	12	2	7	

Abbildung 26: Bildschirmansicht der in eine Excel-Tabelle übertragenden Funkortungsdaten.

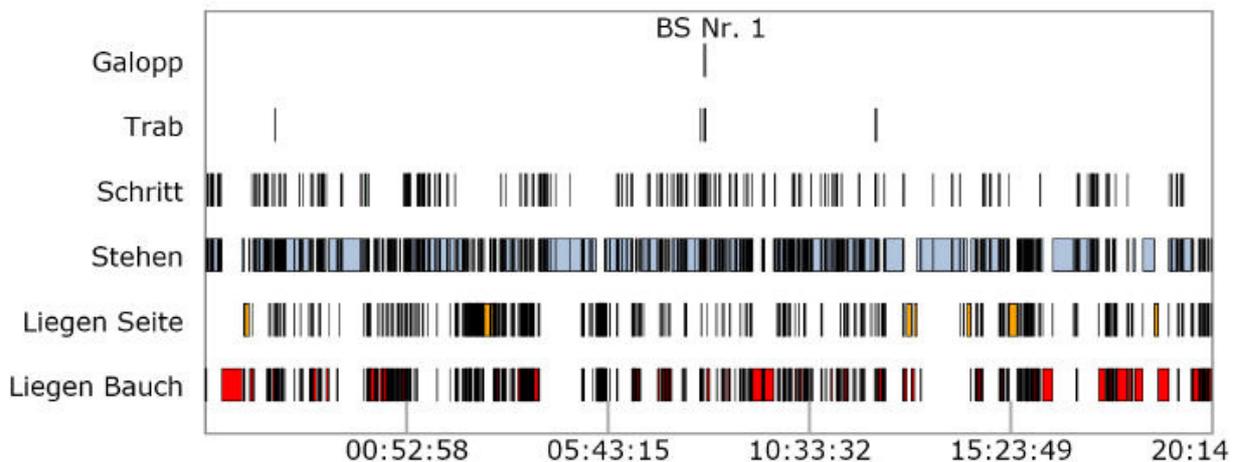


Abbildung 27: Darstellung der Bewegungszustände eines Pferdes über einen Zeitraum von 10 Stunden (verschiedene Farben dienen nur der besseren Unterscheidbarkeit der Verhaltensparameter).

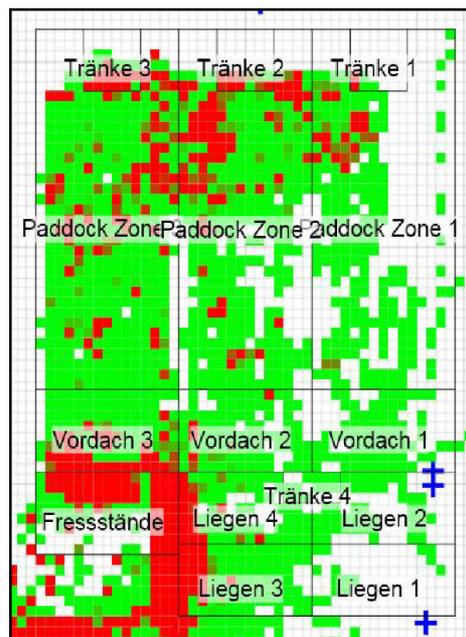


Abbildung 28: Grafische Darstellung der Nutzung der Aufenthaltsbereiche durch ein Pferd. Rote Bereiche wurden sehr häufig frequentiert, grüne Bereiche häufig, weiße Bereiche nicht betreten.

3.6 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die statistischen Analysen wurden mit Hilfe des Programms SAS[®] erstellt. Es wurden hierzu Messungen von verschiedenen Pferden über einen Zeitraum von jeweils 24 Stunden verwendet, welche mittels verschiedener Messmethoden erhoben wurden. Hierbei wurden die Daten der Methoden Funkortung und Pedometer über jeweils 24 Stunden ausgewertet, die der Videobeobachtung über einen Zeitraum von 20 Stunden pro Messtag (Anwesenheitsdauer der Pferde im Stall), sowie die der Direktbeobachtung über 4 Stunden pro Tag (Anwesenheitsdauer der Pferde auf der Weide). GPS-Messungen wurden während 24 Stunden des Tages angefertigt, konnten jedoch aufgrund zu vieler Messlücken nicht zur weiteren Analyse genutzt werden. Insgesamt standen neun zusammenhängende Auswertungsintervalle pro Messmethode zur Verfügung, welche zur weiteren statistischen Analyse verwendet werden konnten. Übersichtsgrafiken und Tabellen wurden mit dem Programm Excel[®] erstellt.

Mittels SAS[®] wurden Zusammenhänge zwischen den Messdaten der einzelnen Erhebungsmethoden untersucht. Hierfür wurde die Methode der Regressions- und

Korrelationsanalyse gewählt. Diese Verfahren dienen der Beschreibung eines Zusammenhanges zwischen zwei (oder mehreren) Merkmalen. Die *Regression* beschreibt dabei die Art eines (gerichteten) Zusammenhanges (Je-Desto-Beziehung), die *Korrelation* misst die Stärke eines (ungerichteten) Zusammenhanges. Eine so genannte Regression gibt einen linearen Zusammenhang zwischen zwei oder mehr Variablen an. Sie errechnet sich in Form einer Regressionsgeraden bzw. Regressionsfunktion, das bedeutet die Abhängigkeit zwischen zwei Merkmalen eines Objektes wird einer Regressionsgleichung angepasst. Hierbei ist y das abhängige Merkmal und wird als Zielgröße bezeichnet, das Merkmal x ist die unabhängige Variable oder Einflussgröße. Besteht ein linearer Zusammenhang zwischen y und x , dann wird von einer linearen Regression gesprochen. Das so genannte Bestimmtheitsmaß (R^2) drückt dabei aus, wie gut die Regressionsgerade den Zusammenhang zwischen den beiden Variablen wiedergibt. Der Wert von R^2 liegt immer zwischen 0 und 1, wobei $R^2 = 1$ bedeutet, dass jeder Datenpunkt direkt auf der Regressionsgeraden liegt, bei $R^2 = 0$ ist das bei keinem Punkt der Fall. Daraus folgt also:

$R^2 = 0$: Kein linearer Zusammenhang

$R^2 = 1$: Perfekter linearer Zusammenhang

Bei einer *einfachen linearen Regression* (nur eine unabhängige Variable) entspricht R^2 dem Quadrat des Pearson'schen Korrelationskoeffizienten R (Maßzahl für einen Zusammenhang zweier oder mehrerer Merkmale). Ein Korrelationskoeffizient kann Werte zwischen -1 oder 0 und +1 annehmen, wobei der Betrag die Stärke, ein etwaiges Vorzeichen die Richtung des Zusammenhangs angibt in Form einer negativen bzw. positiven Korrelation (BACKHAUS et al. 2008). Die Darstellung erfolgt in Form eines so genannten *Scatterplots* (Punktewolke, Abb. 29). Die Beurteilung und Einschätzung der vorliegenden Datenzusammenhänge erfolgte nach folgender Einteilung des Bestimmtheitsmaßes R^2 :

$R^2 = 0 - 0,39$: Kein Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen

$R^2 = 0,4 - 0,69$: Mäßiger Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen

$R^2 = 0,7 - 1$: Guter, nachgewiesener Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen

Abbildung 29 zeigt, wie die Verteilung der Daten im Zusammenhang mit einer Regressionsanalyse aussehen kann. Bei einem maximalen Zusammenhang liegen alle Werte auf der Regressionsgeraden und $R^2 = 1$. Besteht wiederum kein Zusammenhang ($R^2 = 0$), so liegen die Werte nicht in der Nähe der Geraden.

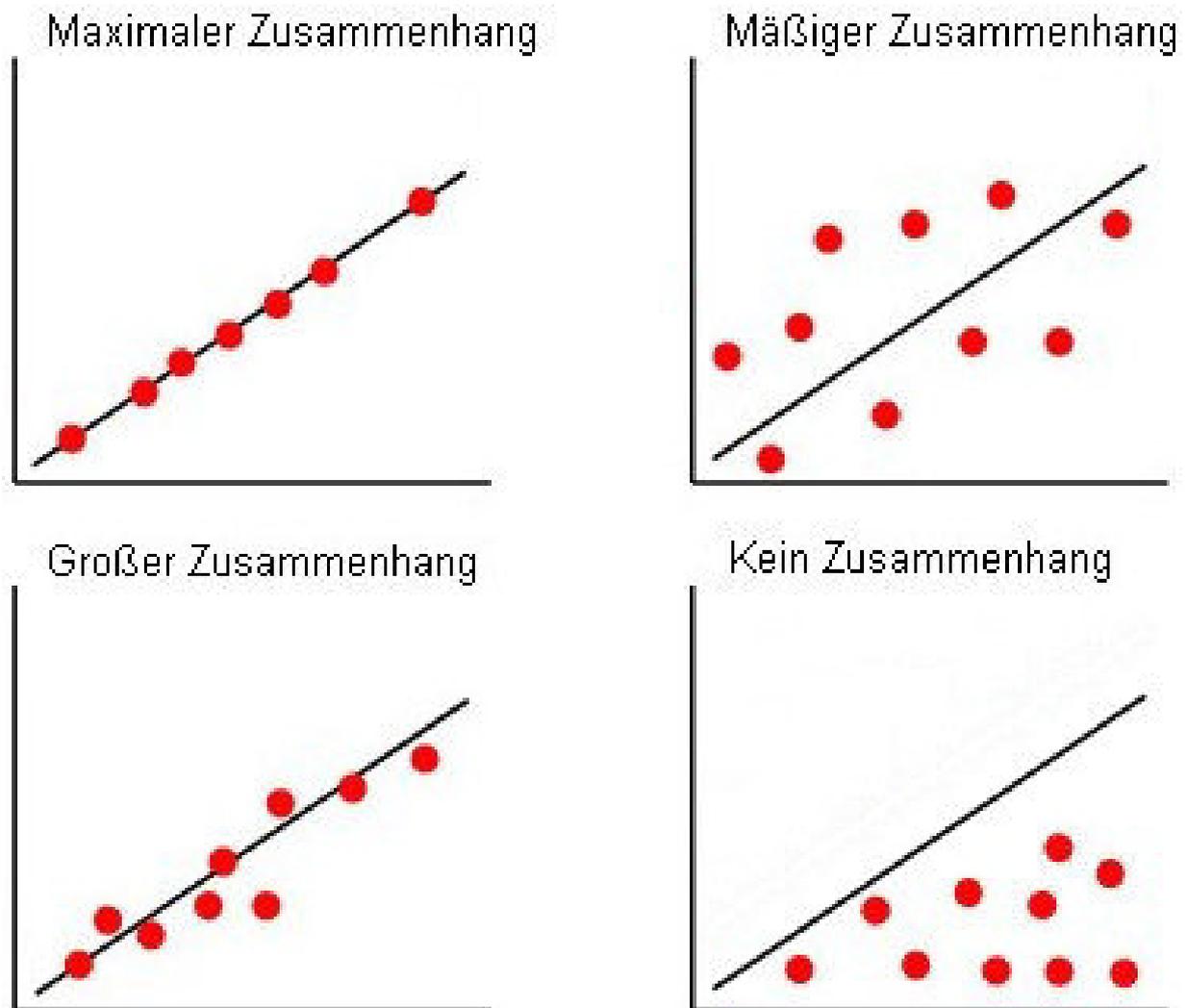


Abbildung 29: Grafische Darstellung (Scatterplot) eines Zusammenhanges zwischen zwei Variablen, die Gerade wurde mittels Regressionsanalyse ermittelt.

Zur Veranschaulichung der Methodenvergleiche wurde stellenweise die Darstellung als so genannter *Boxplot* gewählt. Dieser ermöglicht eine schnellere visuelle Erfassung der Datenverteilungen. Im Boxplot (Abb. 30 oben) werden der Median,

oberes und unteres Quartil, sowie der jeweilige obere und untere Extremwert einer Datenmenge dargestellt. Ausreißer stellen sich in Form von Kreisen dar.

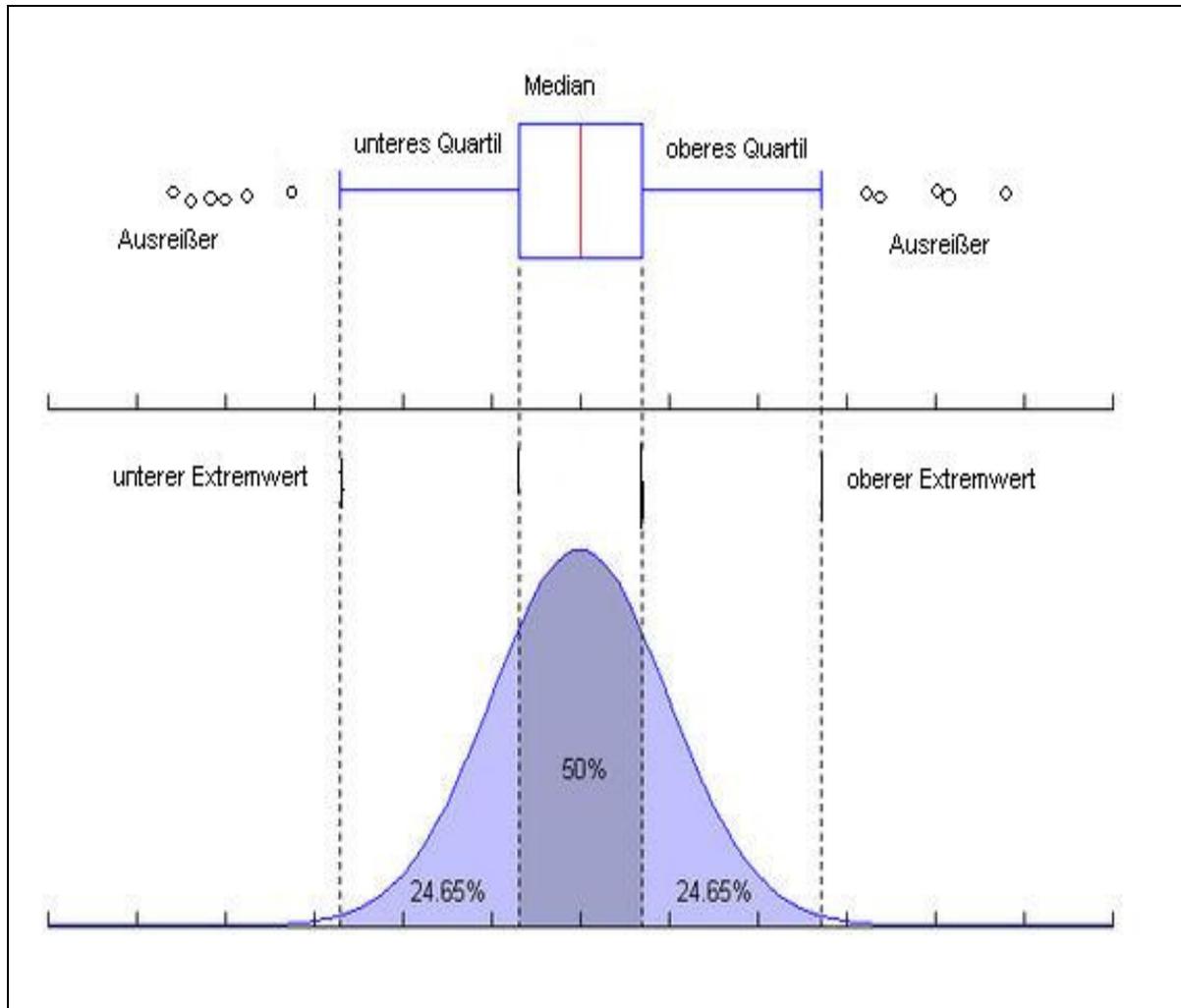


Abbildung 30: Darstellung der Entstehung und der Abbildung von Daten als Boxplot.

4 ERGEBNISSE

In der vorliegenden Untersuchung wurden Verhaltensdaten von Pferden mittels verschiedener Messmethoden erhoben und miteinander verglichen. Dies erfolgte über neun Episoden à 24 Stunden. Die Methoden der Funkortung sowie der Video- und der Direktbeobachtung konnten Bewegungszustände der Tiere (Stehen, Liegen, Bewegungsaktivität) und deren Aufenthaltsorte (definierte Orte im Stall- und Weidebereich) erfassen. Die Methode GPS konnte Aufenthaltsorte und zurückgelegte Wegstrecken sowie Geschwindigkeiten erfassen, die Daten waren jedoch mangelhaft und wurden nicht in eine Auswertung einbezogen. Die Auswertungsmethode der Pedometer-Analyse erfasste die Bewegungszustände der Pferde, nicht jedoch deren Aufenthaltsorte. Eine Schätzung der zurückgelegten Wegstrecken konnte über eine Analyse der aufgetretenen Schrittzahlen ermittelt werden. Aus diesem Grund konnte nicht jedes von einer Methodik erfasste Merkmal mit jedem, von einer anderen Methode erfassten Merkmal, direkt verglichen werden. Miteinander verglichen wurden zum Einen die von den Pferden gezeigten Bewegungszustände (Stehen, Schritt, Trab, Galopp, Bauchlage, Seitenlage), im Falle der Pedometer wurde Fortbewegung als Aktivität zusammengefasst und zwischen Stehen, Liegen und Aktivität unterschieden. Zum Anderen kam die Häufigkeit des Aufenthaltes in bestimmten Zonen von Stall und Weide zum Vergleich (z.B. Fressbereich, Liegebereich, Tränken etc., vergleiche Abb. 14 und 16). Die Wegstreckenmessung durch die Methode der Funkortung wurde zunächst evaluiert, und konnte anschließend mit der Methode der Pedometer verglichen werden. Als *Referenzmethode zur Überprüfung der Plausibilität* wurde die Videoanalyse gewählt.

4.1 GEMESSENE BEWEGUNGSZUSTÄNDE

Abbildung 31 zeigt die verschiedenen, von der Methode Funkortung gemessenen Bewegungszustände der Pferde. Diese wurden als Gesamtzahl in Stunden über den gesamten Messungszeitraum von 216 Stunden erhoben und gemittelt. Abbildung 31 zeigt also die durchschnittliche Anzahl an Stunden pro Tag (24 h), welche mit den verschiedenen Bewegungszuständen verbracht wurden.

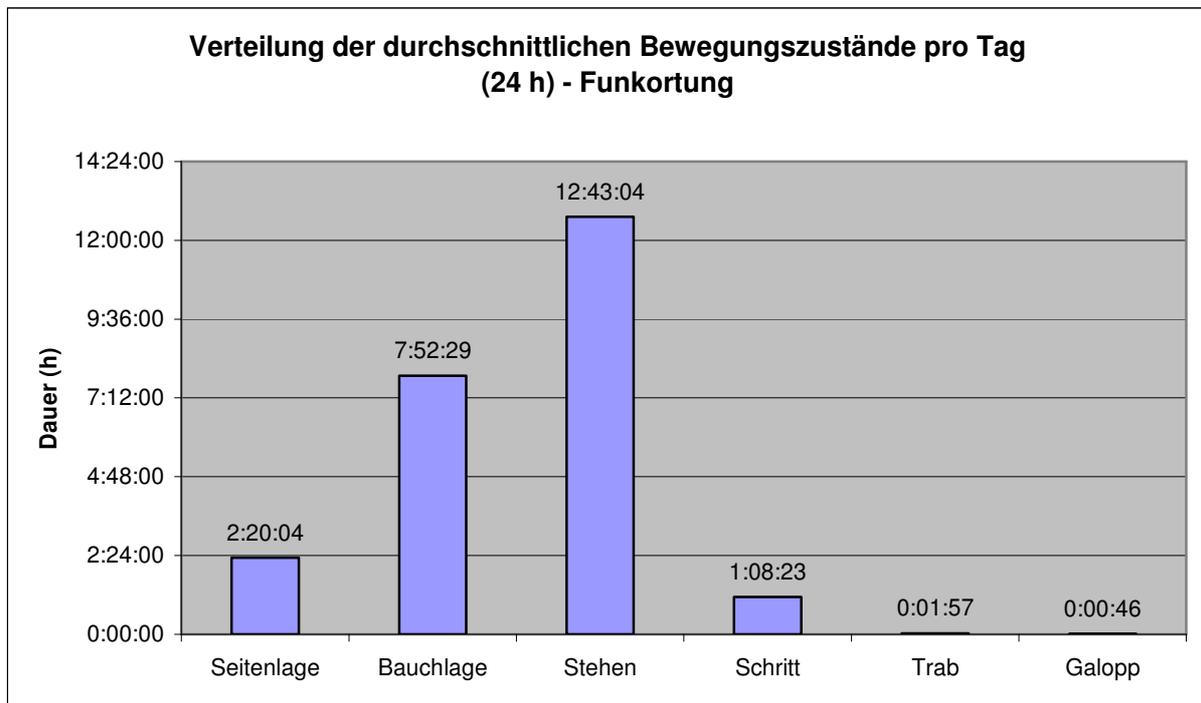


Abbildung 31: Verteilung der durchschnittlichen Bewegungszustände pro Tag (24 h), gemessen mittels Funkortung.

Abbildung 32 zeigt ebenfalls die Verteilung der durchschnittlichen Bewegungszustände pro Tag (20 h), hier jedoch gemessen mit der Methode Videobeobachtung. Die Zahl 20 Stunden kommt hier dadurch zustande, dass die Pferde nur 20 Stunden pro Tag in ihrem video-überwachten Stall anwesend waren. Die fehlenden vier Stunden des Gesamt-Tagesbudgets von 24 Stunden wurden mit Hilfe der Methode Direktbeobachtung ermittelt. Aus Abbildung 32 ist also die Verteilung der Bewegungszustände über den Anteil von 20 Stunden pro Tag ersichtlich. Die Datenerfassung erfolgte über insgesamt 180 Stunden und wurde gemittelt, so dass die Grafik den durchschnittlichen Anteil am Tagesbudget in Stunden angibt, welcher von den Pferden mit den speziellen Bewegungszuständen verbraucht wurde.

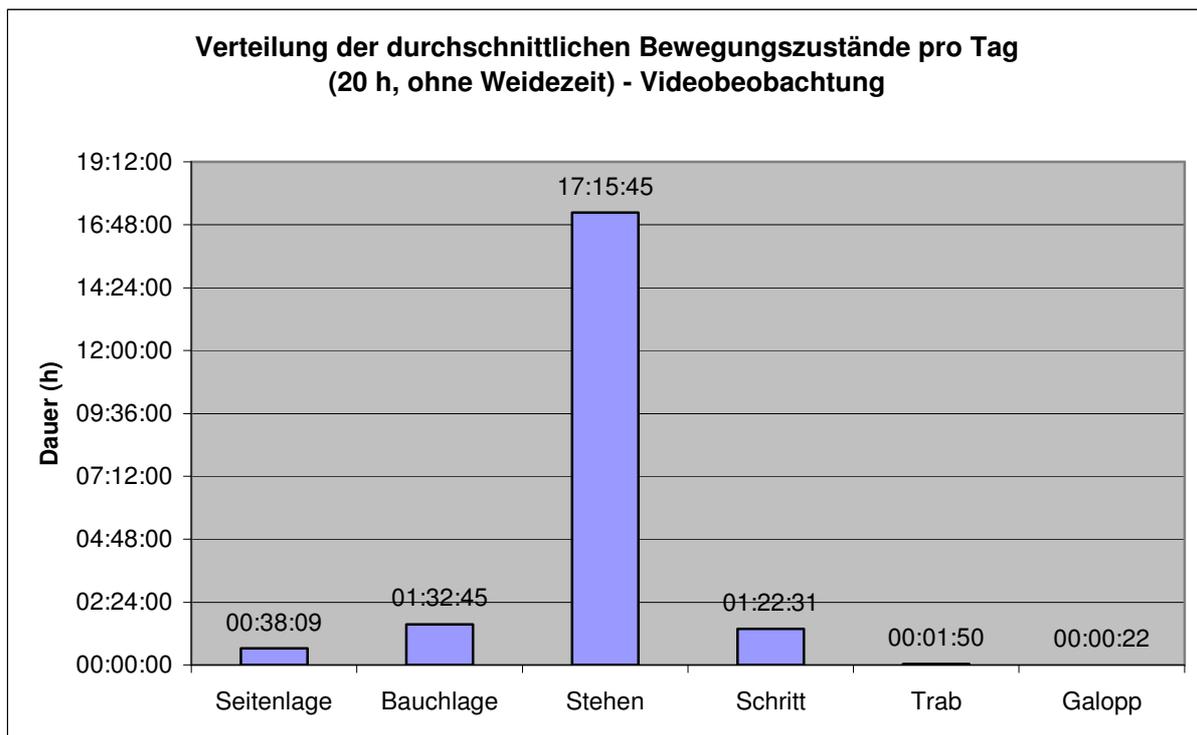


Abbildung 32: Verteilung der durchschnittlichen Bewegungszustände pro Tag (20 h, ohne Weidezeit), gemessen mittels Videobeobachtung.

Abbildung 33 zeigt die Ergänzung zu Abbildung 32. Hier werden die zum vollen Tagesbudget von 24 Stunden fehlenden vier Stunden der Weidezeit dargestellt, welche mittels Direktbeobachtung erhoben wurden. Die Daten wurden über insgesamt 36 Stunden erfasst und gemittelt, so dass die Abbildung 33 einen Überblick über das durchschnittliche Bewegungsverhalten während der vierstündigen Weidezeit gibt. Abbildung 34 zeigt das von den Pedometern gemessene durchschnittliche Tagesbudget (24 h) der verschiedenen Bewegungsaktivitäten. Auch hier wurden die Daten pro Anbringungsvariante (verschiedene Beine) über 216 Stunden erhoben und gemittelt, so dass der durchschnittliche Anteil der pro Tag durchgeführten Bewegungen erfasst werden kann. Die Darstellung über 25 Stunden kommt dadurch zustande, dass die Pedometerdaten stündlich ausgegeben wurden, und durch An- und Abbau der Pedometer zu nicht exakten vollen Uhrzeiten jeweils noch eine angebrochene Stunde hinzu addiert wurde. Pedometerdaten wurden an allen vier Beinen jedes beteiligten Pferdes erhoben (vorne links, vorne rechts, hinten links, hinten rechts). Teilweise kam es zu Ausfällen von Pedometern (vorne links und hinten rechts), weshalb deren Anteil am Budget von 25 Stunden geringer ist.

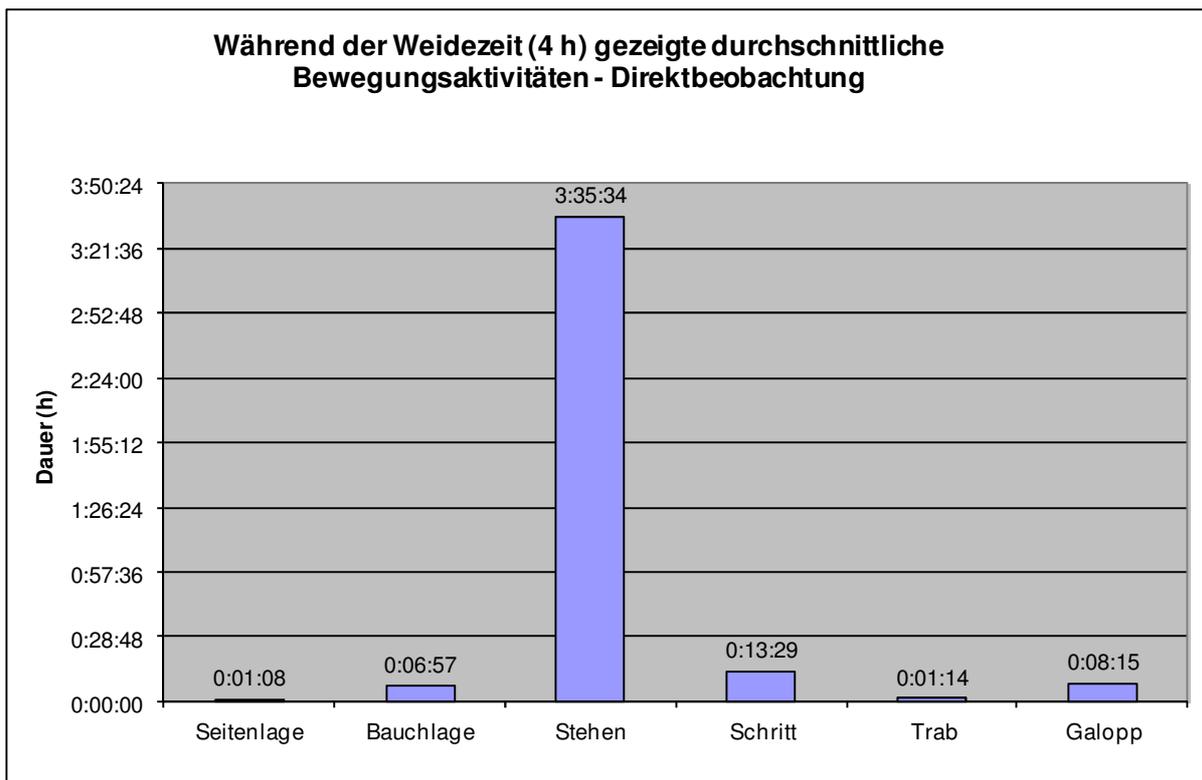


Abbildung 33: Während der Weidezeit (4 h) gezeigte durchschnittliche Bewegungsaktivitäten, gemessen mittels Direktbeobachtung.

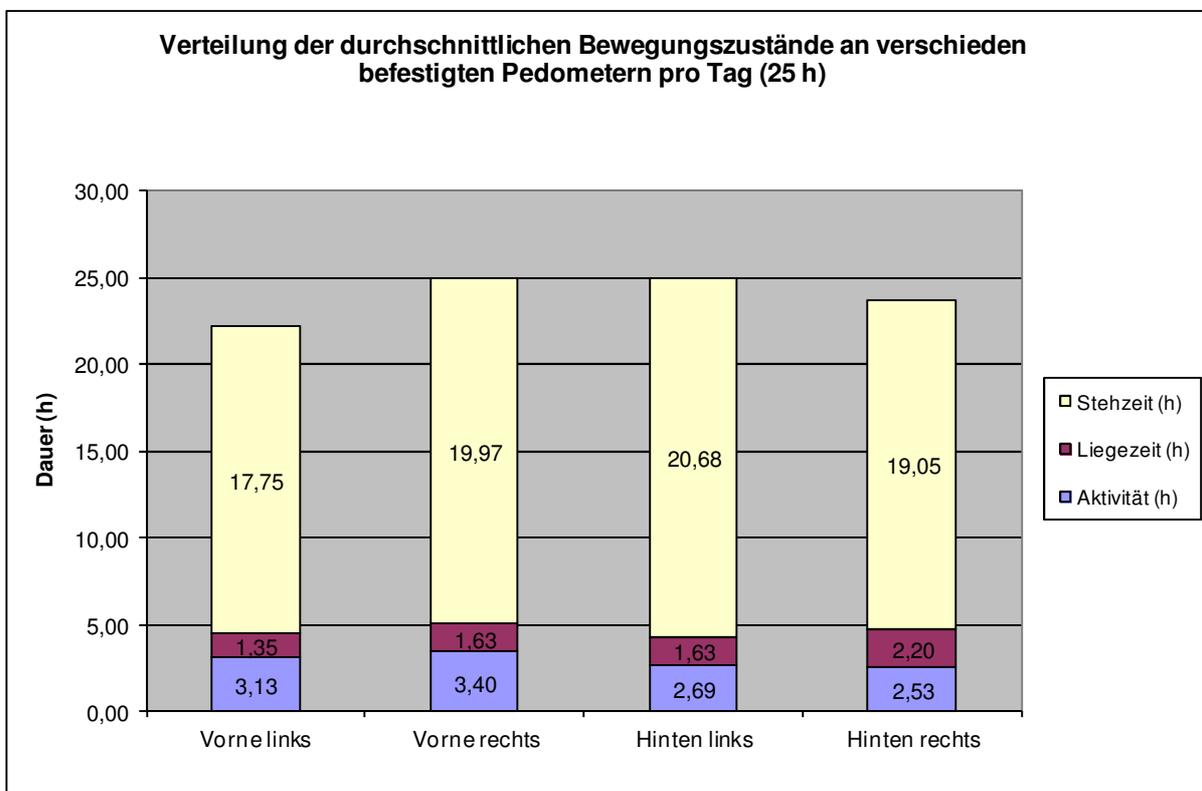


Abbildung 34: Verteilung der durchschnittlichen Bewegungszustände an verschieden befestigten Pedometern pro Tag (25 h).

4.2 METHODENVERGLEICH DER BEWEGUNGSZUSTÄNDE

Soweit die erhobenen Daten aus den verschiedenen Methoden untereinander vergleichbar waren, wurden sie einem Methodenvergleich unterzogen. Dies erfolgte mit Hilfe von Korrelationen sowie einfachen linearen Regressionen (Tabelle 4), indem zwei Merkmale miteinander verglichen wurden. Dadurch wurde überprüft, ob zwischen diesen beiden Merkmalen ein linearer Zusammenhang besteht, was in Form des Korrelationskoeffizienten R und des Bestimmtheitsmaßes R^2 zum Ausdruck kommt (vergleiche Abb. 29). Es wurde für jede Methode die Gesamtstundenzahl der Messungen ermittelt (vergl. S. 70) und daraufhin der durchschnittliche Zeitanteil berechnet, in der die Pferde insgesamt pro Stunde der Bewegung, dem Stehen oder dem Liegen nachgingen. Die Regressionsgeraden der Bewegungszustände wurden durch den Nullpunkt des Koordinatensystems gelegt, um plausible Ergebnisse zu erhalten. Bei den Daten der Aufenthaltsorte wurden nur Korrelationen berechnet, hier war diese Maßnahme nicht notwendig und wurde daher nicht angewendet.

4.2.1 Bewegung

Tabelle 4 zeigt die für den Parameter „Bewegung“ errechneten Korrelationskoeffizienten (R) und Bestimmtheitsmaße (R^2). Um die Plausibilität der von der Funkortung ausgegebenen Wegstrecke zu überprüfen, wurde die Variable „Funkortung Wegstrecke (Meter)“ mit der Dauer der Bewegung jeder Methode verglichen. Die aus der Videoanalyse gewonnenen Daten sind nachfolgend als „Interact“ benannt.

Tabelle 4: Korrelationen und Regressionen zwischen verschiedenen Erhebungsmethoden für den Parameter „Bewegung“, dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten R sowie das Bestimmtheitsmaß R^2 .

Zustand "Bewegung"	Korrelation R				Regression R ²			
	I-Bew	F-Bew	P-Bew	F-Mtr	I-Bew	F-Bew	P-Bew	F-Mtr
Interact Bewegung (I-Bew)	1,00	0,32	0,48	0,41	1,00	0,43	0,57	0,53
Funkortung Bewegung (F-Bew)	0,32	1,00	0,62	0,42	0,43	1,00	0,70	0,59
Pedometer Bewegung (P-Bew)	0,48	0,62	1,00	0,60	0,57	0,70	1,00	0,81
Funkortung Wegstrecke (F-Mtr)	0,41	0,42	0,60	1,00	0,53	0,59	0,81	1,00

Abbildung 35 zeigt den methodischen Vergleich des Parameters „Bewegung pro Stunde“, gemessen durch Videobeobachtung (Interact) und Funkortung, dargestellt als Scatterplot. Aufgrund von $R^2 = 0,43$ ergibt sich für diesen Parameter ein mäßiger Zusammenhang.

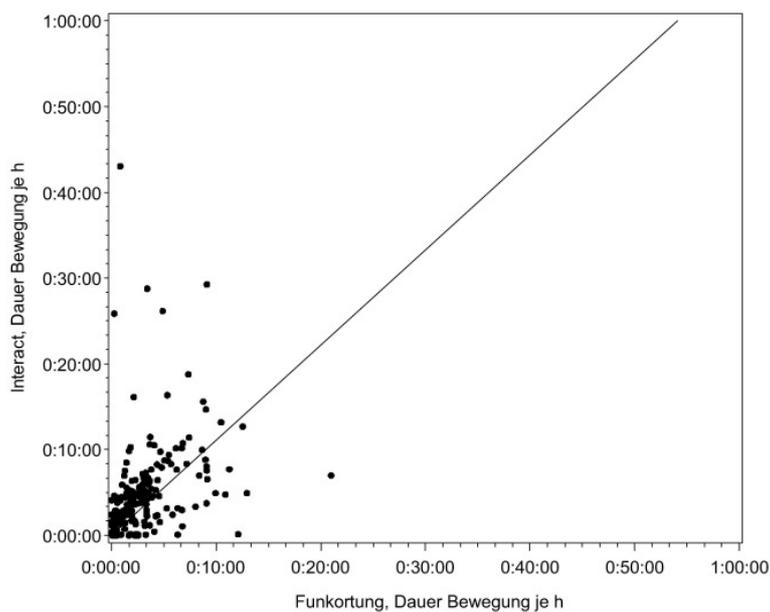


Abbildung 35: Einfache Lineare Regression für den Parameter Dauer Bewegung je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden), gemessen mittels Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R^2 = 0,43$ und $R = 0,32$).

Abbildung 36 zeigt ebenfalls den Vergleich des Parameters „Bewegung pro Stunde“, hier jedoch für die Methoden Interact und Pedometer. Hierbei ergibt sich mit $R^2 = 0,57$ ein ebenfalls mäßiger linearer Zusammenhang, welcher jedoch als größer einzustufen ist als der Zusammenhang bei den Methoden Interact und Funkortung ($R^2 = 0,43$).

In Grafik 37 wurden die von der Funkortung pro Stunde ermittelten Wegstrecken mit den von den Pedometern ausgegebenen Bewegungsimpulsen pro Stunde verglichen. R^2 war hier 0,7. Es besteht also ein nachgewiesener linearer Zusammenhang.

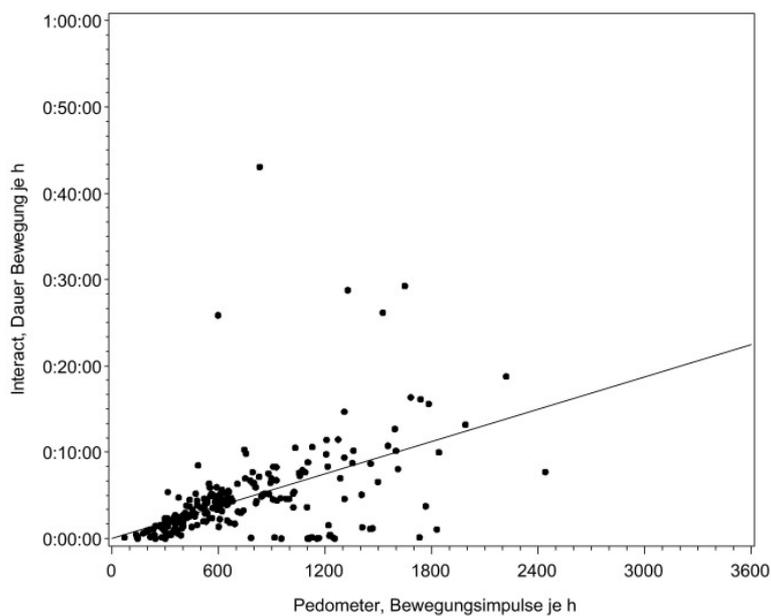


Abbildung 36: Einfache Lineare Regression für den Parameter Bewegungsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden), ermittelt durch Videobeobachtung und Pedometer ($R^2 = 0,57$; $R = 0,48$).

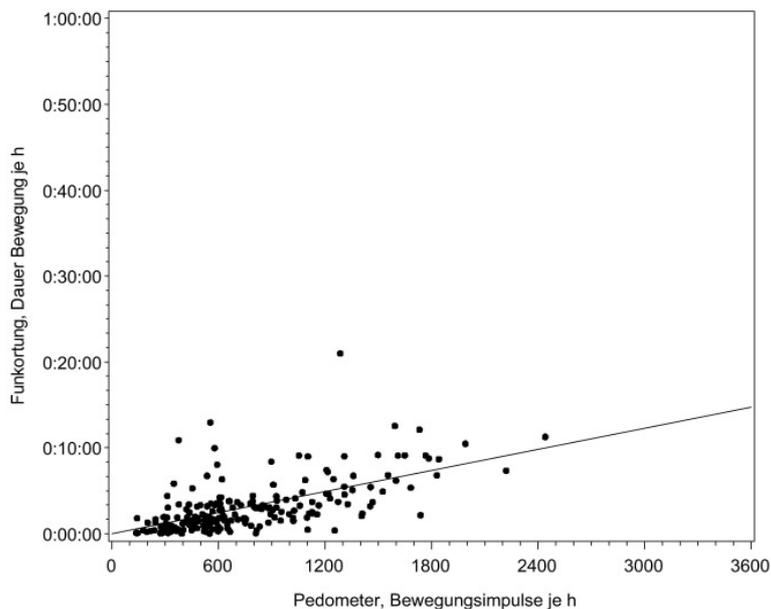


Abbildung 37: Einfache lineare Regression zum Vergleich der pro Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) zurückgelegten Strecke (Funkortung) mit den von den Pedometern ermittelten Bewegungsimpulsen pro Stunde ($R^2 = 0,7$; $R = 0,62$).

Abbildung 38 zeigt zur Veranschaulichung des Methodenvergleiches eine Übersicht über den zur Bewegung genutzten Stundenanteil in % als Boxplot. Es werden die Messmethoden Funkortung, Interact und Pedometer verglichen.

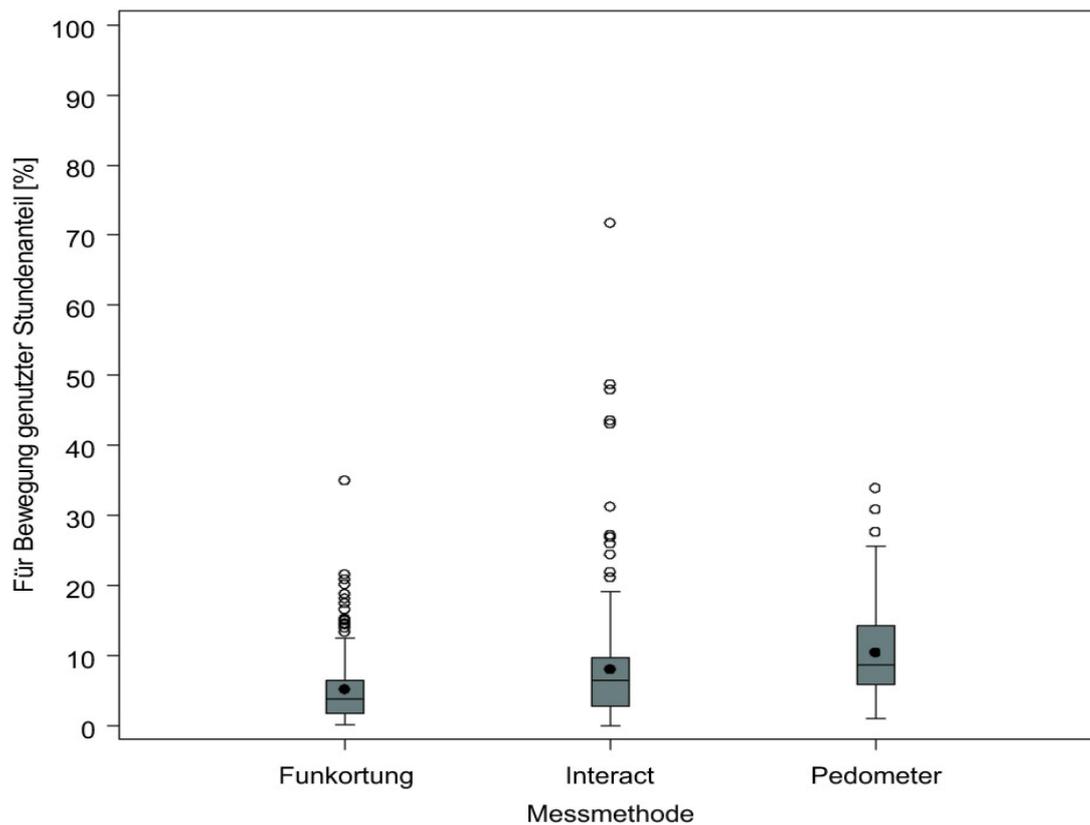


Abbildung 38: Boxplot für den Parameter Bewegung, ermittelt durch die Messmethoden Funkortung, Videobebachtung (Interact) und Pedometer (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden).

4.2.2 Stehen

Auch der Parameter „Stehen“ wurde mittels Methodenvergleich erfasst und die in Tabelle 5 dargestellten Variablen miteinander verglichen.

Tabelle 5: Korrelationen und Regressionen zwischen verschiedenen Erhebungsmethoden für den Parameter „Stehen“, dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten R sowie das Bestimmtheitsmaß R^2 .

Zustand "Stehen"	Korrelation R			Regression R^2		
	I-Sth	F-Sth	P-Sth	I-Sth	F-Sth	P-Sth
Interact Stehen (I-Sth)	1,00	0,07	0,20	1,00	0,82	0,92
Funkortung Stehen (F-Sth)	0,07	1,00	0,04	0,82	1,00	0,82
Pedometer Stehen (P-Sth)	0,20	0,04	1,00	0,92	0,82	1,00

Die Abbildung 39 zeigt den Vergleich der Methoden Interact und Funkortung in Bezug auf die Größe „Stehen pro Stunde“. Hierbei ist das bei der Regressionsanalyse aufgetretene Bestimmtheitsmaß mit $R^2 = 0,82$ als gut zu

bezeichnen. Da jedoch die Regressionsgerade aufgrund der angewendeten Funktion gezwungen wurde, durch den Nullpunkt zu gehen, wurden vermehrt Datenpunkte einbezogen welche in diesem Bereich lagen. Zur Einschätzung dient also in diesem Fall die grafische Abbildung, welche einen geringen Zusammenhang zwischen den beiden Merkmalen darlegt. Die in diesem Fall zusätzlich zu Rate gezogene Korrelation zwischen den beiden Parametern betrug $R = 0,07$, was ebenfalls bestätigt, dass kein Zusammenhang vorliegt.

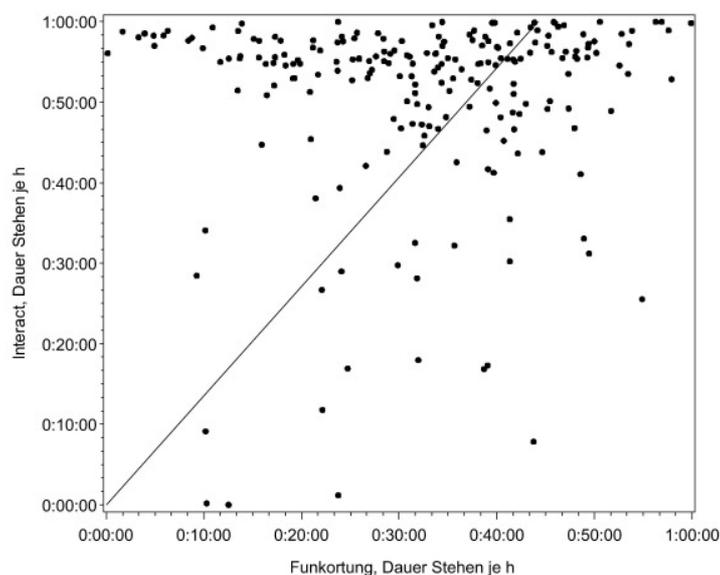


Abbildung 39: Einfache Lineare Regression für den Parameter Stehen pro Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden), ermittelt durch die Methoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R^2 = 0,82$, $R = 0,07$).

Auch wurde für die Variable „Stehen pro Stunde“ ein Vergleich von Funkortung und Pedometern ermittelt (Abb. 40). Hierbei ergab sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,82$. Hier kommt jedoch das gleiche Problem wie bei Grafik 39 zum Tragen. Betrachtet man zusätzlich den Korrelationskoeffizienten, so ist dieser mit $R = 0,04$ als nicht zusammenhängend einzustufen.

Ebenfalls für „Stehen pro Stunde“ wurden Interact und Pedometer verglichen (Abbildung 41). Hierbei ergab sich $R^2 = 0,92$, bei Betrachtung von $R = 0,2$ konnte aufgrund vieler Ausreißer jedoch kein Zusammenhang ermittelt werden.

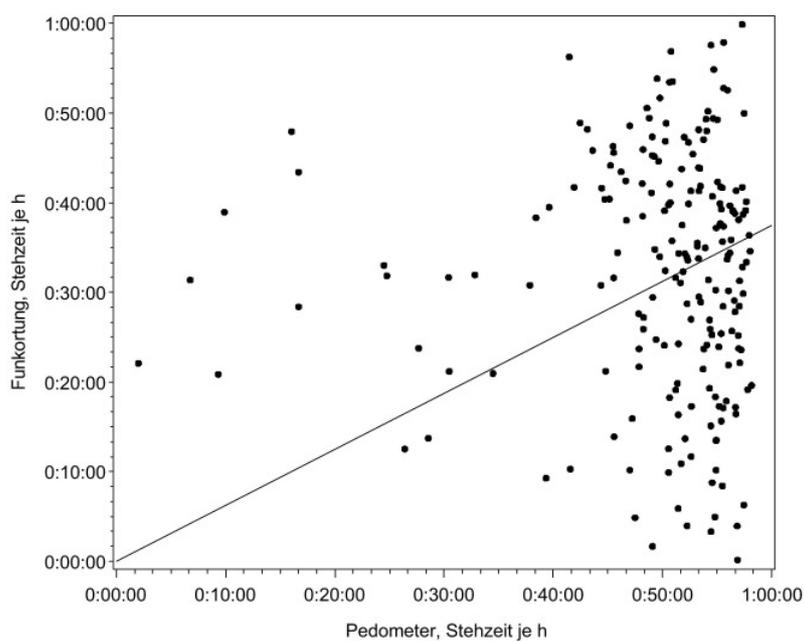


Abbildung 40: Vergleich der von Funkortung und Pedometern ermittelten Variablen „Stehen pro Stunde“ ($R^2 = 0,82$, $R = 0,04$), basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden.

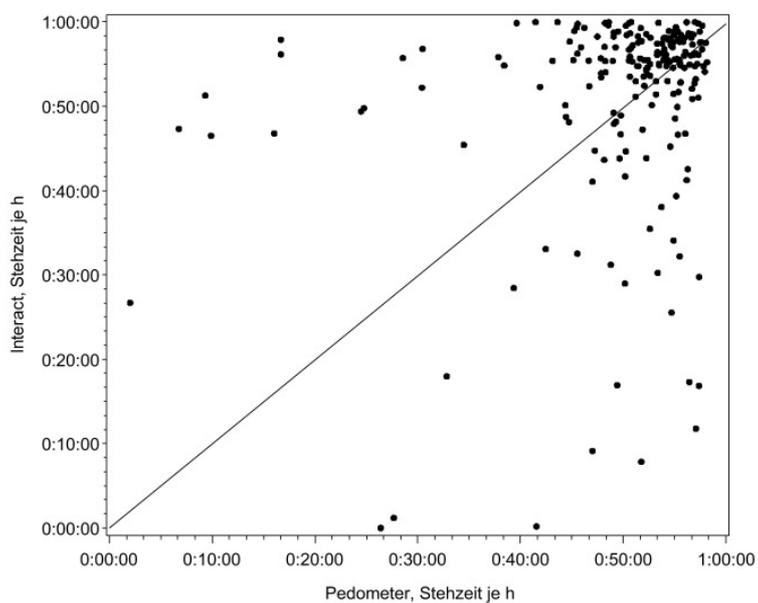


Abbildung 41: Zusammenhang zwischen den Messmethoden Interact und Pedometer, bezogen auf den Parameter „Stehzeit pro Stunde“ ($R^2 = 0,92$, $R = 0,2$), basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden.

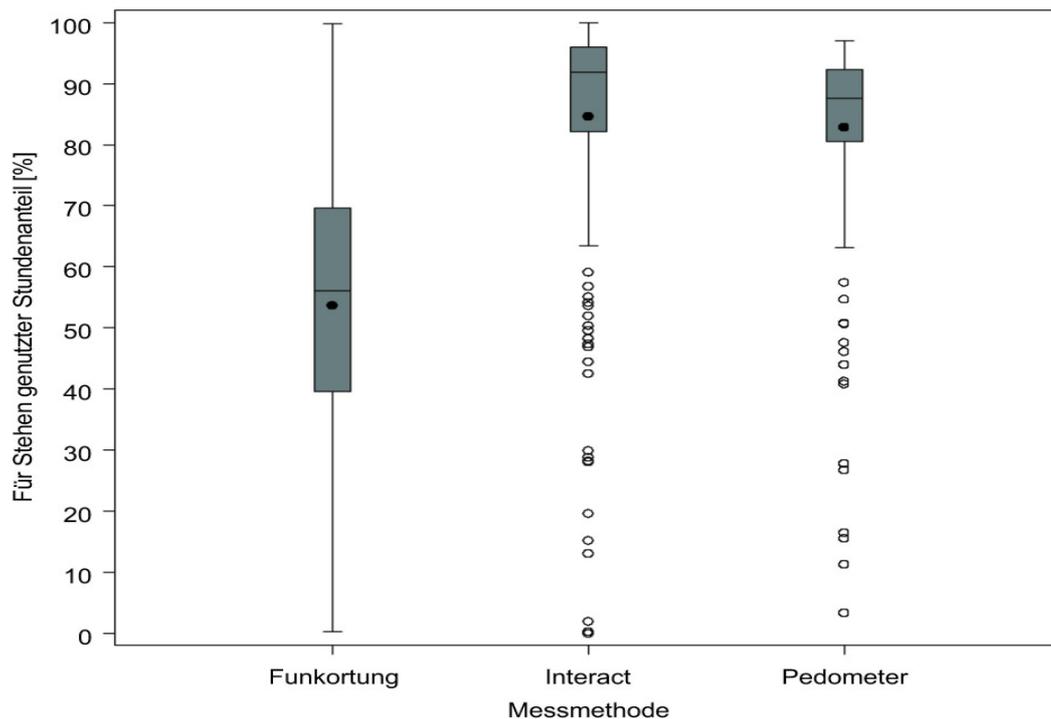


Abbildung 42: Boxplot für den Parameter Stehen, ermittelt durch die Messmethoden Funkortung, Videobebachtung (Interact) und Pedometer(basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden).

4.2.3 Liegen

Der Bewegungszustand „Liegen“ wurde ebenfalls mit der Methode der linearen Regression untersucht, welche ebenso wie der zugehörige Korrelationskoeffizient aus Tabelle 6 ersehen werden kann.

Tabelle 6: Korrelationen und Regressionen zwischen verschiedenen Erhebungsmethoden für den Parameter „Gesamt-Liegezeit“, dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten R sowie das Bestimmtheitsmaß R^2 .

Zustand "Liegen Gesamt"	Korrelation R			Regression R^2		
	I-Lie	F-Lie	P-Lie	I-Lie	F-Lie	P-Lie
Interact Liegen (I-Lie)	1,00	0,07	0,99	1,00	0,10	0,99
Funkortung Liegen (F-Lie)	0,07	1,00	0,06	0,10	1,00	0,11
Pedometer Liegen (P-Lie)	0,99	0,06	1,00	0,99	0,11	1,00

In Abbildung 43 ist der Zusammenhang zwischen der pro Stunde verbrachten Liegezeit, gemessen von Interact und Funkortung, dargestellt. Wie auch $R^2 = 0,1$ darlegt, ist bezüglich dieses Parameters kein Zusammenhang nachweisbar.

Im Gegensatz dazu zeigt Abbildung 44 ebenfalls den Parameter Liegedauer pro Stunde, in diesem Fall wurde geprüft, ob ein Zusammenhang zwischen den Methoden Interact und Pedometer besteht. Wie aus der Grafik ersichtlich und mit $R^2 = 0,99$ belegt, besteht zwischen den beiden Methoden ein sehr guter Zusammenhang.

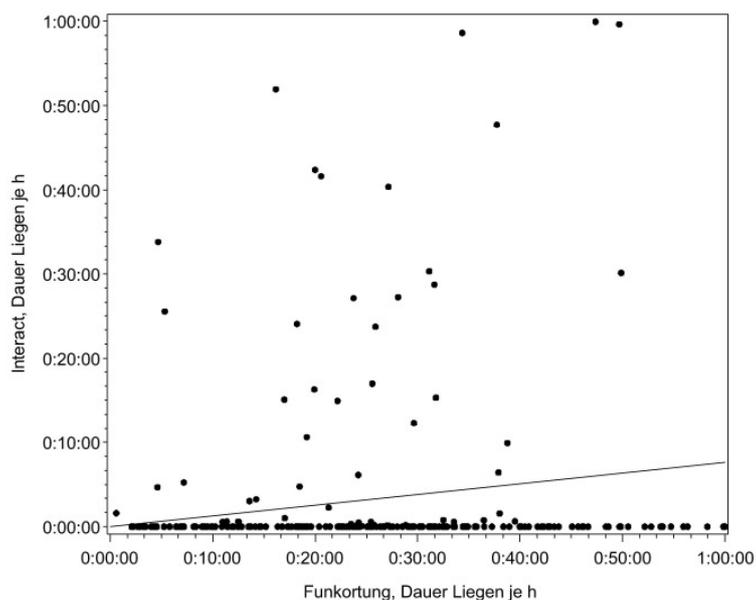


Abbildung 43: Einfache Lineare Regression für den Parameter Liegedauer pro Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden), ermittelt durch die Methoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R^2 = 0,1$; $R = 0,07$).

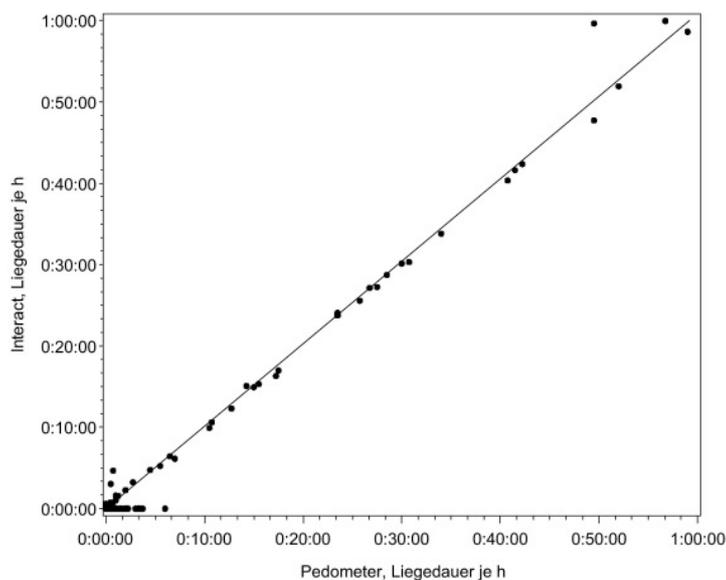


Abbildung 44: Einfache Lineare Regression für den Parameter Liegedauer pro Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden), ermittelt durch die Methoden Videobeobachtung (Interact) und Pedometer ($R^2 = 0,99$; $R = 0,99$).

Bei der Überprüfung des Zusammenhanges zwischen der Ermittlung der Liegedauer pro Stunde, gemessen von den Methoden Funkortung und Pedometer (Abb. 45) konnte hingegen wiederum kein Zusammenhang ermittelt werden, R^2 war 0,11.

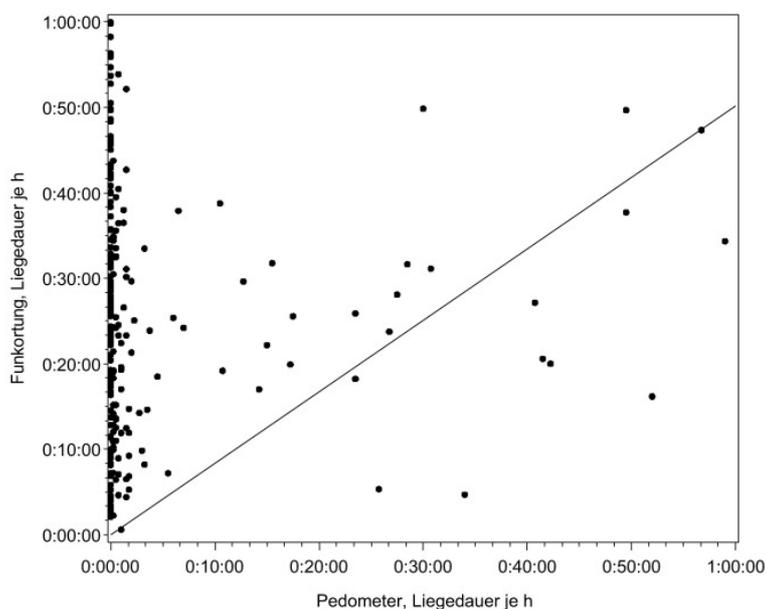


Abbildung 45: Einfache Lineare Regression für den Parameter Liegedauer pro Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden), ermittelt durch die Methoden Funkortung und Pedometer ($R^2 = 0,11$; $R = 0,06$).

Neben der Gesamt-Liegedauer wurden auch im Speziellen die Parameter „Liegen in Seitenlage“ und „Liegen in Bauchlage“ statistisch überprüft (Tabelle 7 und 8).

Tabelle 7: Korrelationen und Regressionen zwischen verschiedenen Erhebungsmethoden für den Parameter „Liegen in Seitenlage“, dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten R sowie das Bestimmtheitsmaß R^2 .

Zustand "Liegen Seitenlage"	Korrelation R			Regression R^2		
	I-Sel	F-Sel	P-Sel	I-Sel	F-Sel	P-Sel
Interact Seitenlage (I-Sel)	1,00	0,27	0,47	1,00	0,13	0,26
Funkortung Seitenlage (F-Sel)	0,27	1,00	0,01	0,13	1,00	0,04
Pedometer Seitenlage (P-Sel)	0,47	0,01	1,00	0,26	0,04	1,00

Tabelle 8: Korrelationen und Regressionen zwischen verschiedenen Erhebungsmethoden für den Parameter „Liegen in Bauchlage“, dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten R sowie das Bestimmtheitsmaß R^2 .

Zustand "Liegen Bauchlage"	Korrelation R			Regression R^2		
	I-Bal	F-Bal	P-Bal	I-Bal	F-Bal	P-Bal
Interact Bauchlage (I-Bal)	1,00	-0,03	0,77	1,00	0,07	0,62
Funkortung Bauchlage (F-Bal)	-0,03	1,00	-0,03	0,07	1,00	0,05
Pedometer Bauchlage (P-Bal)	0,77	-0,03	1,00	0,62	0,05	1,00

Auch für den Parameter „Liegen in Seitenlage pro Stunde“ konnte mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,04$ für die Methoden Funkortung und Pedometer absolut kein Zusammenhang gefunden werden (Abbildung 46). Gleiches gilt für den Parameter „Liegen in Bauchlage pro Stunde“, wenn ebenfalls die Methoden Funkortung und Pedometer verglichen werden (Abbildung 47). Hier wurde mit $R^2 = 0,05$ ein ähnliches Ergebnis erzielt, was ebenfalls das Nichtvorhandensein eines Zusammenhanges nahe legt.

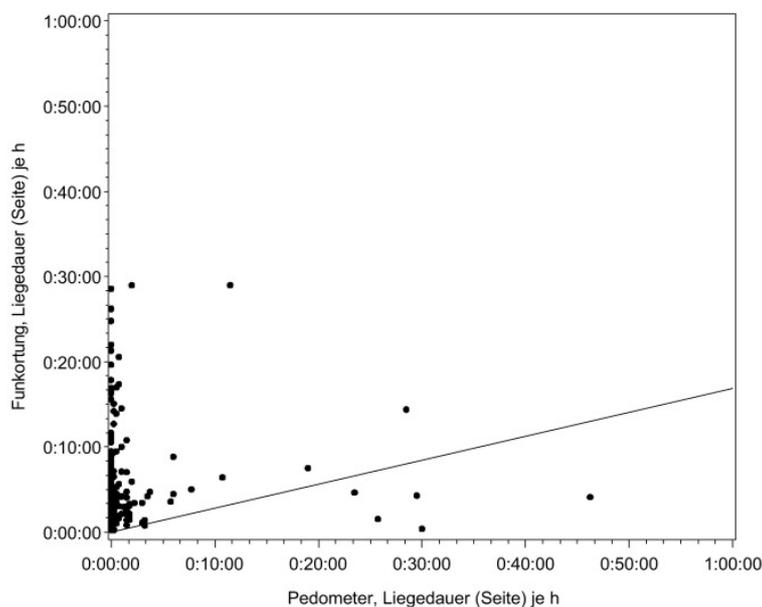


Abbildung 46: Einfache Lineare Regression für den Parameter Liegedauer in Seitenlage pro Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden), ermittelt durch die Methoden Funkortung und Pedometer ($R^2 = 0,04$; $R = 0,01$).

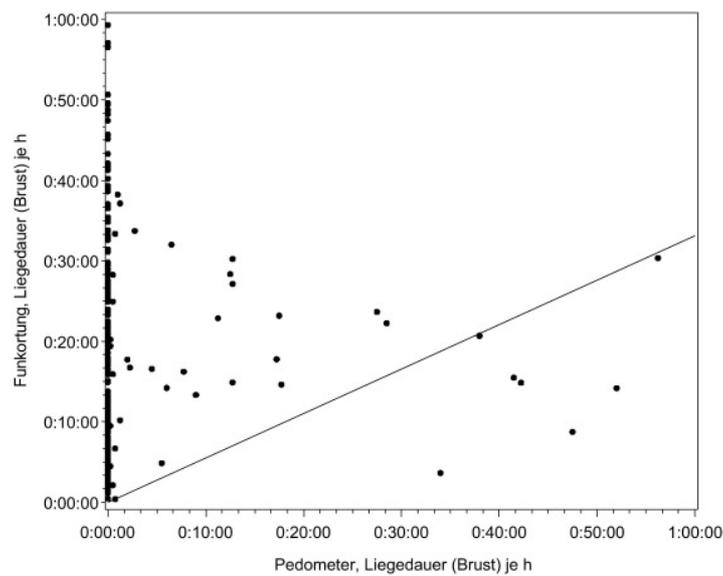


Abbildung 47: Einfache Lineare Regression für den Parameter Liegedauer in Bauchlage pro Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden), ermittelt durch die Methoden Funkortung und Pedometer ($R^2 = 0,05$; $R = 0,03$).

Bezüglich der Parameter „Liegen in Bauch- oder Seitenlage“ kamen auch die Methoden Interact und Pedometer zum Vergleich. Abbildung 48 zeigt die lineare Regression der beiden Methoden bezüglich des Liegens in Seitenlage ($R^2 = 0,26$), was als kein Zusammenhang gewertet werden kann. Abbildung 49 zeigt die Verhältnisse beim Liegen in Bauchlage ($R^2 = 0,62$). Hier war der Zusammenhang als mäßig einzustufen.

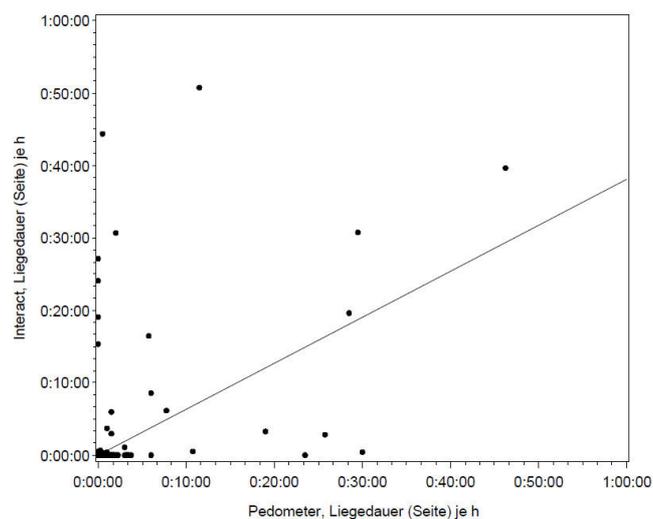


Abbildung 48: Lineare Regression des Parameters Liegedauer in Seitenlage je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden), gemessen durch die Methoden Interact und Pedometer ($R^2 = 0,26$; $R = 0,47$).

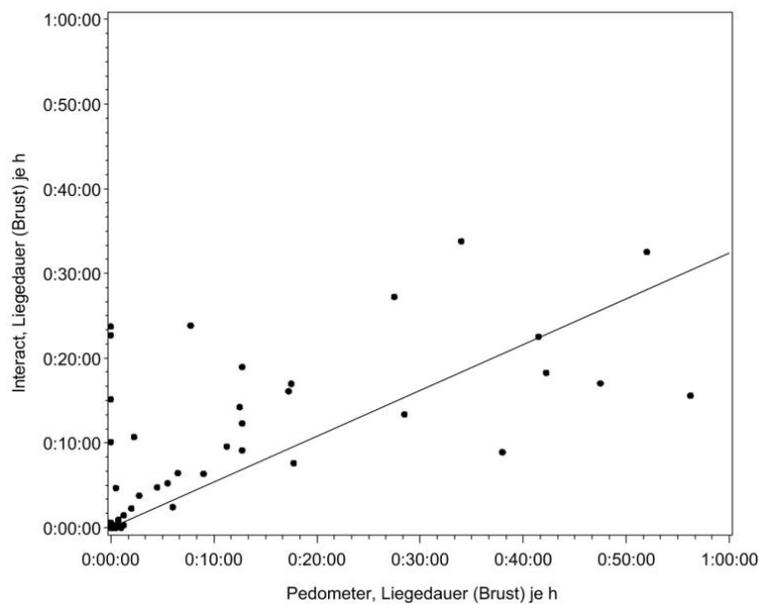


Abbildung 49: Zusammenhang zwischen dem Messmethoden Interact und Pedometer, sich beziehend auf den Parameter Liegedauer Brustlage pro Stunde ($R^2 = 0,62$; $R = 0,77$), basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden.

Auf den Abbildungen 50 und 51 wurden die Methoden Interact und Funkortung miteinander verglichen, in Bezug auf die Variablen Liegen in Seiten- und Bauchlage. Abbildung 50 zeigt den Vergleich der Seitenlage von Interact und Funkortung ($R^2 = 0,13$), Abbildung 51 den der Bauchlage ($R^2 = 0,07$). Beides kann als nicht vorhandener Zusammenhang eingestuft werden.

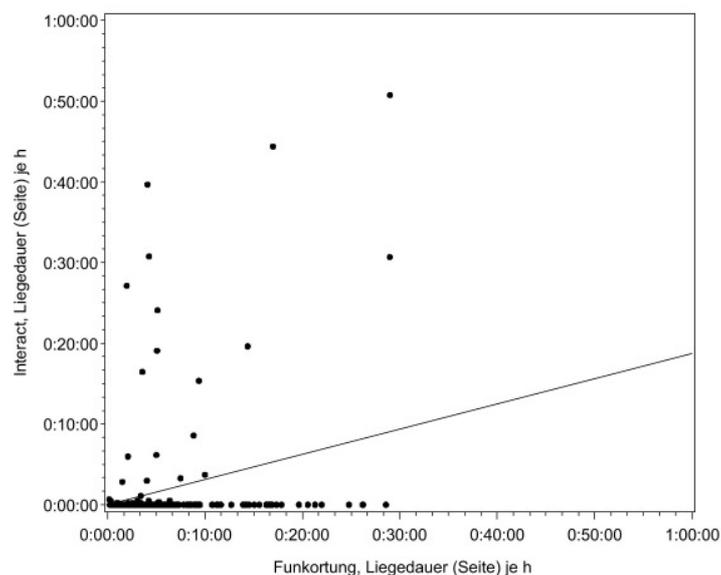


Abbildung 50: Variable „Liegedauer Seitenlage pro Stunde“ im Vergleich von Interact und Funkortung ($R^2 = 0,13$; $R = 0,27$), basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden.

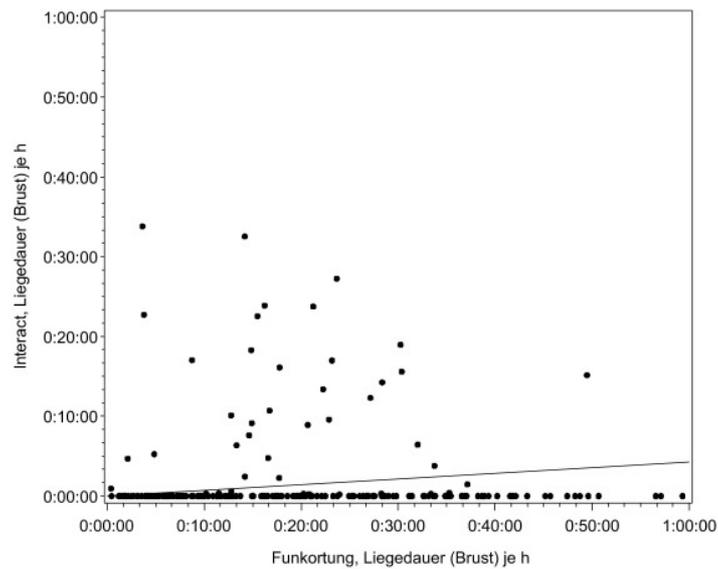


Abbildung 51: Vergleich von Interact und Funkortung bezüglich des Parameters „Liegedauer Bauchlage pro Stunde“ ($R^2 = 0,07$; $R = 0,03$), basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden.

Abbildung 52 zeigt einen Überblick über die gemessenen Daten der verschiedenen Methoden Funkortung, Interact sowie Pedometer in Bezug auf den Parameter „Gesamt-Liegedauer pro Stunde“. Die Darstellung erfolgte als Boxplot.

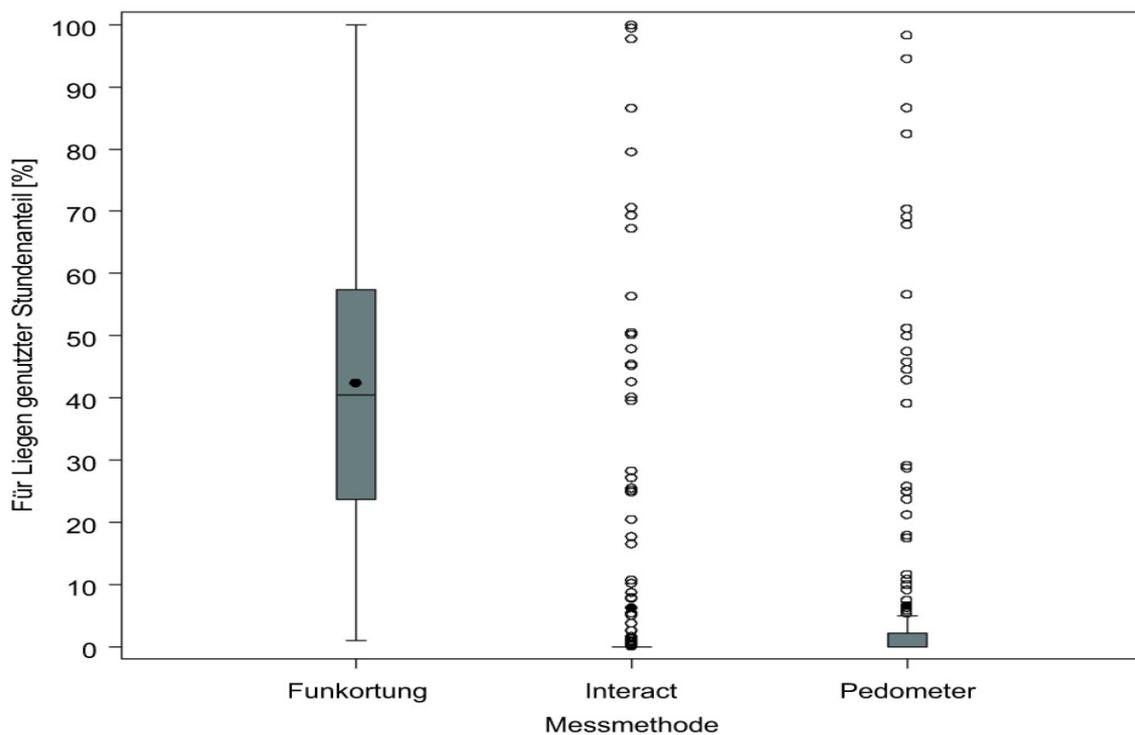


Abbildung 52: Boxplot für den Parameter Liegen pro Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden), gemessen mittels der Messmethoden Funkortung, Videobeobachtung (Interact) und Pedometer.

4.3 GEMESSENE AUFENTHALTSORTE

Neben den Bewegungszuständen der Pferde wurden auch ihre Aufenthaltshäufigkeiten in bestimmten Zonen von besonderem Interesse ermittelt und miteinander verglichen. Auch hier wurde zunächst der durchschnittliche Stundenanteil am Tagesbudget, welcher in einem Bereich verbracht wurde, ermittelt. Im zweiten Schritt wurde der jeweils dort verbrachte prozentuale Stundenanteil einem Methodenvergleich unterzogen. Abbildung 53 zeigt eine Übersichtsgrafik der von der Funkortung ermittelten durchschnittlichen Aufenthaltshäufigkeiten in den Sektoren, bezogen auf einen Tag von 24 Stunden.

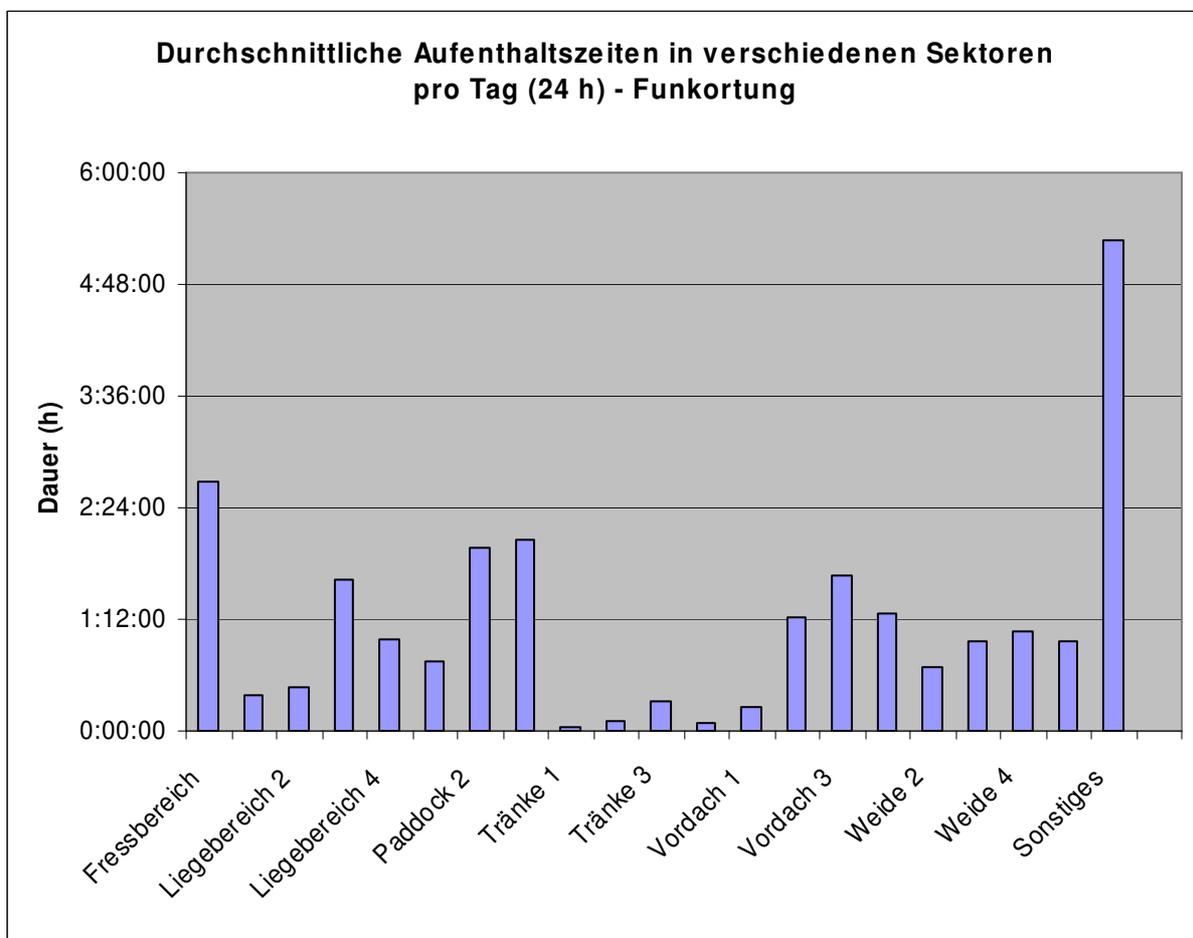


Abbildung 53: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in verschiedenen Sektoren pro Tag (24 h), gemessen mittels Funkortung.

Abbildung 54 zeigt ebenfalls die durchschnittliche Aufenthaltshäufigkeit in den Sektoren pro Tag (20 Stunden), ermittelt über Videobeobachtungen. Da die Videobeobachtung während der täglichen Weidezeit (4 h) nicht angewendet werden

konnte, fehlen in dieser Grafik die Sektoren Weide 1-4. Zur Ergänzung dient Abbildung 55, welche die Aufenthaltshäufigkeiten in den verschiedenen Weidesektoren angibt.

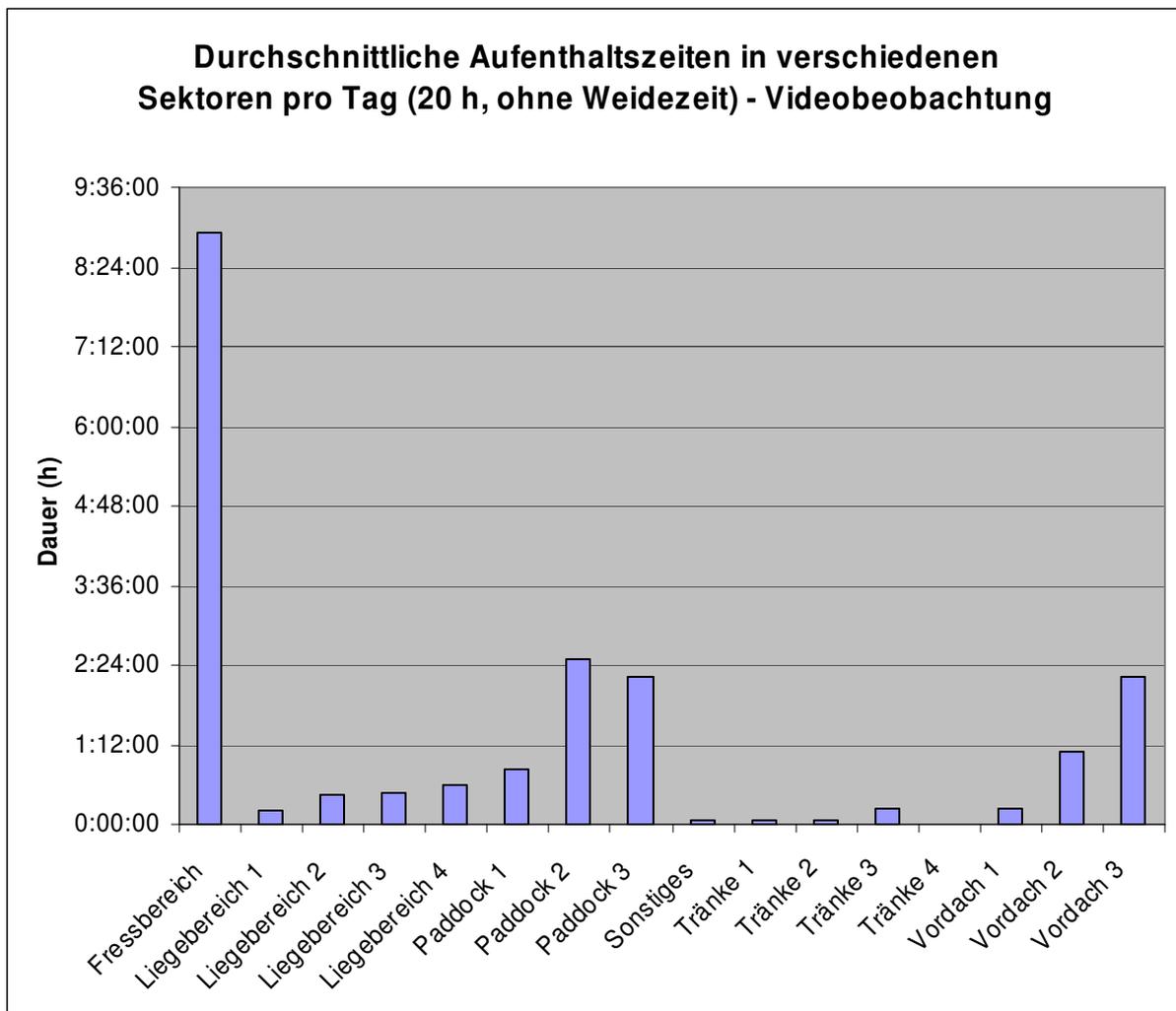


Abbildung 54: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in verschiedenen Sektoren pro Tag (20 h, ohne Weidezeit), ermittelt über Videobeobachtungen.

Die folgenden Abbildungen (54-61) zeigen eine genauere Betrachtung der Aufenthalte in bestimmten Zonen. Sie geben den durchschnittlichen Stundenanteil an, welcher pro Tag in diesen Bereichen verbracht wurde, nicht jedoch den Anteil des Gesamtbudgets, welcher jeweils aus den Abbildungen 53 (für Funkortung) und 54 (für Videobeobachtung) zu ersehen ist. Abbildung 54 zeigt, welche durchschnittlichen Zeiten in welchen Bereichen der Weide verbracht wurden. Die Daten wurden von der Methode der Funkortung ermittelt. Abbildung 55 zeigt selbiges für die Methode der Direktbeobachtung.

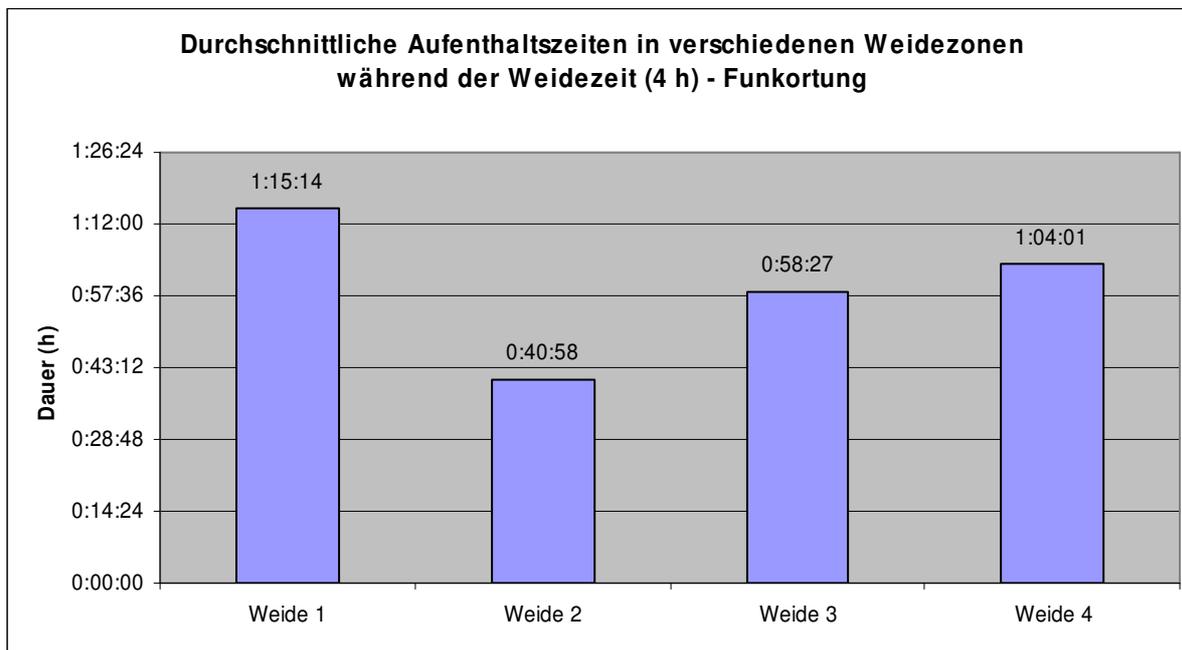


Abbildung 55: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in verschiedenen Weidezonen während der Weidezeit (4 h), gemessen mittels Funkortung.

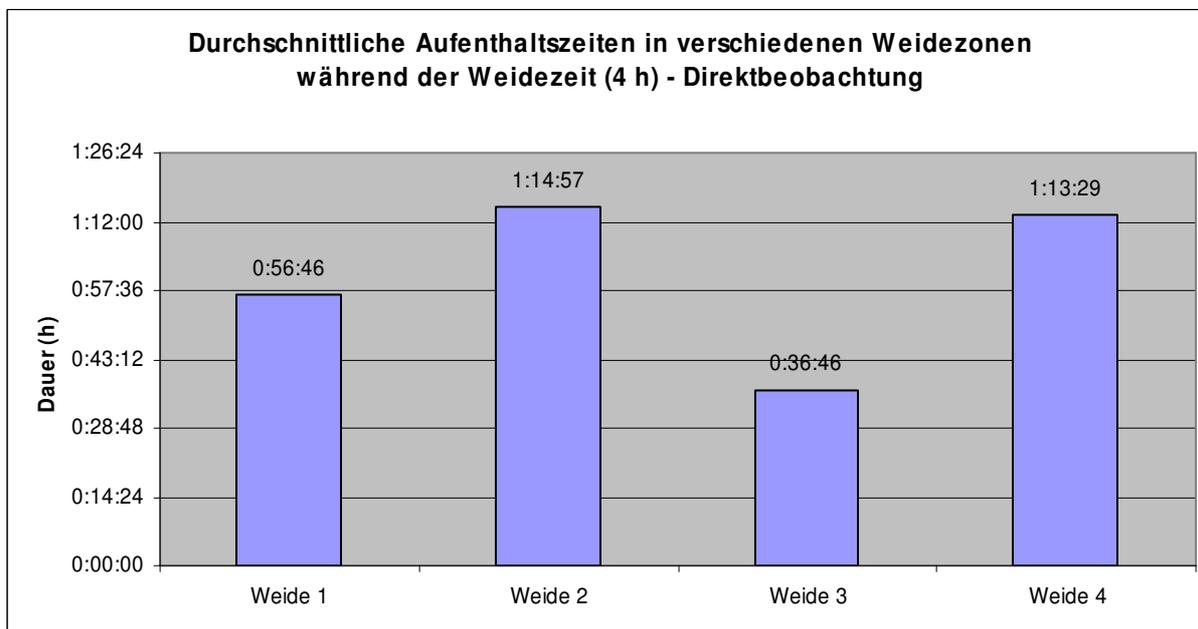


Abbildung 56: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in verschiedenen Weidezonen während der Weidezeit (4 h), gemessen mittels Direktbeobachtung.

Aus der Abbildung 57 ist zu ersehen, wie viele Stunden pro Tag sich die Pferde durchschnittlich in den Laufbereichen ihres Stalles aufhielten. Es handelt sich hier um die grafische Aufbereitung von Daten, welche von der Funkortung ermittelt wurden.

Abbildung 58 zeigt ebenfalls den durchschnittlichen Aufenthalt der Pferde in den Laufbereichen, jedoch erhoben mittels Videobeobachtung.

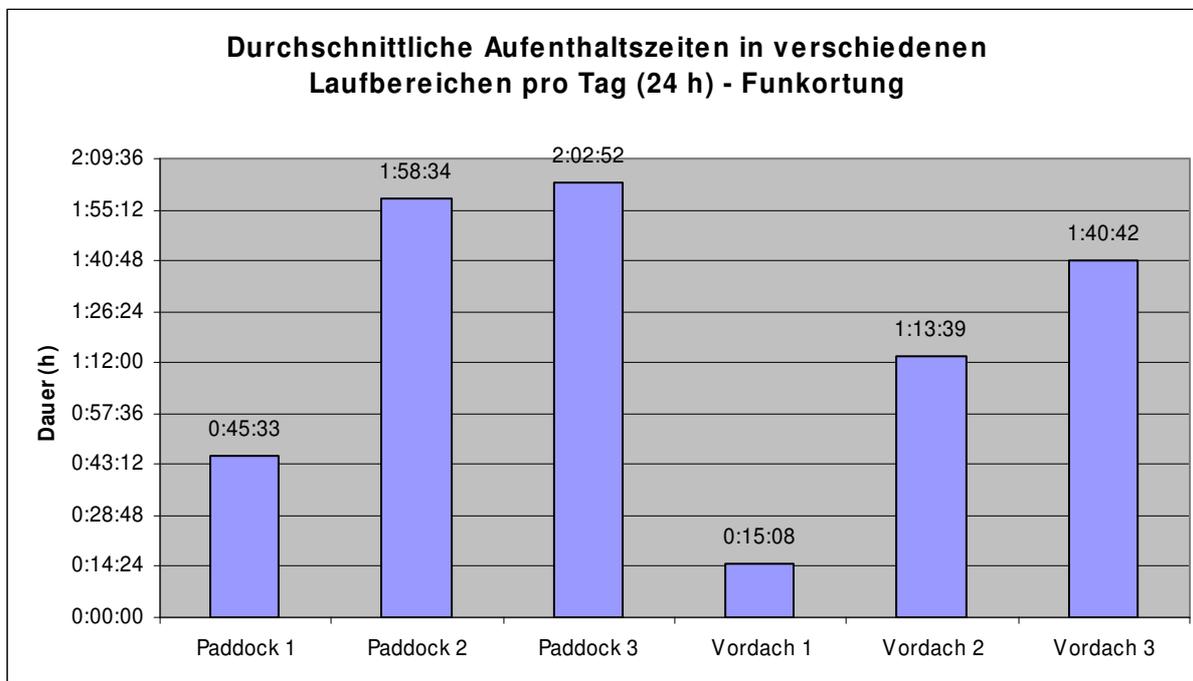


Abbildung 57: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in verschiedenen Laufbereichen pro Tag (24 h), gemessen mittels Funkortung.

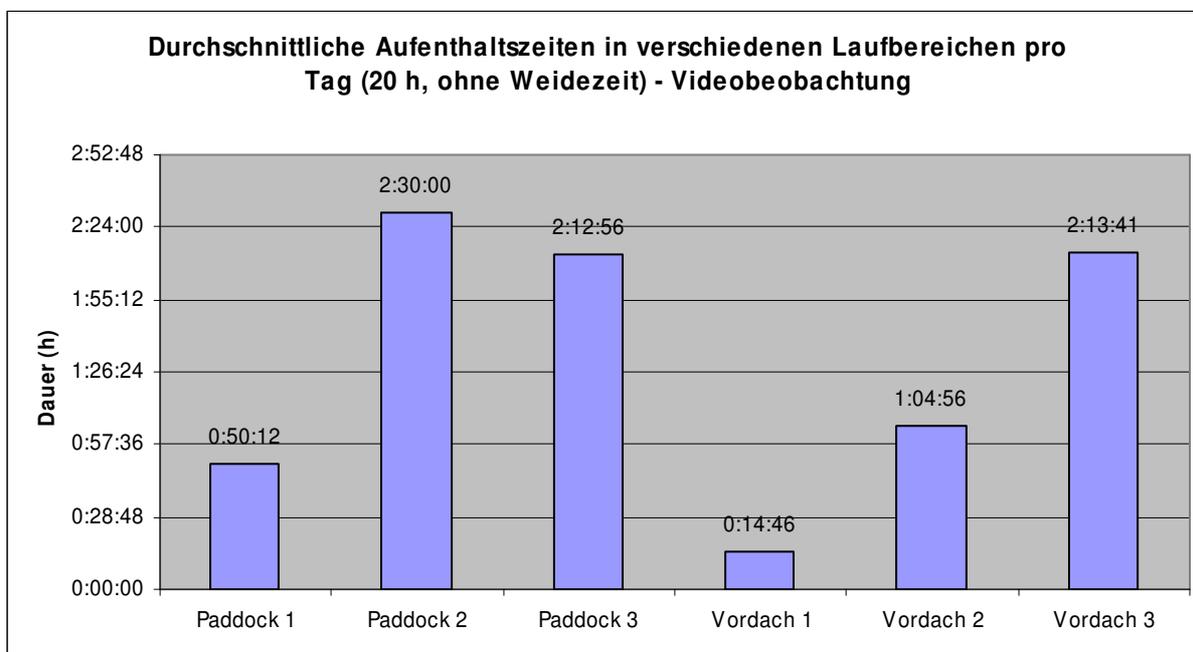


Abbildung 58: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in verschiedenen Laufbereichen pro Tag (20 h ohne Weidezeit), gemessen mittels Videobeobachtung.

Aus der Abbildung 59 ist ersichtlich, wie viele Stunden des Tages die Pferde in den verschiedenen Zonen des Liegebereiches verbrachten, hier ermittelt via Funkortung, während Abbildung 60 die grafische Darstellung der Daten aus der Videobeobachtung zeigt.

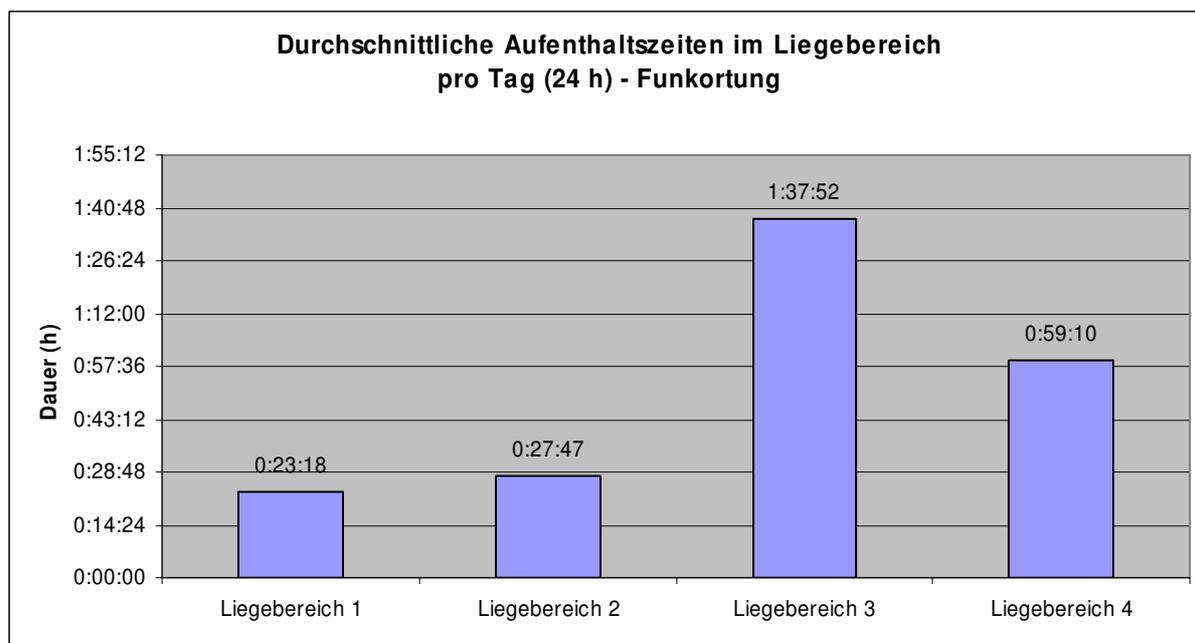


Abbildung 59: Aufenthaltszeiten im Liegebereich pro Tag (24 h), gemessen mittels Funkortung.

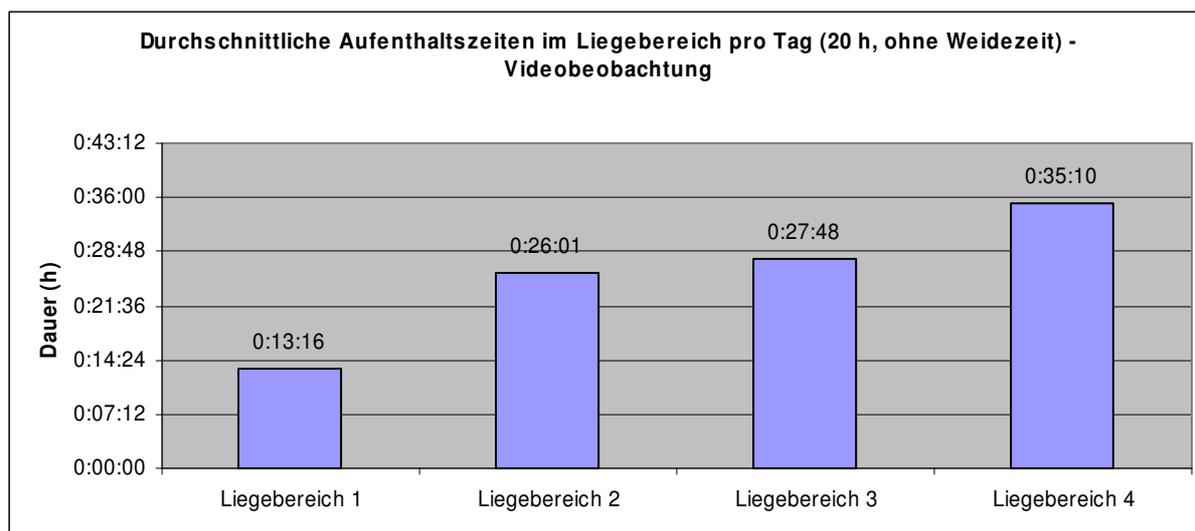


Abbildung 60: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten im Liegebereich pro Tag (20 h, ohne Weidezeit), gemessen mittels Videobeobachtung.

Abbildung 61 und 62 zeigen die Aufenthaltshäufigkeit der Pferde an den verschiedenen im Stallbereich vorhandenen Tränken, wobei Abbildung 61 die Daten der Funkortung und Abbildung 62 die Daten der Videobeobachtung grafisch umsetzt.

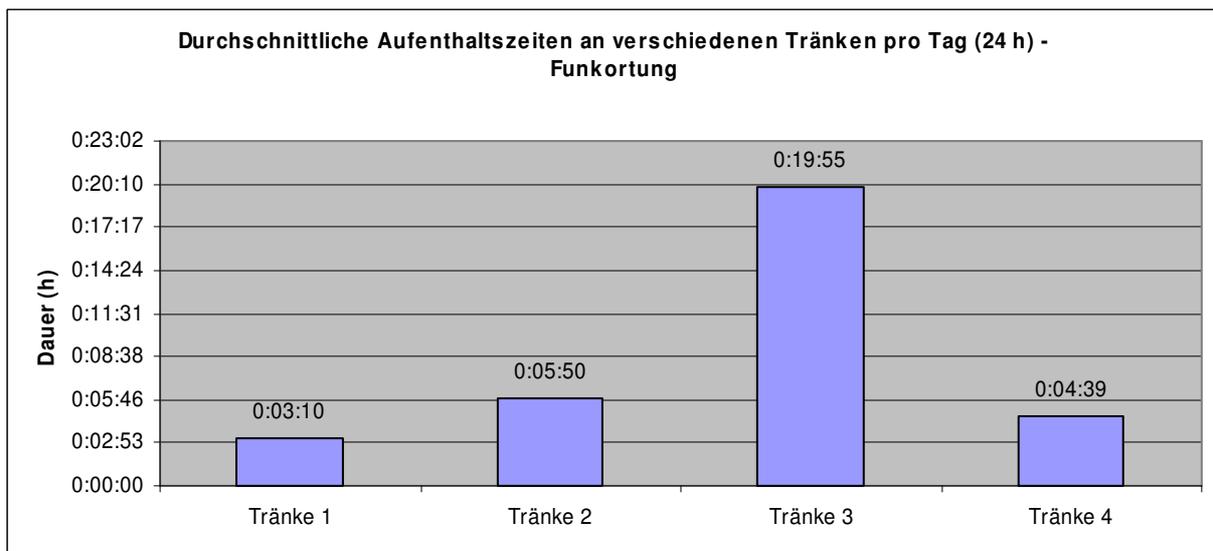


Abbildung 61: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten an verschiedenen Tränken pro Tag (24 h), gemessen mittels Funkortung.

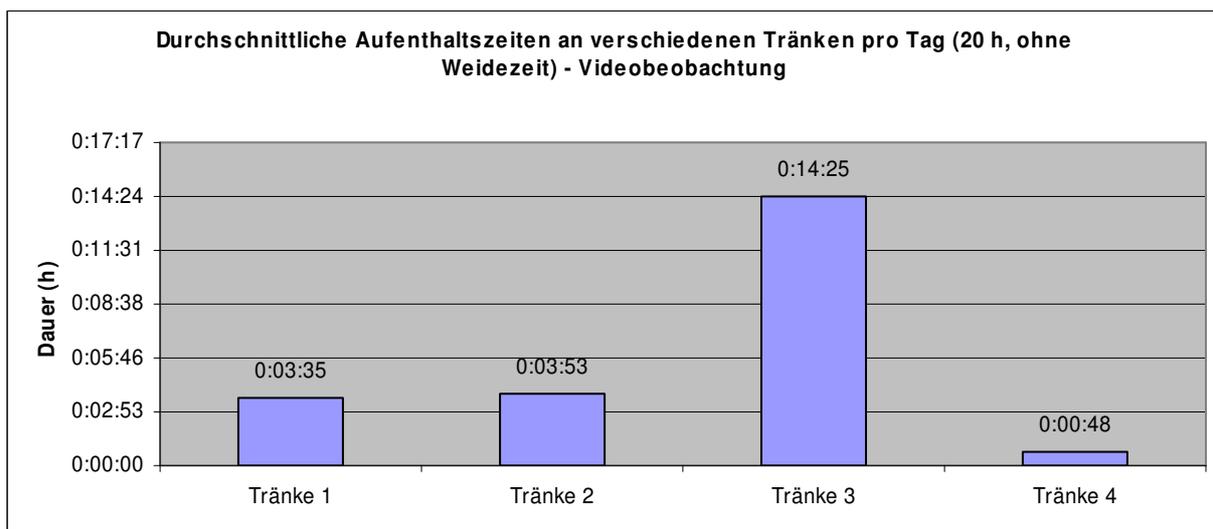


Abbildung 62: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten an verschiedenen Tränken pro Tag (20 h, ohne Weidezeit), gemessen mittels Videobeobachtung.

4.4 METHODENVERGLEICH DER AUFENTHALTSORTE

Ein Methodenvergleich der Aufenthaltsorte wurde ebenfalls mit Hilfe von Korrelationen vorgenommen, es wurde der Korrelationskoeffizient R berechnet. Im Gegensatz zum Methodenvergleich der Bewegungszustände wurde die Gerade nicht durch den Ursprung gezwungen, da die Werte deutlich plausibler waren und auch ohne diesen Kunstgriff ein plausibles Ergebnis zu erwarten war. Auch auf die Regressionsanalyse wurde verzichtet, da bereits aus den Korrelationen leicht

ersichtlich war, ob ein guter linearer Zusammenhang vorliegt. Vergleichbar waren hier nur die Werte der Methoden Funkortung und Videoanalyse (Interact) bzw. Direktbeobachtung (Weidezeit), da die anderen Methoden keine Aufenthaltsorte bestimmen konnten. Abbildung 63 zeigt die Zusammenhängeüberprüfung für den Sektor Fressbereich. Da der Korrelationskoeffizient $R = 0,38$ war, kann von einem sehr mäßigen Zusammenhang ausgegangen werden. Weil die Pferde mittels Funkortung auffällig häufig im Sektor Sonstiges (Abb. 64) geortet wurden, und außerdem eine hohe Diskrepanz zwischen der Aufenthaltshäufigkeit im Fressbereich zwischen Funkortung und Video bestand, wurde vermutet dass die Pferde bei den Messungen der Ortung im Fressbereich nach Sonstiges gespiegelt wurden. Um diese Differenz genauer zu beleuchten, wurden die Messdaten aus den Sektoren Fressbereich und Sonstiges der Methode Funkortung addiert und mit den Ergebnissen, welche die Videobeobachtung im Fressbereich erhob, verglichen (Abb. 65).

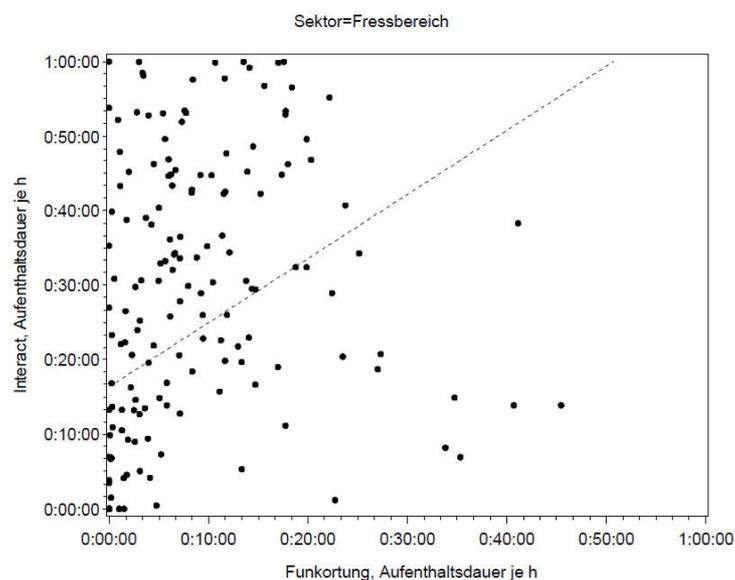


Abbildung 63: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Fressbereich, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,38$).

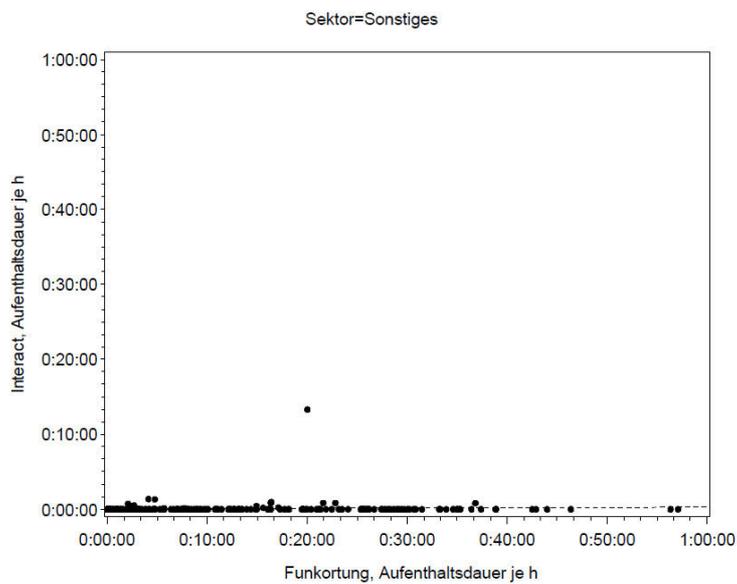


Abbildung 64: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Sonstiges, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,04$).

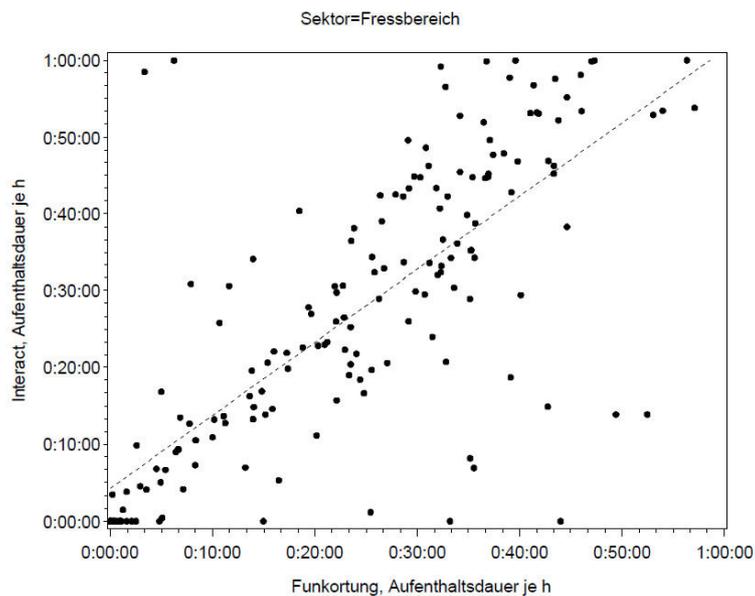


Abbildung 65: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Freßbereich (korrigierte Datenmenge), erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,76$).

Abbildung 66 zeigt den Zusammenhangsvergleich der zwei Methoden für den Sektor Paddock 1. Der Korrelationskoeffizient R war hier mit 0,88 sehr gut, was für eine gute Übereinstimmung der Messungen von Funkortung und Video spricht. Auch die

Scatterplots für Paddock 2, $R = 0,81$ (Abb. 67) und Paddock 3, $R = 0,95$ (Abb. 68) bestätigen die gute Ortungsfähigkeit im Außenbereich.

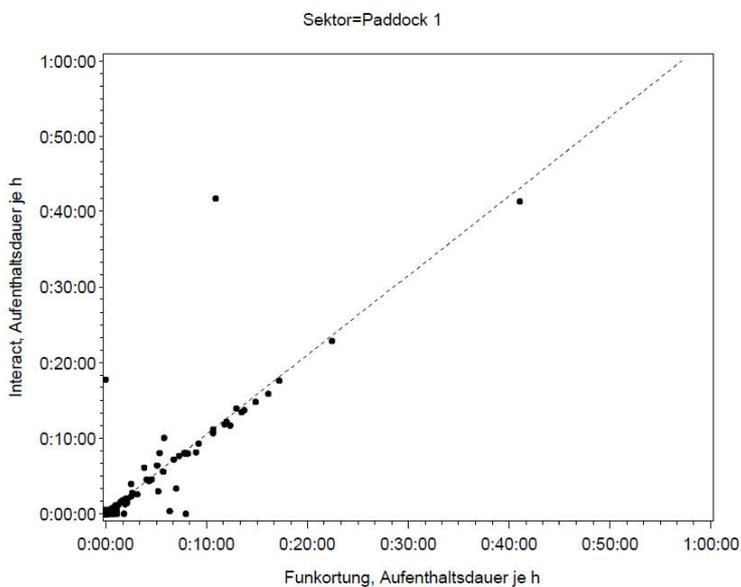


Abbildung 66: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Paddock 1, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,88$).

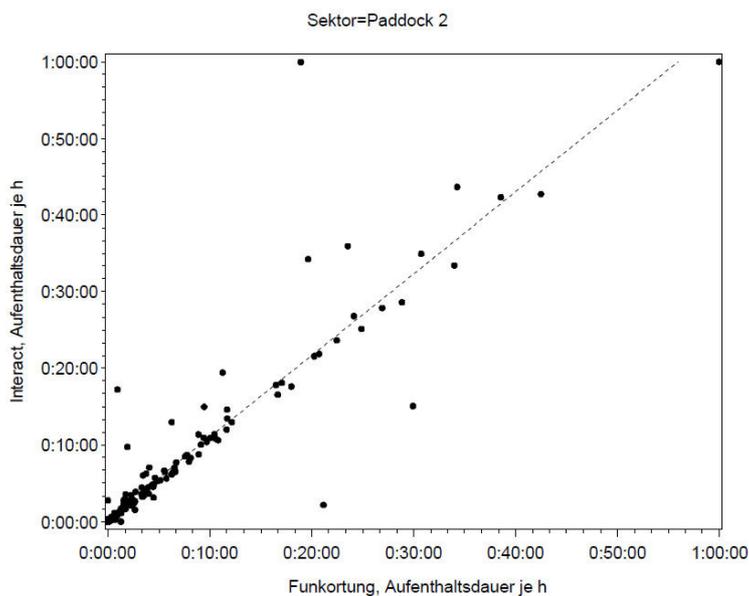


Abbildung 67: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Paddock 2, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,81$).

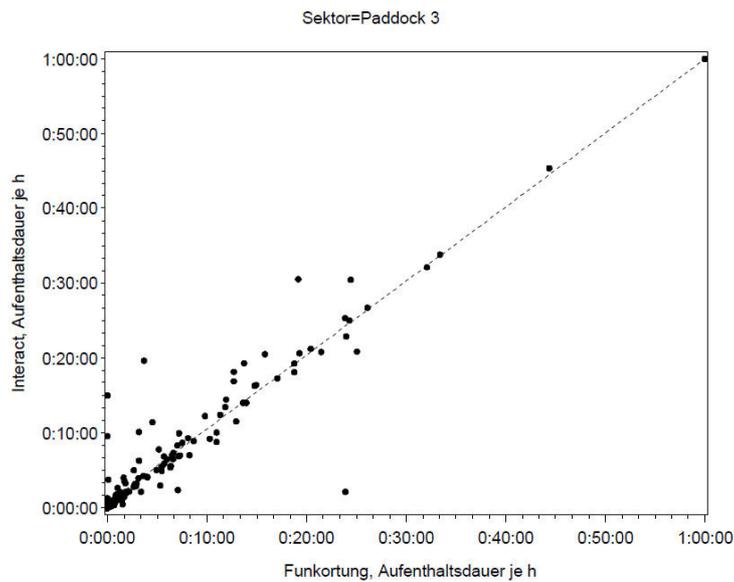


Abbildung 68: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Paddock 3, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,95$).

Die Abbildungen 69-71 zeigen den Methodenvergleich der Aufenthaltshäufigkeiten unter den Vordächern. Hierbei waren die Zusammenhänge beim Vordach 1 mit $R = 0,38$ gering bis mäßig (Abb. 69), beim Vordach 2 mit $R = 0,78$ gut (Abb. 70) und beim Vordach 3 mit $R = 0,6$ ebenfalls mäßig (Abb. 71).

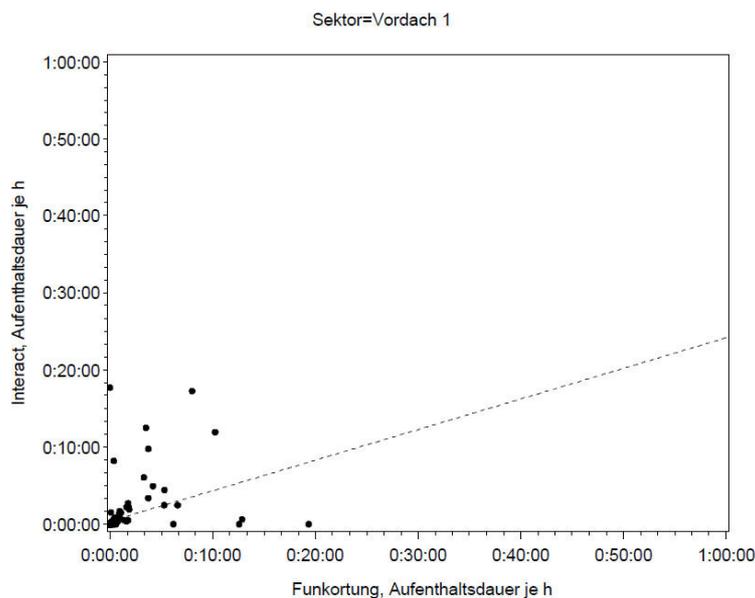


Abbildung 69: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Vordach 1, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,38$).

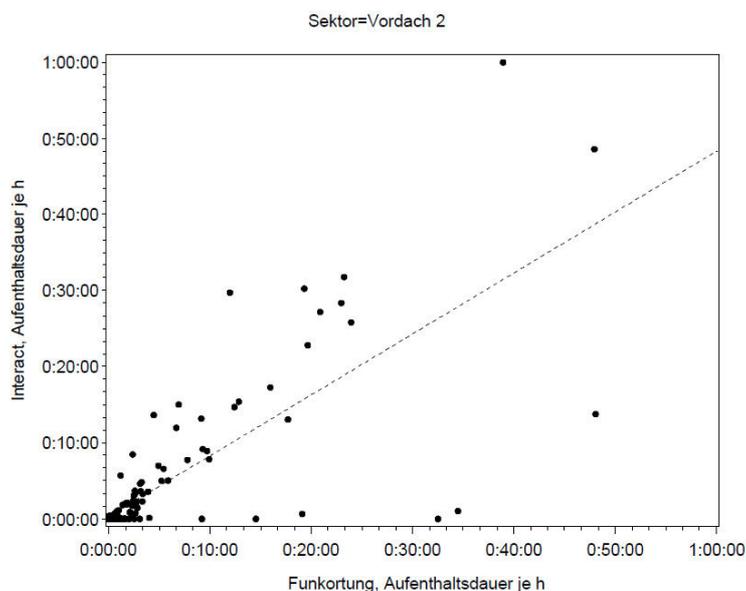


Abbildung 70: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Vordach 2, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,78$).

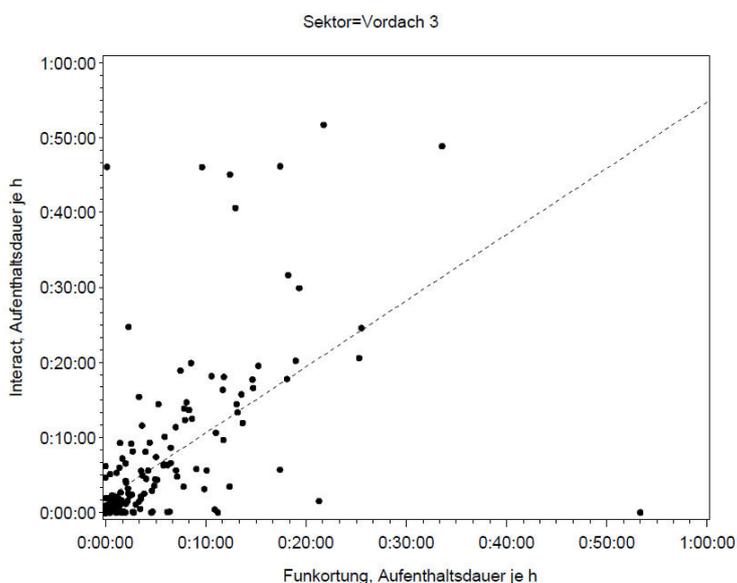


Abbildung 71: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Vordach 3, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,6$).

Auf den Abbildungen 72-75 sind die methodischen Zusammenhänge für die Liegebereiche dargestellt. Abbildung 72 zeigt die Regressionsanalyse für Liegebereich 1. Aufgrund von $R = 0,68$ kann von einem nachgewiesenen Zusammenhang gesprochen werden.

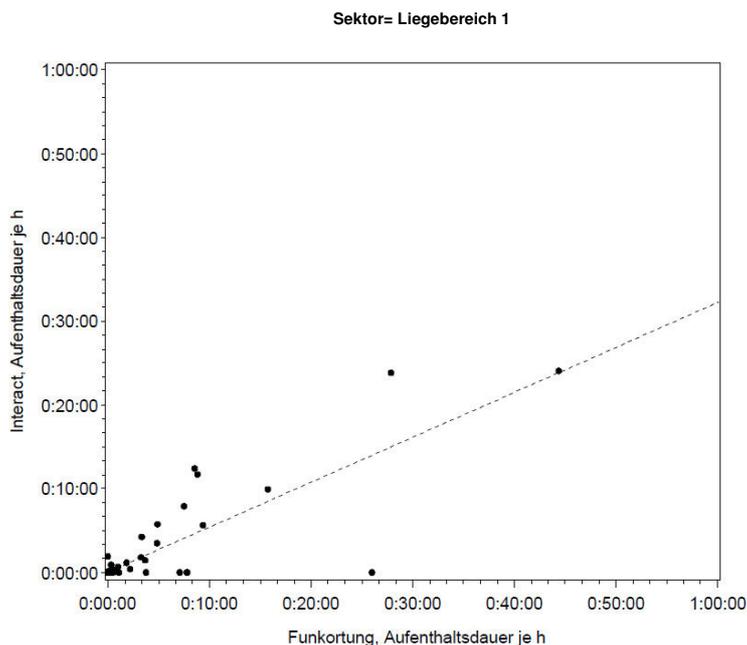


Abbildung 72: Korrelation der Aufenthaltswdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Liegebereich 1, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,84$).

Abbildung 73 beschreibt die lineare Regression für den Liegebereich 2. Der Korrelationskoeffizient R ist hier mit $0,75$ gut und weist einen Zusammenhang nach.

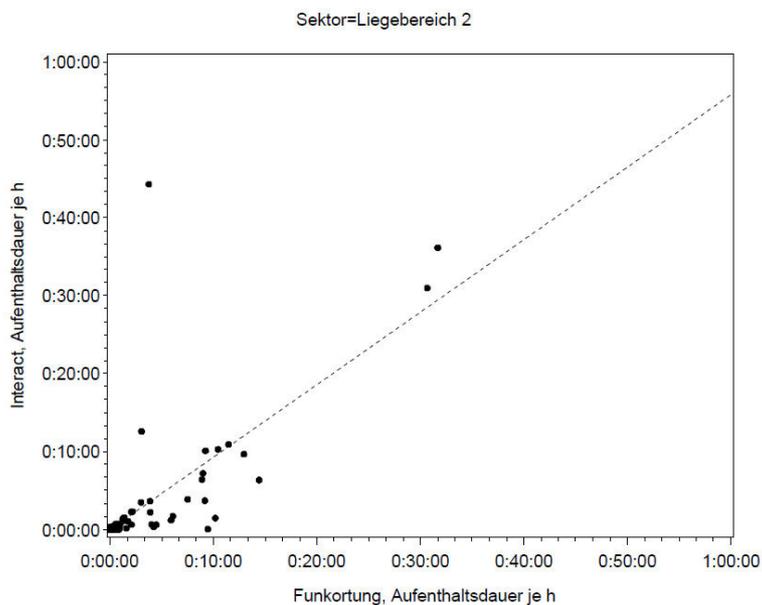


Abbildung 73: Korrelation der Aufenthaltswdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Liegebereich 2, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,75$).

Abbildung 74 beschreibt den Zusammenhang der Messungen im Liegebereich 3 zwischen den Messmethoden Funkortung und Interact. Aufgrund von $R = 0,14$ kann für diesen Sektor keinen Zusammenhang zwischen den Messungen ermittelt werden. Die Verhältnisse für den Liegebereich 4 sind in Abbildung 75 dargestellt, hier ist mit $R = 0,65$ ein mäßiger Zusammenhang vorhanden.

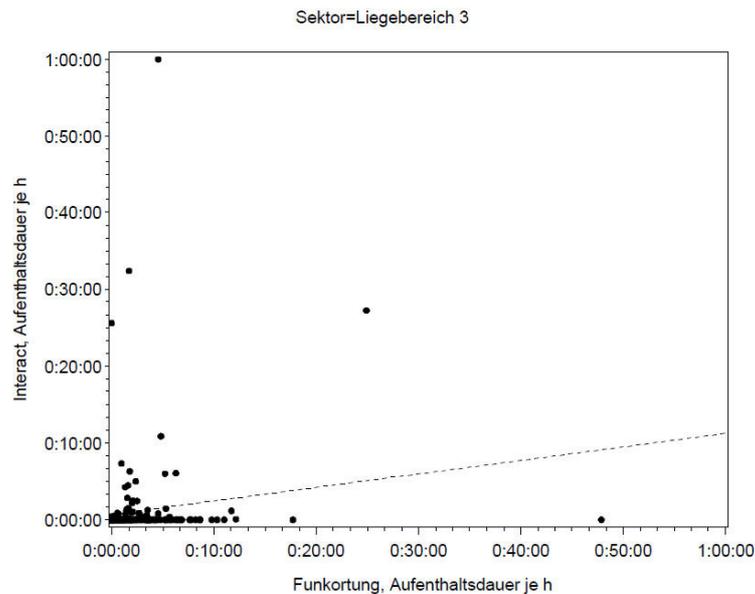


Abbildung 74: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Liegebereich 3, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,14$).

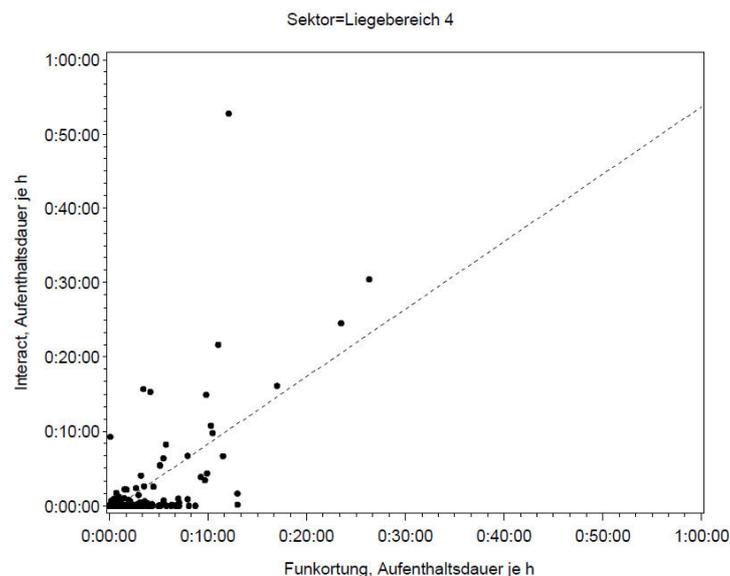


Abbildung 75: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Liegebereich 4, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,65$).

Die Ortungsverhältnisse an den verschiedenen Tränken werden auf den Abbildungen 76-79 dargestellt. Hierbei kam es bei Tränke 1 (Abb. 76) zu einer sehr guten Korrelation ($R = 0,98$), bei Tränke 2 (Abb. 77) ebenso ($R = 0,89$). Tränke 3 (Abb. 78) korrelierte gut ($R = 0,86$), während bei Tränke 4 (Abb. 79) kein Zusammenhang zwischen den Messungen der verschiedenen Methoden ermittelt werden konnte.

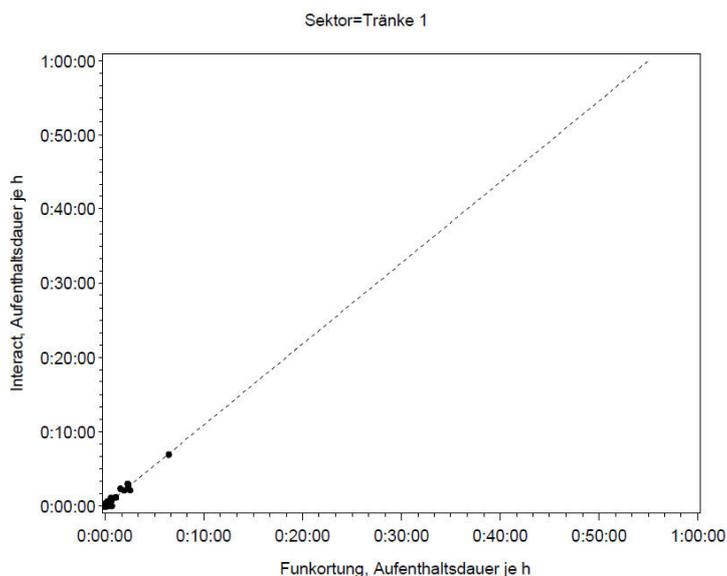


Abbildung 76: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Tränke 1, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,98$).

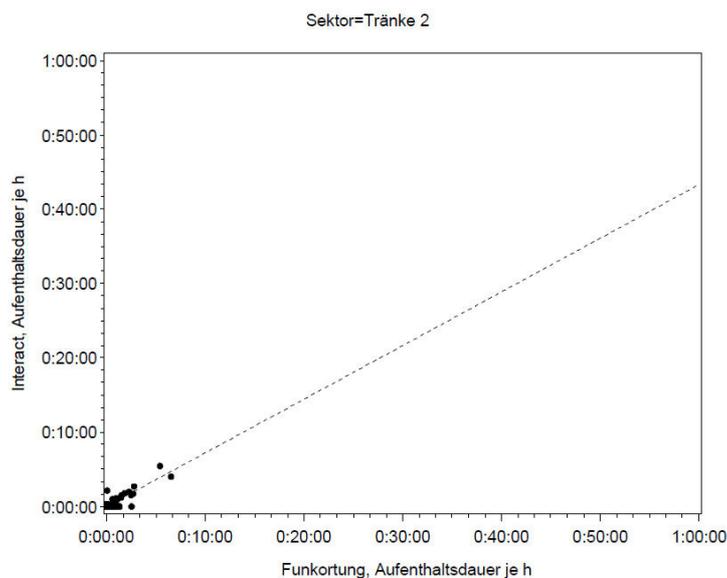


Abbildung 77: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Tränke 2, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,89$).

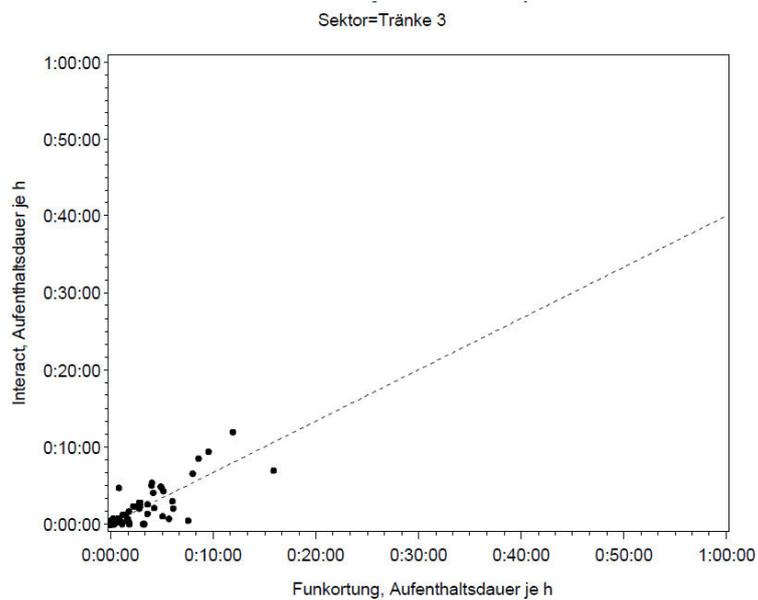


Abbildung 78: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Tränke 3, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,86$).

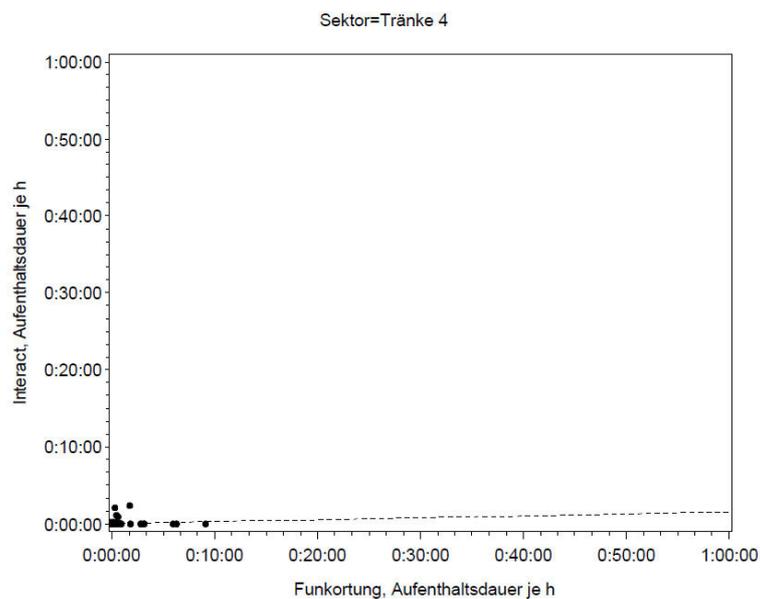


Abbildung 79: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Tränke 4, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,1$).

Die Abbildungen 80-83 zeigen die Zusammenhänge der Messmethoden Funkortung und Interact bezüglich Messung der Aufenthaltshäufigkeiten in den verschiedenen Bereichen der Weide (1-4). Abbildung 80 zeigt den Sektor Weide 1, $R = 0,69$ und somit als mäßiger Zusammenhang zu werten. Beim Bereich Weide 2 (Abb. 81) ist aufgrund von $R = 0,34$ die Korrelation der Variablen unterdurchschnittlich. Die

Sektoren Weide 3 (Abb. 82) korrelierte mit $R = 0,42$ wenig und Weide 4 (Abb. 83) zeigte mit dem Korrelationskoeffizienten $R = 0,64$ einen mäßig ausgeprägten Zusammenhang.

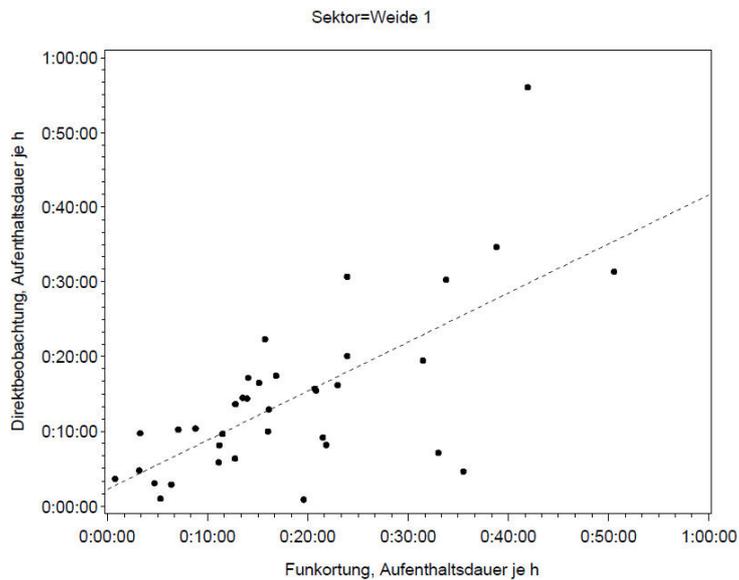


Abbildung 80: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Weide 1, erhoben mit den Messmethoden Direktbeobachtung und Funkortung ($R = 0,69$).

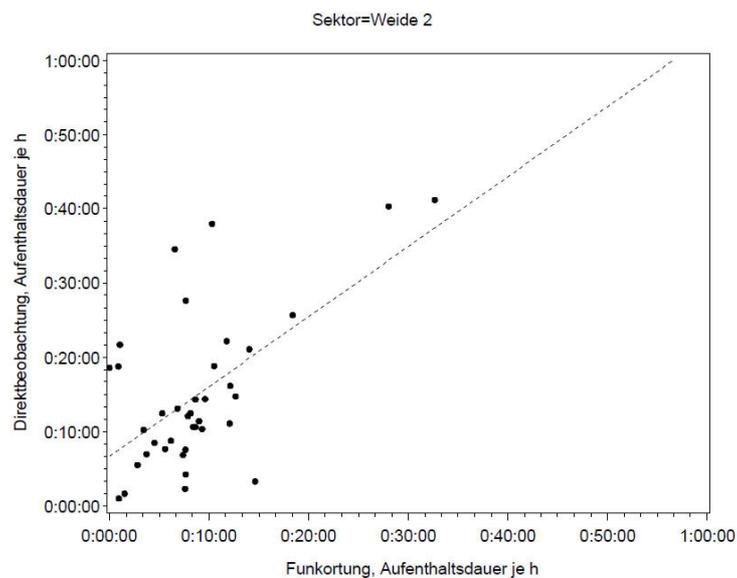


Abbildung 81: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Weide 2, erhoben mit den Messmethoden Direktbeobachtung und Funkortung ($R = 0,34$).

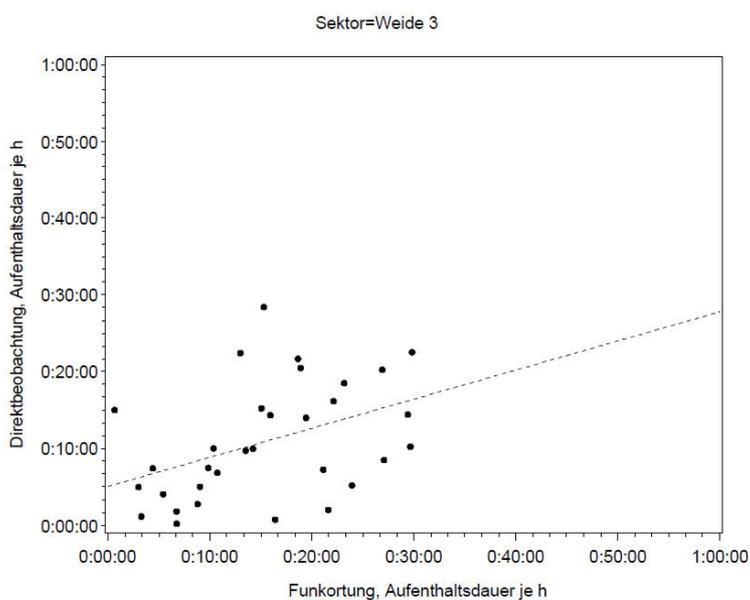


Abbildung 82: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Weide 3, erhoben mit den Messmethoden Direktbeobachtung und Funkortung ($R = 0,42$).

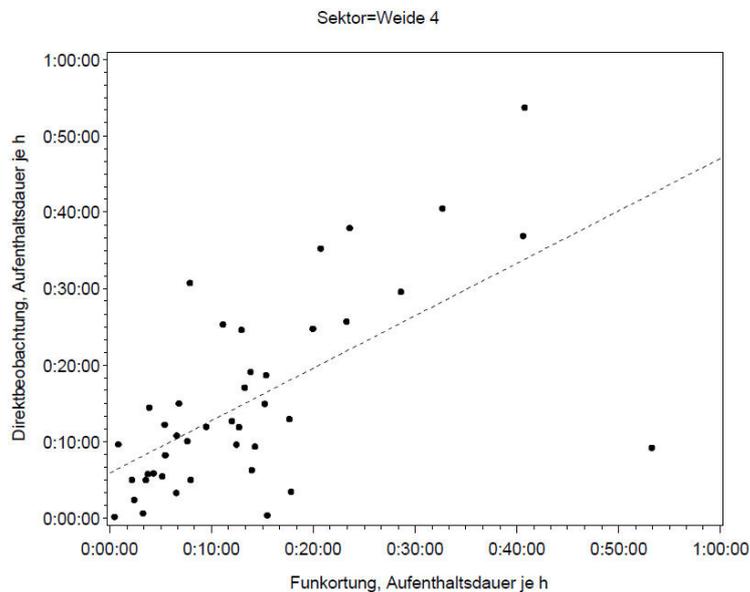


Abbildung 83: Korrelation der Aufenthaltsdauer je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden) im Sektor Weide 4, erhoben mit den Messmethoden Direktbeobachtung und Funkortung ($R = 0,64$).

4.5 WEGSTRECKENBESTIMMUNG

Zur Evaluierung der tatsächlich zurückgelegten Wegstrecken wurde versucht, anhand der Videoaufzeichnungen Schätzungen durchzuführen. Hierzu wurde, auf Basis des Grundrisses des Stalles, die gefilmte Stallfläche in Raster von Größe 1 x 1 Meter unterteilt und anhand der von einem Pferd durchschrittenen Quadrate eine ungefähre Wegstrecke gemessen. Hierbei kam es jedoch zu verschiedenen Komplikationen. Zum einen war es, aufgrund der auf verschiedenen Höhen hängenden Videokameras nicht möglich, ein maßstabsgetreues Raster über die Filmaufnahmen zu legen. Hier war die Verzerrung zu groß und es hätte von oben gefilmt werden müssen. Dies war jedoch technisch nicht möglich, da der Bildausschnitt zu klein gewesen wäre. Zum anderen bewegten sich die Pferde häufig in einer Gruppe und relativ unkoordiniert vorwärts. Somit konnte man häufig nicht mehr genau unterscheiden, welche Planquadrate durchschritten wurden. Oft hielt sich das Pferd auch beispielsweise mit den Vorderbeinen in Planquadrat x und mit den Hinterbeinen in Planquadrat y auf, und zeigte dabei keine zielgerichtete Fortbewegung, sondern nur Ausfallschritte nach vorne, hinten oder zur Seite. Dies wurde sehr häufig im Bereich der Fressstände beobachtet: hier zeigten die Tiere ständig kleine Bewegungen nach vorne, nach hinten, teils ein kleines Stück aus dem Fressstand heraus, teils hinaus und wieder hinein oder hinaus und in einen anderen Fressstand hinein. Dabei kamen zusätzlich Interaktionen zwischen den verschiedenen sich am Fressstand befindlichen Tieren zum Tragen, die häufig auch durch kleine Schritte in verschiedene Richtungen charakterisiert waren. Dies alles machte es sehr schwer bis unmöglich, die zurückgelegten Wegstrecken der Tiere visuell anhand der Videoaufzeichnungen zu überprüfen. Daher wurden verschiedene Versuche gemacht, in denen die Genauigkeit der Wegstreckenmessung mittels Funkortung ohne Pferde evaluiert wurde. Hierbei wurde zunächst gemessen, welche Streuungen auftreten, wenn Basisstationen an einem festen Punkt verweilen (Abb. 84). Diese so genannte *Ortstreue* wurde für einen Zeitraum von jeweils 1, 5, 10, 30 und 60 Minuten ermittelt, es wurden pro Beobachtungszeitraum 10 Stichproben genommen. Es wurde jeweils notiert, welche Wegstrecke das Ortungssystem maß, obwohl die Basisstationen nicht bewegt wurden. Obwohl die Basisstationen an exakt einer Stelle lagen, wurden sie zeitweise in mehreren umgebenden Sektoren geortet (Abb. 84), wodurch sich angeblich zurückgelegte Wegstrecken ergaben. Abbildung

85 zeigt, welche Wegstrecken gemessen wurden, obwohl das System an einer Stelle fest auf dem Boden lag, jeweils über verschiedene Zeitdauern. Die durchschnittlich gemessene Pseudo-Wegstrecke nahm mit zunehmender Zeit ebenfalls zu.



Abbildung 84: Grafische Darstellung einer Ortstreue-Untersuchung, links über 12 Stunden an einer Stelle, rechts über jeweils eine Stunde an verschiedenen Orten. Rot: sehr häufig georteter Sektor, Grün: häufig, blau: abnehmend häufig besucht.

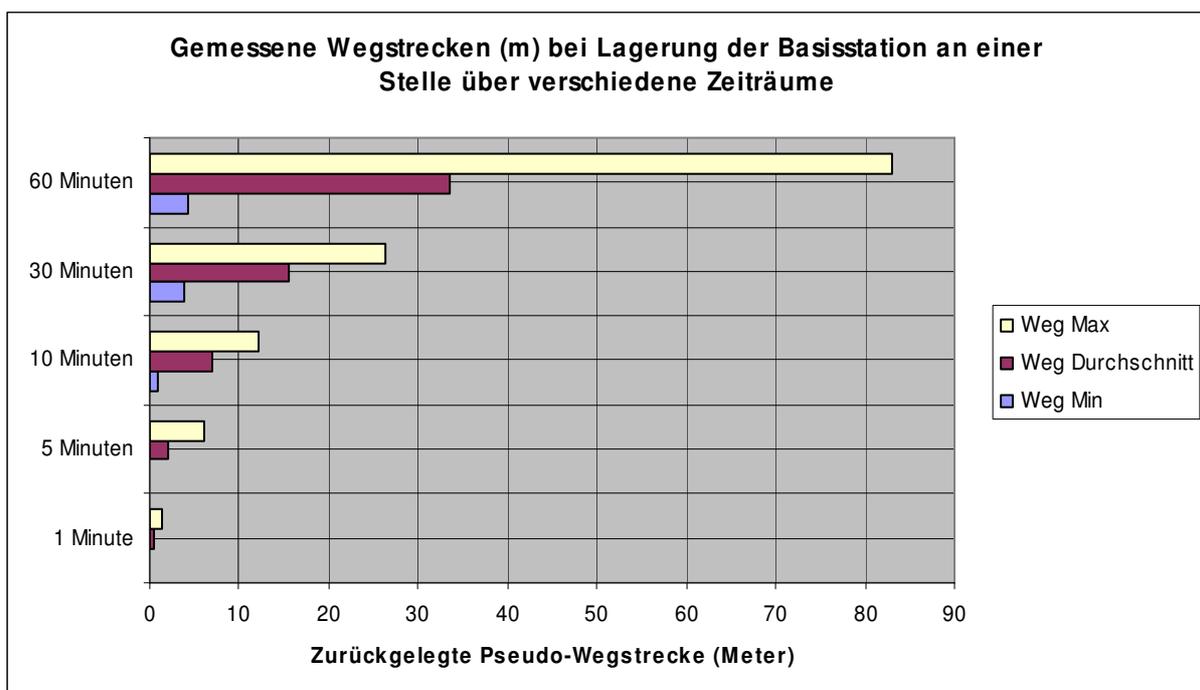


Abbildung 85: Vom System gemessene Wegstrecken bei verschiedenen Liegedauern an einer Stelle.

Anschließend wurden definierte Strecken mit einer Basisstation abgegangen. Hierbei handelte es sich um Strecken von 0,25/0,5/1/4/8/9/12/24 Metern, welche jeweils 10 mal zurückgelegt und die von der Funkortung gemessene Wegstrecke notiert wurden. In der Regel erfolgte dies durch Geradeausgehen entlang einer Messlatte. Die gemessenen Wegstrecken sind in den Abbildungen 86 und 87 dargestellt. Bei den Strecken 8 und 24 Meter wurde jeweils eine Strecke doppelt gelaufen, also im ersten Fall 4 Meter und zurück, im zweiten Fall 12 Meter und zurück. Dies erfolgte, um zu testen wie eine Messung reagiert, wenn Sektoren innerhalb kurzer Zeit mehrfach durchschritten werden. Es konnte festgestellt werden (Abb. 87), dass bei diesen doppelt gelaufenen Messungen (d) deutlich kürzere Wegstrecken, als die tatsächlich zurückgelegten, vom System ermittelt wurden. Auch im Bereich der sehr geringen Strecken, vor allem 0,25 sowie 0,5 Meter, zeigten sich deutliche Schwankungen und Fehlmessungen (Abb. 86).

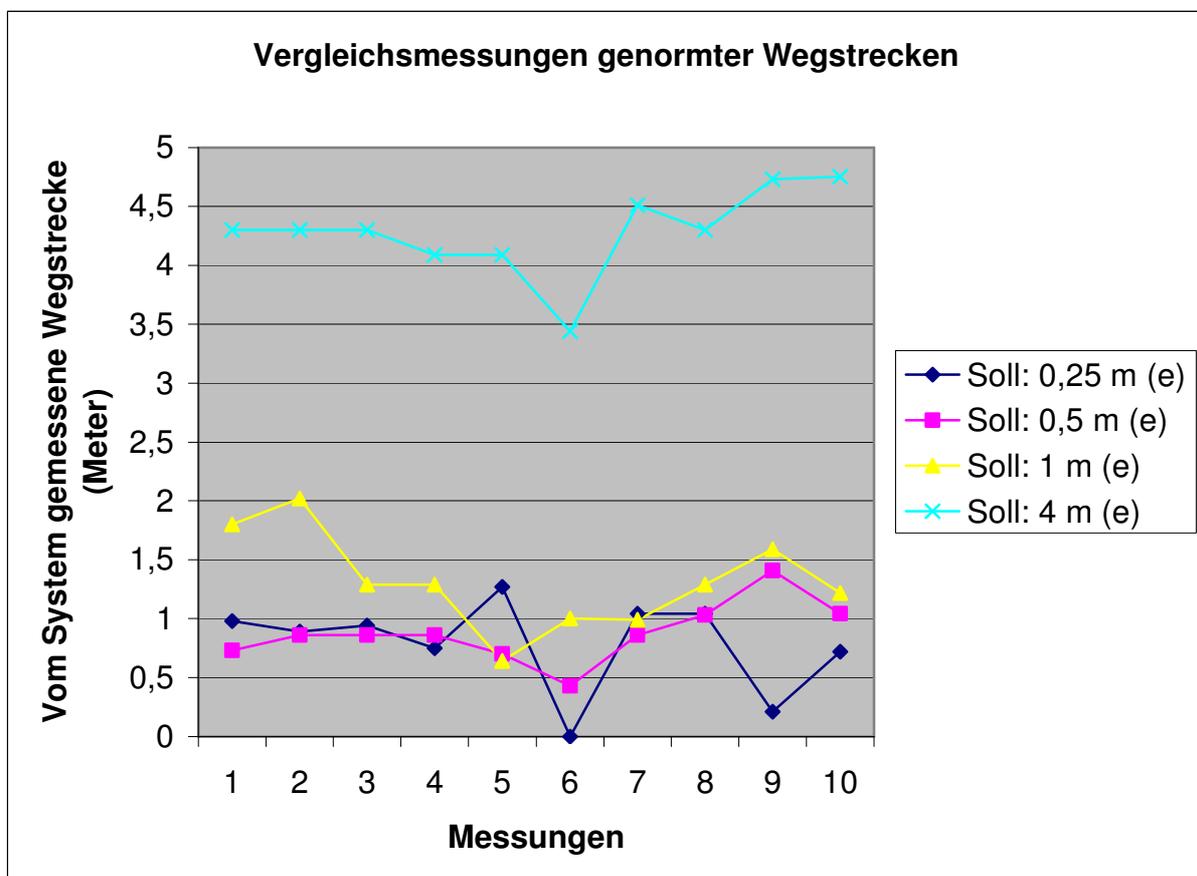


Abbildung 86: Vom System gemessene Wegstrecken beim Zurücklegen verschiedener genormter Wegstrecken, die Strecke wurde jeweils einfach (e) zurückgelegt.

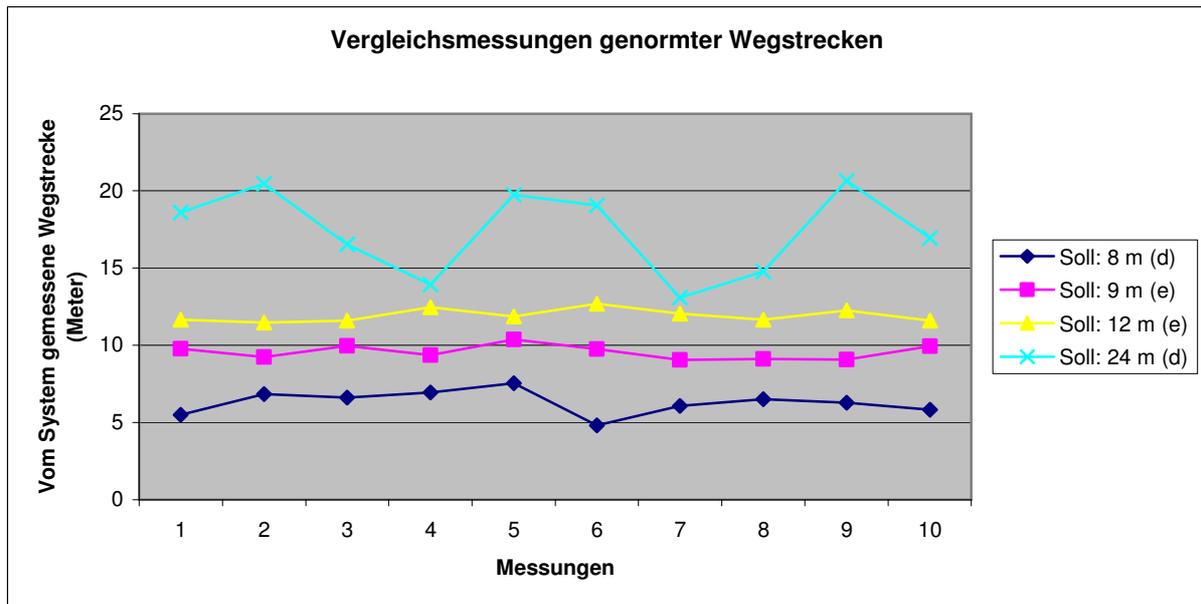


Abbildung 87: Vom System gemessene Wegstrecken beim Zurücklegen verschiedener genormter Wegstrecken, die Strecke wurde teils einfach (e), teils doppelt (d) zurückgelegt.

Weiterhin konnte die automatische Führanlage sehr gut für Streckenmessungen genutzt werden. Hierfür wurden eine oder mehrere Basisstationen an den im Laufgang befindlichen Trenngittern für die Pferde befestigt und die Führmaschine bewegt (Abbildung 88). Zuvor wurden, wie aus Tabelle 9 ersichtlich, mittels Radius und Geschwindigkeiten der Führanlage die zu erwartenden Wegstrecken errechnet, um diese im Anschluss mit den vom System gemessenen Wegstrecken zu vergleichen. Hierzu wurden in mehreren Wiederholungen jeweils 1, 5, 10 und 20 Runden bei den vor- eingestellten Geschwindigkeitsstufen 10, 40 und 80 gefahren und die Wegstrecken ermittelt (Abbildungen 89-92).

Tabelle 9: Geschwindigkeiten der vorprogrammierten Einstellungen der automatischen Führanlage.

Geschwindigkeit (%)	Geschwindigkeit (Hertz)	Dauer 1 Runde (49,323 m)	Geschwindigkeit (m/s)
10	3,9	136 sec	0,363 m/s
20	4,8	104 sec	0,474 m/s
30	6,6	75 sec	0,658 m/s
40	11,4	43,9 sec	1,124 m/s
50	20	25,1 sec	1,965 m/s
60	24,2	20,8 sec	2,371 m/s
70	30,2	17,3 sec	2,851 m/s
80	36,2	14,6 sec	3,378 m/s
90	56,6	12,3 sec	4,01 m/s



Abbildung 88: Grafische Darstellung einer Wegstreckenmessung in der Führenanlage, die Messung wurde auf dem inneren Radius des Laufkreises gefahren.

Hierbei konnte deutlich beobachtet werden, dass bei geringer Rundenanzahl und niedrigen Geschwindigkeiten (Abb. 89) sehr adäquate Wegstrecken gemessen wurden. Auch höhere Rundenzahlen wurden bei niedrigen Geschwindigkeiten gut erkannt, da es immer eine adäquat lange Zeit dauerte, bis der gleiche Sektor auf der Kreisbewegung erneut durchschritten wurde (Abb. 90). Bei der sehr hohen Geschwindigkeit von 80 % blieben jedoch die gemessenen Strecken deutlich hinter den errechneten zurück (Abb. 91), aus dem bereits vorher aufgetretenen Grund, dass Sektoren in zu kurzem Zeitabstand immer wieder durchquert wurden.

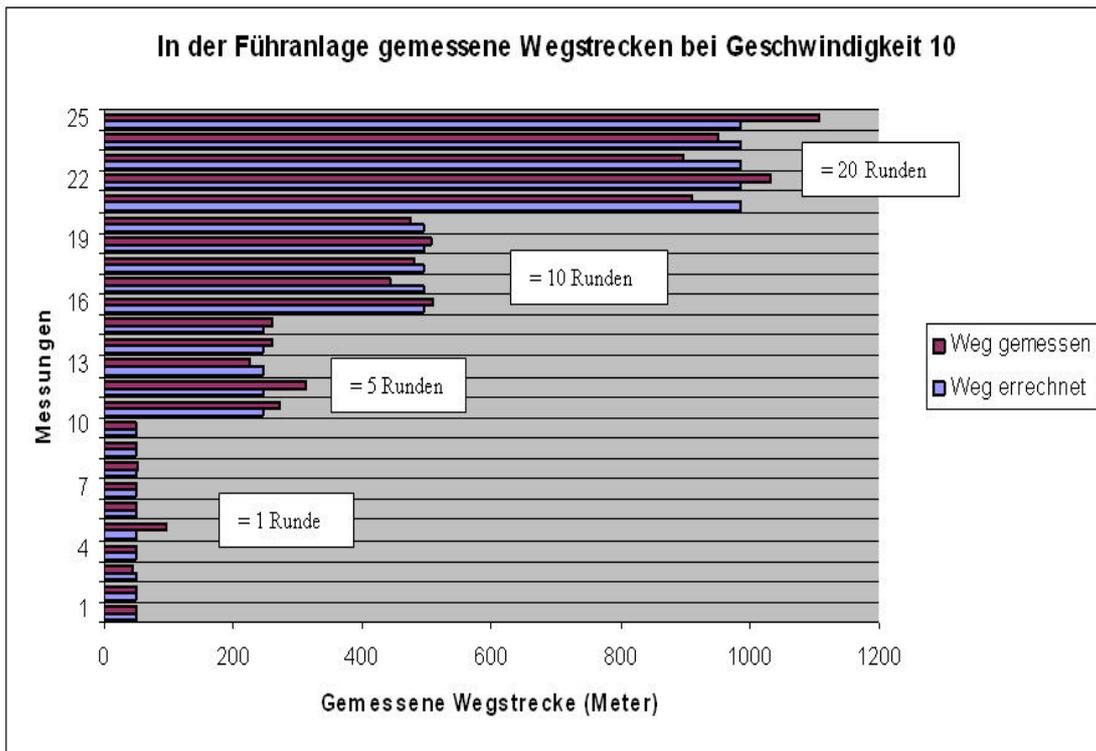


Abbildung 89: Grafische Darstellung der in der Führlage gemessenen Wegstrecken im Vergleich mit den errechneten Wegstrecken, jeweils über 1, 5, 10 oder 20 Runden, bei einer Geschwindigkeit von 10 (entspricht 0,363 m/s).

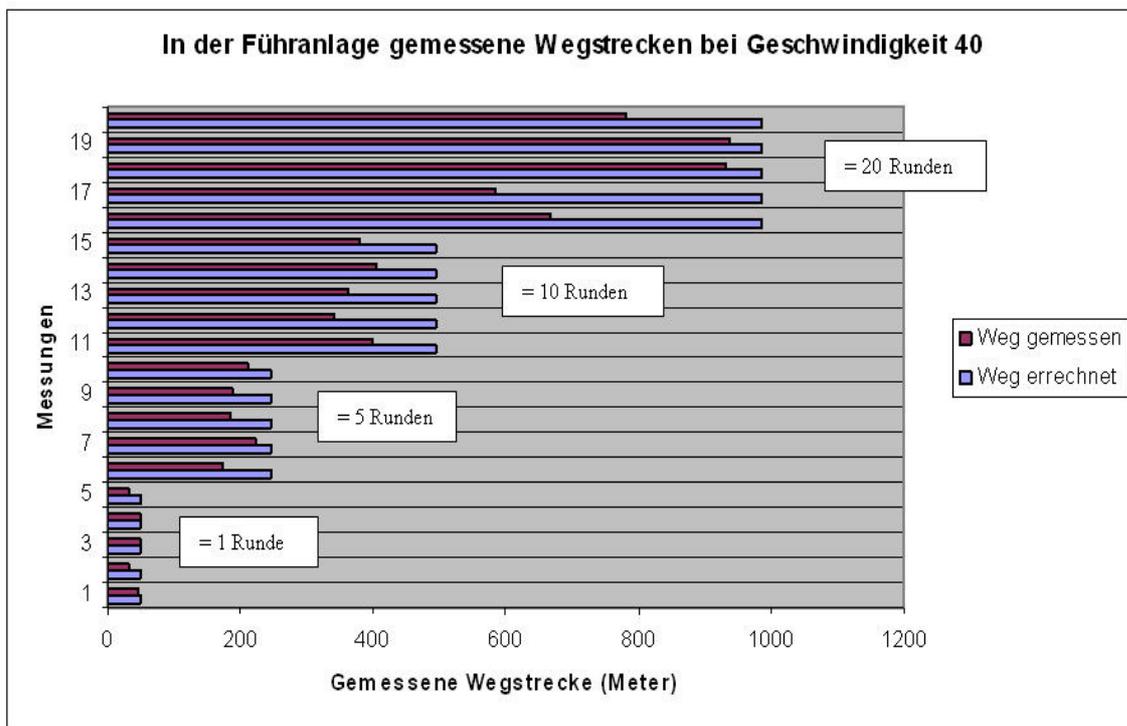


Abbildung 90: Grafische Darstellung der in der Führlage gemessenen Wegstrecken im Vergleich mit den errechneten Wegstrecken, jeweils über 1, 5, 10 oder 20 Runden, bei einer Geschwindigkeit von 40 (entspricht 1,124 m/s).

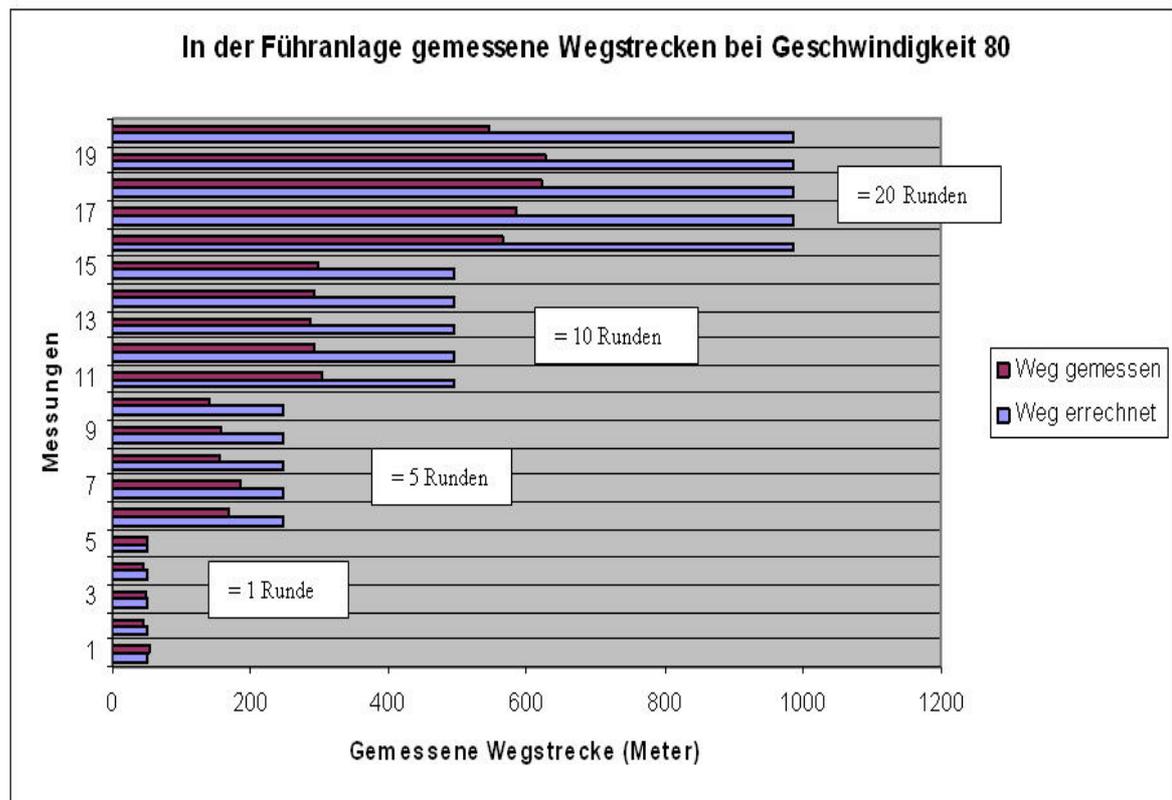


Abbildung 91: Grafische Darstellung der in der Führanlage gemessenen Wegstrecken im Vergleich mit den errechneten Wegstrecken, jeweils über 1, 5, 10 oder 20 Runden, bei einer Geschwindigkeit von 80 (entspricht 3,378 m/s).

4.6 METHODENVERGLEICH DER WEGSTRECKENBESTIMMUNG

Mit Hilfe des Ortungssystems konnten erstmals in einer Untersuchung Wegstrecken gemessen werden. Diese wurden automatisch vom System aufaddiert und wahlweise stündlich oder für einen gesamten 24-Stunden-Zeitraum ausgegeben. Um die Plausibilität dieser automatisch ermittelten Wegstrecken zu prüfen, wurden anhand einer Schätzformel aus den von den Pedometern ausgegebenen Bewegungsimpulsen Wegstrecken errechnet.

Die Schätzformel $x / 4 \times 1,5\text{m}$ setzte sich aus folgenden Komponenten zusammen: x stellte die Zahl der vom Pedometer gemessenen Schritte dar. Da jedoch davon auszugehen ist, dass ein Schritt beim Pferd aus vier Bewegungsimpulsen zusammengesetzt ist (FRENTZEN 1994), wurde die Anzahl der Schritte durch vier geteilt und anschließend mit 1,5 Metern multipliziert, der durchschnittlichen

Schrittlänge eines Warmblutpferdes (NICKEL et al. 1959). Daraus errechneten sich die Schätzwerte der zurückgelegten Wegstrecken, welche nun mit den Funkortungsdaten verglichen werden konnten. Es zeigte sich, dass das System der Ortung die höchsten Wegstrecken angab (im Mittelwert 9559,93 Meter pro Pferd und Tag, Tabelle 10). Die Pedometer maßen am Vorderbein etwas niedrigere (Mittelwert 8614,75 Meter), und am Hinterbein deutlich niedrigere Aktivitäten (im Mittel 6678,07 Meter), grafisch dargestellt in Abbildung 92 für alle Messungstage, in Abbildung 93 für den Mittelwert der Messungen. Diese Diskrepanzen kommen wahrscheinlich daher, dass beim Ortungssystem zum einen Wegstrecken mit eingerechnet werden, welche durch Reflektionen falsch hinzukommen. Dies passierte besonders im Bereich der Fressstände, und dieser Bereich gehörte zu den häufigsten Aufenthaltsplätzen der Tiere. Zum anderen kann davon ausgegangen werden, dass die Pferde sich häufig auf kleinem Raum über kurze Strecken vor- und zurück bewegten, weshalb Strecken immer wieder gezählt wurden, obwohl diese gar nicht wirklich im Sinne von Durchlaufen zurück gelegt wurden. Auch dies geschah hauptsächlich im Fressbereich.

Tabelle 10: Von den verschiedenen Systemen gemessene Wegstrecken (Meter), jeweils am gleichen Pferd registriert von Ortung und Pedometern an allen vier Beinen (vorne links, vorne rechts, hinten links, hinten rechts).

Messung Nr.	Ortung (m)	Pedometer Vo. Re.	Pedometer Vo. Li.	Pedometer Hi. Li.	Pedometer Hi. Re.
1	6985,54	7153,88	6538,13	4692,00	4641,00
2	8147,33	4467,38	7705,13	7128,00	6135,75
3	9773,56	8386,13	7997,63	5940,38	6176,25
4	10684,48	9235,13	8167,50	6720,00	6673,88
5	10590,06	8348,25	8982,75	8157,00	6696,00
6	10640,09	10002,75	10206,75	5983,50	6216,38
7	11128,95	10757,63	9019,88	6949,13	6051,38
8	9344,79	8266,50	8451,38	9159,38	7726,50
9	8744,57	10471,50	10907,25	7257,38	7901,25
Mittelwert	9559,93	8565,46	8664,04	6887,42	6468,71

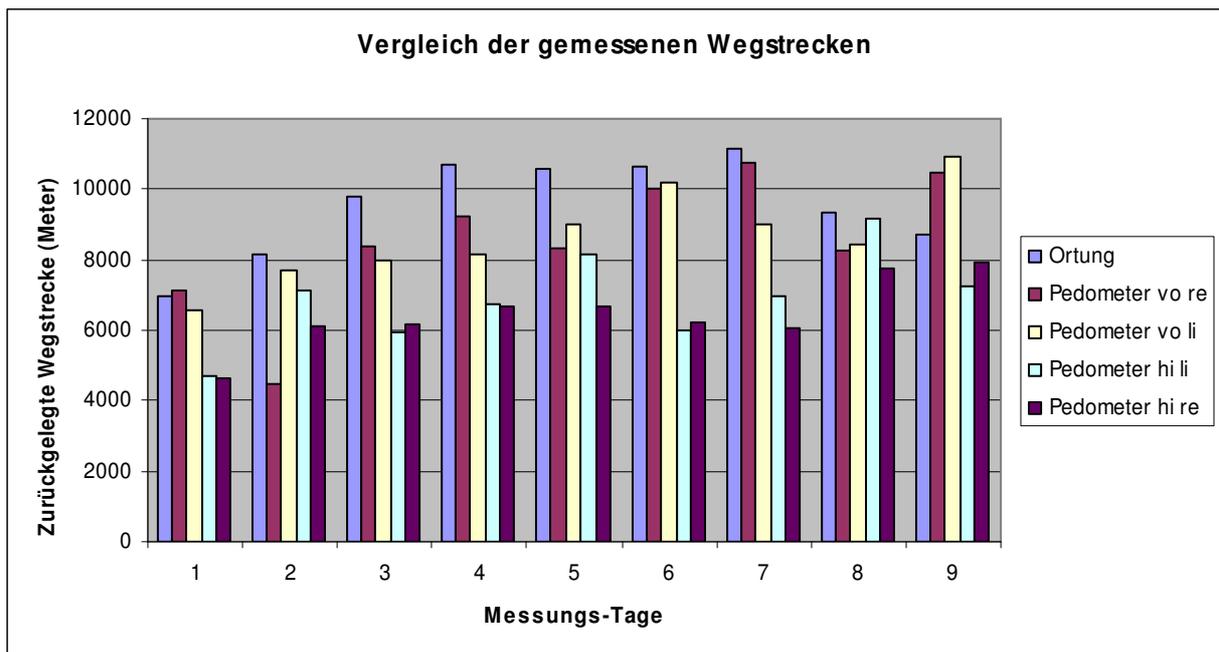


Abbildung 92: Grafische Darstellung der, jeweils an einem Pferd und Messtag, durch Ortung und Pedometer gemessenen Wegstrecken.

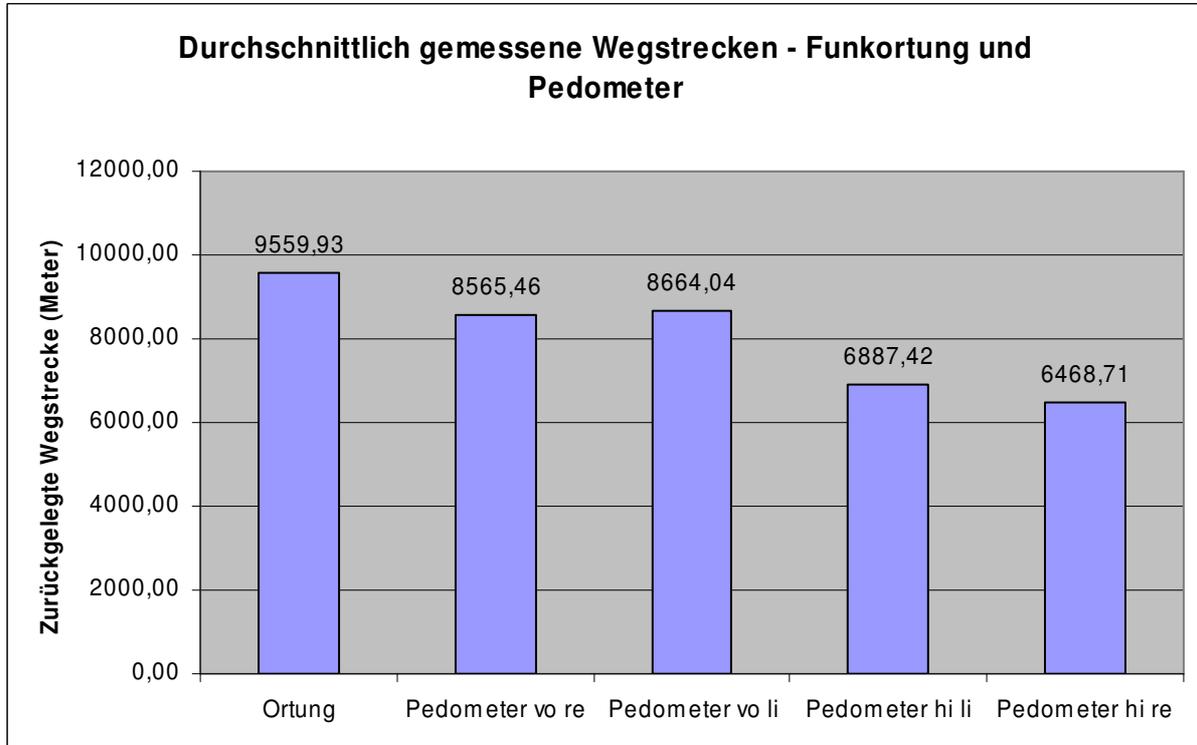


Abbildung 93: Durchschnittlich gemessene Wegstrecken, ermittelt von den Systemen Funkortung, sowie an verschiedenen Beinen befestigten Pedometern.

Tabelle 11 zeigt die Wegstrecken, welche die Pferde laut Funkortungsmessung auf der Weide zurückgelegt haben. Die Weidezeit betrug vier Stunden pro Tag, hier wurden im Mittel 3104,67 Meter zurückgelegt. Da die Funkortung die Daten stündlich ausgab, und die Pferde nicht immer zu einer exakten Uhrzeit auf die Weide wechselten (in der Regel ca. 08.00-12.15 Uhr), sind die Wegstreckendaten über insgesamt fünf Stundenintervalle zusammengefasst. Hierbei lag die zurückgelegte Wegstrecke jeweils in der ersten Stunde am höchsten (vergleiche Abbildung 94).

Tabelle 11: Aufenthaltszeiten und jeweils zurückgelegte Wegstrecken (Meter) auf Weide (Funkortung), gemessen an 9 verschiedenen Tagen (Messung M1-9).

Zeit	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9
7.30 - 8.30	625,15	733,79	802,60	1237,09	1480,86	1125,27	1783,81	1803,94	714,90
8.30 - 9.30	359,44	149,25	503,63	532,76	599,75	445,61	425,07	254,72	366,61
9.30 - 10.30	307,57	428,61	349,84	711,18	853,40	642,74	364,42	299,01	363,39
10.30 - 11.30	281,61	383,91	435,51	719,71	748,60	498,65	454,47	425,13	532,89
11.30-12.30	451,53	544,80	507,43	669,87	816,99	571,09	455,58	699,11	480,69
Summe	2025,30	2240,37	2599,01	3870,60	4499,60	3283,35	3483,35	3481,92	2458,48

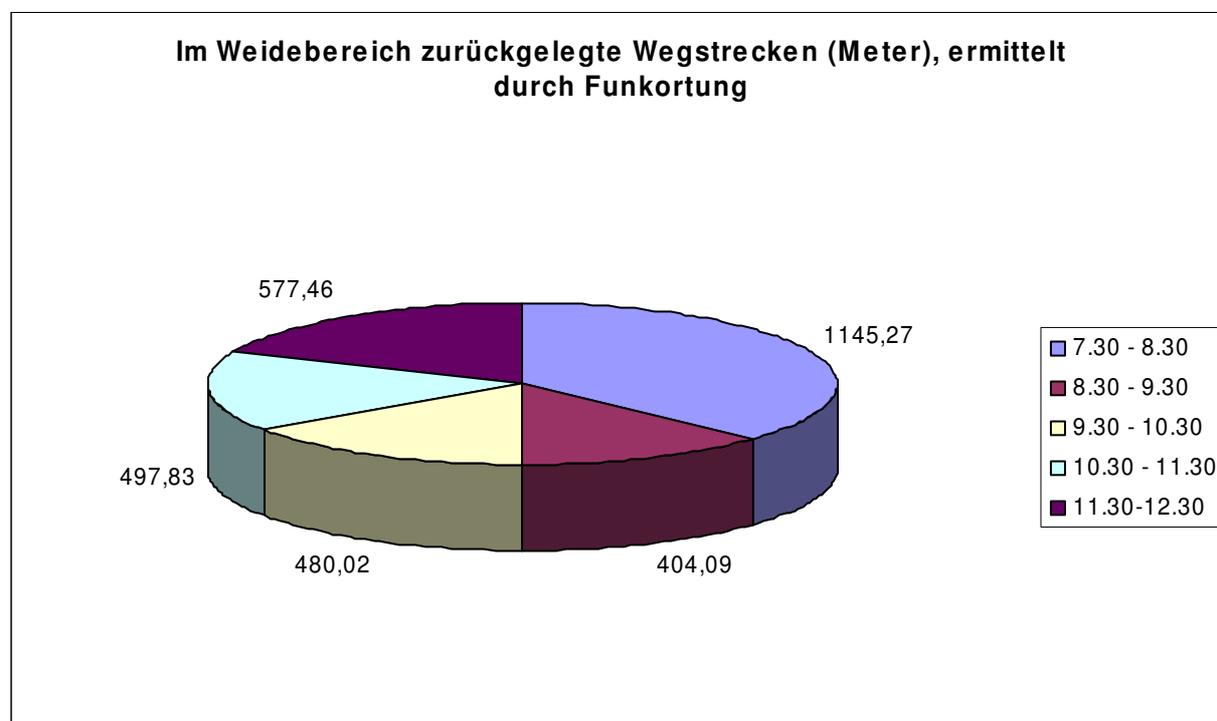


Abbildung 94: Im Weidebereich zu verschiedenen Uhrzeiten zurückgelegte Wegstrecken (Meter), gemessen mittels Funkortung.

Die Abbildungen 95, 96 und 97 zeigen lineare Regressionen, welche berechnet wurden, um die Plausibilität der von der Methode Funkortung ausgegebenen Wegstrecke zu überprüfen. Hierbei wurde die Dauer der Bewegung pro Stunde, ermittelt über Interact, Pedometer und auch die Funkortung selbst, jeweils gegen die pro Stunde zurückgelegte Strecke (Funkortung) aufgetragen. Hierbei ergab sich mit $R^2 = 0,53$ für Interact (Dauer der Bewegung pro Stunde) und Funkortung (Strecke der Bewegung pro Stunde) ein mäßiger Zusammenhang (Abb. 95). Auch das Bestimmtheitsmaß der Beziehung zwischen der Dauer der Bewegung pro Stunde (Funkortung) und der pro Stunde zurückgelegten Wegstrecke (Funkortung) war mit $R^2 = 0,59$ eher mäßig (Abb. 96). Der Zusammenhang von $R^2 = 0,7$ zwischen den Daten der Funkortung und den Bewegungsimpulsen der Pedometer kann hingegen als gut beurteilt werden (Abb. 97).

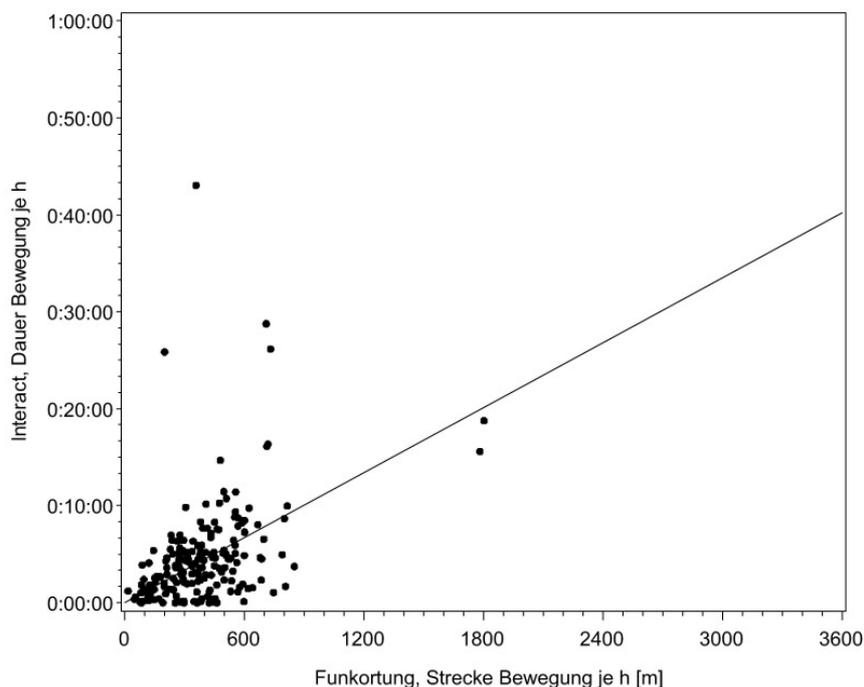


Abbildung 95: Lineare Regression zur Überprüfung der Plausibilität der von der Methode Funkortung gemessenen Wegstrecke, verglichen mit der Dauer der Bewegung je Stunde (basierend auf einer Gesamtmeszeit von 216 Stunden), ermittelt durch Videobeobachtung Interact ($R^2 = 0,53$; $R = 0,41$).

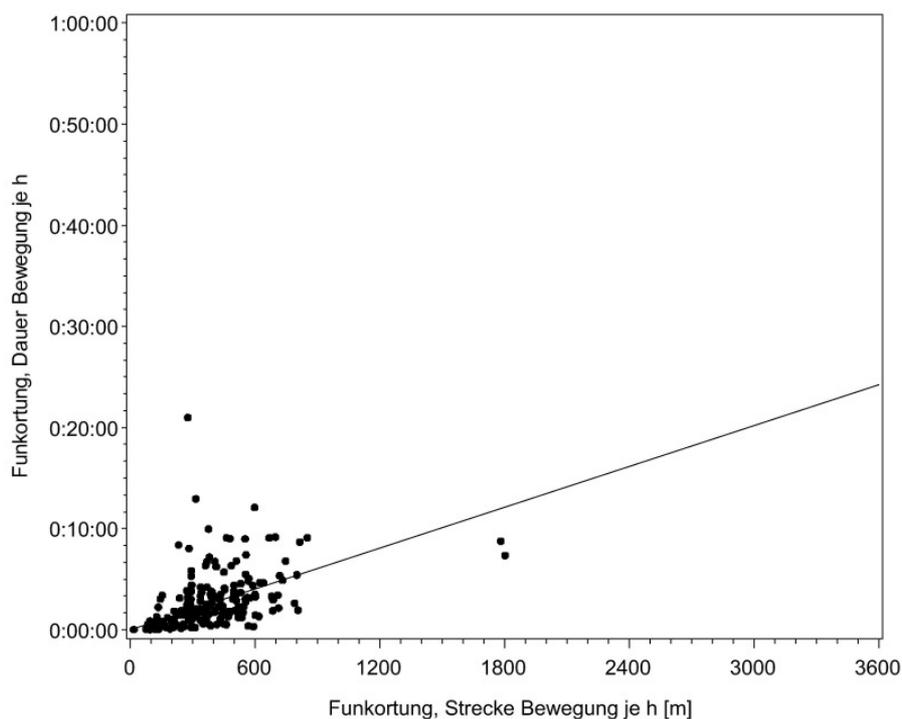


Abbildung 96: Lineare Regression zur Überprüfung der Plausibilität der von der Methode Funkortung gemessenen Wegstrecke, verglichen mit der Dauer der Bewegung je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden), ermittelt durch Funkortung ($R^2 = 0,59$; $R = 0,42$).

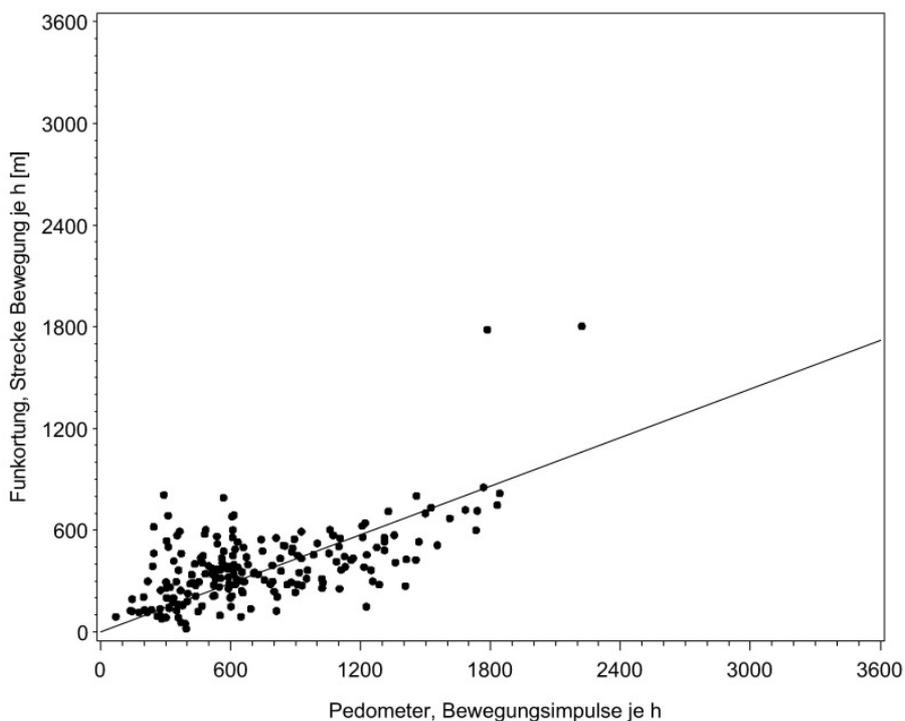


Abbildung 97: Einfache Lineare Regression für den Parameter Strecke der Bewegung pro Stunde je Stunde (basierend auf einer Gesamtmesszeit von 216 Stunden), ermittelt durch die Methoden Funkortung und Pedometer ($R^2 = 0,7$; $R = 0,6$).

5 DISKUSSION

5.1 DISKUSSION DES VERSUCHSAUFBAUS

Ziel der Untersuchung war es, verschiedene Methoden zur Verhaltensbeobachtung im Hinblick auf ihre Eigenschaften zu vergleichen, sowie ein neues System auf Basis einer Funkortung zu implementieren. Hierzu wurde das Verhalten von Pferden über einen Zeitraum von neun Zeitintervallen à 24 Stunden am Stück mit allen Methoden erfasst, um anschließend sowohl die Ergebnisse, als auch die Umsetzbarkeit der Methoden zu beurteilen.

5.1.1 Haltungssystem

Für die Untersuchung stand ein Versuchsstall zur Verfügung, in welchem verschiedene Haltungssysteme eingesetzt werden konnten. Ein Teil des Stalles bestand aus Einzelboxen für sechs Pferde, an welchen sich ein Sandauslauf für jeweils zwei Tiere anschloss. Hier konnten die Pferde also wahlweise in Einzelboxenhaltung, Einzelboxenhaltung mit individuellem Paddock-Auslauf sowie Einzelboxenhaltung mit Benutzung des Paddocks als Zweiergruppe gehalten werden. In dem anderen Teil des Stalles befand sich eine Gruppen-Auslaufhaltung mit angrenzendem Sandauslauf für sechs Pferde. Für die Untersuchungen wurde die Gruppenhaltung ausgewählt. Die hatte vor allem technische Hintergründe, da das System der Funkortung in den rundum von Metallgittern umgebenen Einzelboxen aufgrund von starken Reflektionen nicht messen konnte. Sollte man in Zukunft auch diese, sicherlich vor allem im Bezug auf die zurückgelegten Wegstrecken hochinteressante, Haltung untersuchen wollen, so müsste eine Box aus überwiegend Holz- und Kunststoffbestandteilen aufgebaut werden, um bessere Ergebnisse zu erhalten. Die Gruppenauslaufhaltung als pferdegerechtes System (PIOTROWSKI 1992) ist aber für eine Untersuchung dieser Art insofern interessant, dass man die Tiergerechtheit stets verbessern möchte. Um die Tiergerechtheit zu beurteilen, ist eine genaue Beobachtung der im entsprechenden Stallsystem gezeigten Verhaltenweisen erforderlich. Vor allem die von den Tieren zurückgelegten Wegstrecken waren hierbei interessant, da sie bisher noch nicht direkt erfasst werden konnten.

5.1.2 Versuchspferde

Die im Versuch verwendeten sechs Pferde bestanden aus einer homogenen Gruppe von zweijährigen Hannoveraner-Stuten, welche vom gleichen Züchter stammten und dort bereits vor dem Versuch in Weidehaltung zusammen gelebt hatten. Diese waren für parallel laufende Versuche ausgewählt worden, da für diese eine Standardisierung notwendig war. Für den Versuch als Gegenstand dieser Arbeit war es eigentlich nicht notwendig, eine homogene Gruppe zu untersuchen, da es vor allem um die methodischen Aspekte ging. Es wären auch eine gemischt geschlechtliche Gruppe, sowie Pferde verschiedener Rasse und Alters möglich gewesen. Teilweise wäre dies sogar ein Vorteil gewesen, denn ältere Pferde wären in der Regel bereits daran gewöhnt gewesen, dass ihnen Geschirrtteile oder ähnliches angelegt werden. Die verwendete Pferdegruppe war absolut untrainiert, und zu Beginn der Untersuchung noch nicht einmal das Tragen eines Stallhalters gewohnt. So mussten sie erst über einen längeren Zeitraum darauf trainiert werden, Pedometer an den Beinen sowie Gurte um den Körper zu tragen. Möglicherweise waren die jungen Pferde jedoch auch aufgeschlossener neuen Dingen gegenüber, da sie noch keine schlechten Erfahrungen im Umgang mit Menschen gemacht hatten. Was jedoch sehr zum Tragen kam, war die Neugier und der stark ausgeprägte Spieltrieb der jungen Tiere (MCDONNELL und POULIN 2002). So kam es sehr oft zu Beschädigungen der Gurte und Halterungen durch Verbiss, Wälzen und Reiben an Stalleinrichtungen. Auch der personelle Aufwand, um die Pferde davon abzuhalten, ihre Messgeräte zu zerstören, war mutmaßlich sehr viel höher, als er bei älteren Pferden gewesen wäre. Andererseits zeigten die jungen Pferde deutlich mehr gespieltes Bewegungsverhalten als ältere, und auch Liegevorgänge sind bei jungen Pferden laut Literatur vermehrt zu erwarten (ZEEB 1998). FRENTZEN (1994) ermittelte einen Zusammenhang zwischen dem Alter von Pferden und deren täglich zurückgelegter Wegstrecke. Daher kann es unter dem Strich als positiv bewertet werden, so junge Pferde eingesetzt zu haben, da diese ein breiteres Verhaltensrepertoire zeigten, das mittels der verschiedenen Messmethoden erfasst werden konnte. Um tatsächliche Rückschlüsse auf das Verhalten der Pferde in einer Gruppen-Auslaufhaltung zu ziehen, wäre eine praxisnahe Auswahl der Versuchspferde ratsam, also beispielsweise Pferde, welche regelmäßig zur Nutzung

(z.B. Reiten) herangezogen werden, weiterhin Pferde mittlerer und älterer Altersgruppen.

5.1.3 Zeitraum/Datenmenge/Stichprobenumfang

Die Untersuchungen liefen über jeweils neun 24-Stunden-Intervalle. Diese wurden ausgewählt, um einen guten Überblick über das Verhaltensinventar eines Pferdes über den gesamten Tag zu bekommen. Zum Einen wollte man aber auch herausfinden, welche Methode am besten geeignet ist, wirklich 24 Stunden am Stück zu erfassen. Auch musste evaluiert werden, ob datenintensive Messmethoden wie die Funkortung einem längeren Messintervall gewachsen sind, ohne dass es zu Datenstau, Verarbeitungsfehlern oder gar Datenverlusten kommt. Die Stichprobenmenge umfasst neun 24-Stunden-Intervalle, also insgesamt 216 Beobachtungsstunden, welche mit den jeweils fünf Messmethoden Direktbeobachtung, Videobeobachtung, ALT-Pedometer, GPS und Funkortung ausgewertet wurden. Hierbei kamen teils sehr große Datenmengen zustande (Funkortung), teils weniger (Direktbeobachtung wurde nur vier Stunden pro 24-Stunden-Intervall durchgeführt), und teils sehr wenige Daten (GPS, bedingt durch Totalausfälle). Sicherlich wäre es erstrebenswert, eine größere Anzahl von Intervallen auszuwerten. Dies war aber zum Einen begrenzt durch den personellen Aufwand, welcher betrieben werden musste um die in der Gruppe laufenden Pferde zu beaufsichtigen, damit die Messgeräte nicht beschädigt wurden. Zum Anderen konnten nur Intervalle verwendet werden, in denen die Datenaufzeichnung größtmöglich vollständig war und es nicht zu längeren Aussetzern eines der Systeme kam. Daher wurden auch keine Vergleiche der einzelnen Pferde untereinander berücksichtigt, sondern alle Daten in einen Stundenpool unterschiedlicher Pferde verwandelt. Aus diesem Grund konnten keine Aussagen zu charakterlichen Verhaltensunterschieden der einzelnen Pferde getroffen werden, was sicher für zukünftige Untersuchungen berücksichtigt werden muss.

Auch die Auswertung der Videoaufnahmen war ein limitierender Faktor, da aufgrund der Komplexität der ausgewerteten Faktoren der Zeitaufwand zur Auswertung sehr hoch war und, wie bei der Direktbeobachtung, etwa der Echtzeit der Aufzeichnungen entsprach. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass unter „Zeitaufwand“ auch die Vor-

und Nachbereitungszeiten gerechnet werden müssen, welche sehr umfangreich waren. Insbesondere der technische Aufbau der Funkortung, die Wartung sämtlicher Geräte und das Training der Pferde machten einen sehr großen Zeitaufwand aus. Insgesamt wurde über ein Jahr der Versuchszeit darauf verwandt, das Funkortungssystem aufzubauen und von der LKW-Anwendung auf eine Anwendung als Prototyp im Tierbereich, im Speziellen am Pferd, umzurüsten.

5.2 DISKUSSION DER ANGEWENDETEN METHODEN

5.2.1 Anwendbarkeit der Systeme in Abhängigkeit örtlicher Gegebenheiten

Ein wichtiger Punkt der Methodenwahl ist die genaue Beleuchtung der örtlichen Gegebenheiten. Fast jede Methode der Verhaltensbeobachtung ist örtlich beschränkt. Zum einen bestehen eine Abhängigkeit von geographischen und logistischen Strukturen, aber auch von Wetter, Lichtbedingungen, Bewachung (im Freilandversuch), sowie Bebauung und stallzugehörigen Einrichtungen (im Stallversuch).

Betrachtet man hier zunächst die Direktbeobachtung, so ist diese als örtlich relativ unabhängige Methode einzustufen. Ist das Habitat einer frei lebenden Tiergruppe, beziehungsweise das Gehege einer domestizierten Herde, frei zugänglich und übersichtlich, so ist eine Direktbeobachtung jederzeit möglich. Voraussetzung hierfür ist, dass die Tiere entweder an den Beobachter gewöhnt wurden, oder dieser sich in einer nicht sichtbaren, nicht zu witternden Position befindet, aus welcher er einen guten Überblick über das Gesamtverhalten der untersuchten Tiere, oder aber einzelner Verhaltensweisen bekommt (HOY 2009). Soll beispielsweise ausschließlich das Tränkeverhalten untersucht werden, so kann sich der Untersucher gut in der Nähe der Tränke positionieren. Als limitierende Faktoren einer Direktbeobachtung, was örtliche Gegebenheiten angeht, sind in erster Linie menschliche Faktoren zu berücksichtigen. So kann ein Mensch unter extremen klimatischen Bedingungen beispielsweise nicht unbegrenzt ausharren, und nicht immer lässt sich ein guter Beobachtungspunkt finden. Im vorliegenden Versuch war die Ausgangslage für die Direktbeobachtungen aus örtlicher Sicht sehr gut: Es stand ein regen- und windgeschützter Beobachtungspunkt zur Verfügung, welcher nah an den Tieren war,

sich aber außerhalb des beobachteten Geländes (Weide) befand. Es war eine gute Einsicht des gesamten beobachteten Gebietes gegeben, ohne dass die Tiere durch die Anwesenheit der Beobachter in ihrem natürlichen Verhalten gestört wurden. Die Methode der Direktbeobachtung lieferte gute Ergebnisse. Jedoch war sie sehr aufwendig und es konnten nicht immer alle Details erfasst werden. Sobald viele Details innerhalb kurzer Zeit auftraten, war die korrekte Erfassung nicht mehr gewährleistet, obwohl pro Untersucher nur ein Tier beobachtet wurde. Eine Wiederholung von Verhaltensweisen war nicht möglich, verpasste Aktionen sind bei der Direktbeobachtung nicht reproduzierbar (HOY 2009). In manchen Situationen, beispielsweise wenn die Pferde in schnellem Galopp die Weide überquerten, war es schwierig, Veränderungen des Aufenthaltssektors zeitgenau zu erfassen, da der Wechsel so schnell von statten ging. Die Erfassungsmodalitäten auf der Weide konnten nicht übermäßig aufwendig gestaltet werden, da beispielsweise Aufenthaltszonen nicht immer klar ersichtlich waren. Daher beschränkte sich die Erfassung lediglich auf die Aufenthaltszone und den dort eingenommenen Bewegungszustand. Weiterhin wurde die Direktbeobachtung durch die beobachtenden Personen, und die Reaktionen der Tiere auf selbige teilweise trotz völliger Passivität verfälscht. Hier kommt wiederum zum Tragen, dass Tiere bei einer Direktbeobachtung ihre Untersucher weder sehen, noch hören, noch riechen sollten, um Beeinflussungen auszuschalten (NAGUIB 2006; HOY 2009). Die Direktbeobachtungen hätten von einem Ort aus durchgeführt werden müssen, an welchem die Pferde die Beobachter weder sehen noch wittern konnten. Dies war jedoch aus technischen und geografischen Gründen nicht machbar. Daher hielten sich die Stuten gelegentlich in der Nähe der Beobachter auf. Für eine Untersuchung, welche statt der Methodik das tatsächliche Verhalten der Pferde thematisiert, sollten diese Aspekte berücksichtigt werden. Bei der vorliegenden Untersuchung ging es lediglich um eine Überprüfung der Messmethoden, daher ist dieser Mangel als weniger schwerwiegend einzustufen.

Für die Erstellung von Videobeobachtungen ist man örtlich schon etwas beschränkter. Es können nicht sofort, zu jeder Zeit, Beobachtungen durchgeführt werden. Man ist zunächst davon abhängig, Videokameras an wichtigen Stellen zu befestigen. Hierfür ist vor allem die elektrische Versorgung essentiell, was einen stark limitierenden Faktor darstellt. Ist Elektrizität nicht vorhanden, so müssen eventuell

Kabel verlegt werden, was unter Freilandbedingungen problematisch sein kann, oder aber es muss Elektrizität in Form von aufladbaren Komponenten vorhanden sein. Hier wiederum ist man meist durch Größe und Arbeitsdauer der Speicher eingeschränkt. Weiterhin ist dafür zu sorgen, dass stets eine ausreichende Helligkeit vorhanden ist, oder aber Nachlichtkameras verwendet werden. Ecken und schlecht einsehbare Bereiche müssen besonders gut ausgeleuchtet sein. Dies wiederum kann jedoch die Tiere in ihrem natürlichen nächtlichen Verhalten beeinflussen (HOFFMANN et al. 2007), weshalb es unter Umständen sinnvoll sein kann, Infrarot- oder Restlichtkameras zu verwenden (HOY 2009). Auch eine gute Unterscheidbarkeit der vorhandenen Tiere muss gegeben, und alle Bereiche von Interesse müssen ausreichend einsehbar sein. Im Rahmen der Untersuchung konnten die Bedingungen für erfolgreiche Videoaufnahmen nicht immer gewährleistet werden. Hier kam vor allem zum Tragen, dass auf der Weide keine Kameras installiert werden konnten. Daher wurde diese Zeit des Tages, vier Stunden, durch Direktbeobachtungen überbrückt. Im Stall waren alle sichtbaren Bereiche durch Videokameras abgedeckt, jedoch war die Sicht häufig in den Nachtstunden eingeschränkt, vor allem wenn die Tiere sich dicht beieinander aufhielten. Die blondierten Markierungen der Tiere waren meist nach einigen Wochen auf den Kameras schlechter zu sehen, bedingt durch anhaftenden Schmutz, und mussten häufig erneuert werden. Kameras in den Außenbereichen zeigten bei bestimmten Witterungsbedingungen manchmal eine beschlagene Scheibe, weiterhin kam es zu Störungen durch Spinnen/Spinnenweben, Sichteinschränkungen durch starken Regen, Nebel, oder durch starken Wind verursachten Bewegungen der Kameramasten. Die Daten aus der Video-Auswertung dienten für die anderen erhobenen Daten als so genannter Gold-Standard zur Überprüfung ihrer Genauigkeit. Mittels Video-Analyse konnte präzise ermittelt werden, wann genau sich ein Pferd in welchem Bereich des Stalles aufhielt, und welchen Zustand es dort einnahm. Die häufig sehr unübersichtlichen und schnellen Ereignisse, von mehreren Pferden gleichzeitig in einer Gruppe, konnten beliebig oft wiederholt oder verlangsamt abgespielt werden, was eine Auswertung sehr erleichterte (HOY 2009). Gleichzeitig verlangsamte dieser Umstand jedoch auch die Auswertungsdauer. Die Video-Analyse kann daher bei weitem als die zeitaufwändigste, aber auch als detaillierteste und genaueste Methode gewertet werden. Vor allem wenn, wie in der vorliegenden

Untersuchung, über lange Zeiträume komplizierte Kombinationen von Aufenthaltsort und Bewegungszustand ermittelt werden, ist auch die computerassistierte Verhaltensauswertung sehr aufwändig (POURVOYEUR et al. 2006).

ALT-Pedometer sind nahezu an jedem Ort einsetzbar, sowohl in Stallbereichen, als auch in Außenbereichen. Limitierender Faktor ist hier das regelmäßige Auslesen der Geräte, wozu eine Auslesestation mit entsprechender Datenverarbeitung vor Ort sein muss, was wiederum Elektrizität und Schutz der Geräte vor Witterungsbedingungen voraussetzt. Sollte das nicht der Fall sein, muss gewährleistet werden, dass die Geräte regelmäßig manuell, z.B. per Laptop und Antenne vor Ort ausgelesen werden können. Weiterhin muss ein reibungsloses Auslesen der Daten gewährleistet sein, es dürfen keine metallischen Gegenstände oder sonstige Bauten den Empfang der Antenne zu den ALT-Pedometern behindern. Im Freiland, bei Wild- oder extensiv gehaltenen Tieren, ist dafür zu sorgen, dass die Tiere nah genug an eine Auslesestation herankommen, was beispielsweise durch die Anbringung im Fress- oder Tränkebereich gewährleistet werden kann. Ein weiterer Aspekt, welcher den örtlichen Gegebenheiten zugehörig ist, ist die Beschaffenheit des Untergrundes. Handelt es sich um sehr schlammige, nasse oder sandige Böden, so können sich zwischen den Beinen des Tieres und der Befestigung des ALT-Pedometers Bodenbestandteile sammeln und Scheuerstellen verursachen. Dies muss regelmäßig kontrolliert werden, was bei wilden oder halbwilden Tieren schwierig ist. Im vorliegenden Versuch konnten die ALT-Pedometer problemlos unter den örtlichen Gegebenheiten genutzt werden. Die Auslesestation wurde unter dem Stalldach befestigt, so dass ein guter Empfang gewährleistet war, die Datenverarbeitung fand in einem Container neben dem Stallgebäude statt. Ausschließlich während die Tiere auf der Weide waren, konnten die Geräte nicht ausgelesen werden, was jedoch durch den integrierten Speicher überbrückt werden konnte. Ein Problem war, dass die Pferde sich häufig auf den mit Sand eingestreuten Paddocks aufhielten, so dass sich oft Sand unter den Geräten ansammelte. Wurde dieser nicht regelmäßig entfernt, kam es schnell zu schmerzhaften Scheuerstellen, welche als Eindringpforte für Keime bei Pferden große Bedeutung für die Entstehung einer Unterhautphlegmone (sog. „Einschuss“) haben.

Der Einsatz der GPS-Technologie ist in der Regel von freier Sicht zu den entsprechenden Satelliten abhängig. Dazu ist ein freier Himmel nötig, welcher nicht durch Bebauungen oder starken Baumwuchs blockiert ist. Insbesondere sehr dichter Wald und nasse Blätter können einen Empfang verschlechtern oder verhindern. Auch im Innenbereich ist das System kaum nutzbar. Zur Nutzung von GPS müssen keine großen Aufbauten getroffen werden. Handelsübliche Geräte können einfach an einer Infrarotschnittstelle an jedem PC ausgelesen werden. Lediglich die Betriebsdauer des Gerätes an sich gebietet hier Limitierungen, insbesondere wenn mit Wildtieren gearbeitet wird. In der vorliegenden Untersuchung wurde nur ein GPS-Gerät genutzt. Dieses hatte stets sehr schlechten Empfang, auch in den offenen Stallbereichen, was zur Folge hatte dass es sich permanent ausschaltete. Vermutlich wurde dies dadurch bedingt, dass die Tiere häufig zwischen Außen- und Innenbereichen wechselten und somit das GPS-Signal verloren. Daraufhin schaltete sich das Gerät aus Energiespargründen aus. Auch auf der Weide war das Signal gestört, was vermutlich dadurch zustande kam, dass die Weide von hohen, dichten Bäumen umgeben war, in deren Nähe sich die Tiere häufig aufhielten. Dies bestätigte die Hypothese von VOSSIEK (2005) und ROTH (2005), dass GPS in Innenbereichen und stallnahen Gebieten nicht nutzbar ist.

Die Technik der Funk-Ortung arbeitet relativ unabhängig von äußeren Faktoren (VOSSIEK *et al.* 2005). Sie ist einsetzbar trotz verschiedener Witterungsbedingungen; Regen, Schnee, Hagel, Wind oder Nebel bereiten ihr keine Probleme, ebenso wie Sonnenlicht. Auch Gegenstände können von Funkwellen durchdrungen werden, Bauten aus Holz beispielsweise stellen keine Barrieren dar. Lediglich sehr nasse Dinge (z.B. Blätter) können zu Reflektionen führen, ebenso wie alle metallischen Bestandteile. Dies ist, insbesondere in Stallbereichen, wo sehr viele metallische Dinge vorhanden sind (Abb. 98), ein stark limitierender Faktor.



Abbildung 98: Metallgegenstände, wie hier die Umzäunung der Paddocks oder die mit Metall ummantelten Holzbalken, können durch Reflektionen zu Fehlmessungen führen.

Weiterhin muss zunächst eine aufwendige Infrastruktur vor Ort erstellt werden. Es müssen Transponder an geeigneten Stellen montiert werden, was wiederum elektrische Versorgung und geeignete Befestigungspunkte verlangt. So waren vor Ort in Braunschweig beispielsweise die Bäume, welche die Weide umgaben, aus technischen Gründen nicht für eine Befestigung der Transponder geeignet, weshalb eigens Masten aufgestellt und aufwendig Erdkabel verlegt werden mussten (Abb. 99). Hierbei sind je nach Gelände errechnete Mindesthöhen einzuhalten, um im Bereich der Messungen in der Höhenachse (z) akzeptable Messwerte zu erhalten. Um bessere Ergebnisse zu erhalten, hätten die aufgestellten Masten jedoch deutlich höher sein müssen, was aber technisch vor Ort nicht lösbar war. Weiterhin war es nötig, die aufgestellten Holzmasten aufwendig vor Verbiss und sonstigen Beschädigungen durch die Tiere zu schützen, was durch eine Abspannung mit Elektrozaun erreicht wurde.



Abbildung 99: Für den Aufbau der Funkortungsanlage mussten aufwendig Masten errichtet und Erdkabel verlegt werden, wofür spezielle Geräte notwendig waren.



Abbildung 100: Pferde beim Weidegang, mit den Basisstationen im wetterfesten Gurt.

Die zu ortenden Basisstationen mussten schließlich wetterfest und schmutzbeständig verpackt am Pferd angebracht werden (Abb. 100), was aber wiederum den Empfang nicht beeinträchtigen durfte.

5.2.2 Umsetzbarkeit im Tierbereich und Tiergerechtigkeit

Die Methode der Direktbeobachtung ist als eine sehr tiergerechte Methode einzustufen, da sie – richtig geplant und durchgeführt - die Tiere in keiner Weise beeinträchtigt. Dies setzt jedoch voraus, dass die zu beobachtenden Tiere durch die Anwesenheit der Beobachter nicht beeinflusst werden (NAGUIB 2006; HOY 2009). In der Regel genügt es, wenn die Tiere an die Gegenwart der Untersucher gewöhnt sind und diese sich nicht in unmittelbarer Nähe des Tierbestandes befinden. Um wirklich alle Einflüsse auszuschließen, welche durch den Menschen auf das Tier verübt werden, vor allem auch bei der Beobachtung von Wildtieren, sollte aber sicher gewährleistet sein, dass die Tiere den Menschen weder sehen noch wittern können (HOY 2009). In der durchgeführten Direktbeobachtung konnte dies nicht gewährleistet werden. Durch den starken Bewuchs in der Umgebung der Weide, auf welcher die Direktbeobachtungen durchgeführt wurden, wurde der Beobachtungsstandpunkt an der unmittelbaren Weidegrenze gewählt. Die jungen, sehr neugierigen Stuten ließen sich vereinzelt kurz von der Anwesenheit der beobachtenden Personen beeinflussen und erschienen am Zaun. Dies wurde noch weiter dadurch forciert, dass die beobachtenden Personen den Stuten gut bekannt waren und sie von ihnen Leckerbissen oder Streicheleinheiten erwarteten. Durch die Gewöhnung an die Anwesenheit von Personen an der äußeren Weidegrenze konnte es aber weitgehend vermieden werden, dass sich die Pferde über längere Zeit an dieser Stelle aufhielten.

Auch die Videobeobachtung ist als sehr tiergerecht einzustufen. Sobald die Installation von Videokameras abgeschlossen ist, sind keine Störungen der Tiere durch den Untersucher mehr zu erwarten (HOY 2009). Videokameras arbeiten außerhalb des direkten Lebensbereiches der Tiere, geräuschlos und in der Regel ohne bedeutende optische Signale, so dass die Tiere dadurch keine Beeinflussung erfahren. Lediglich an eine eventuell benötigte Nachtbeleuchtung müssen die Tiere

gewöhnt werden, was jedoch durch eine Verwendung von Infrarot-Geräten vermieden werden kann. Nötige Wartungsarbeiten, Videokassetten- oder Speichermedienwechsel bzw. Datensicherung können in der Regel in zugehörigen technischen Stationen durchgeführt werden. Einzig Reinigungs- und Reparaturarbeiten an vorhandenen Videokameras können die Tiere beeinflussen und eine Störquelle im natürlichen Verhalten darstellen. In der durchgeführten Untersuchung wurden Wartungsarbeiten an den Geräten durchgeführt, wenn die Pferde sich nicht im Stall befanden und sich auf der Weide aufhielten. Datenverarbeitung und – Sicherung fanden in einem dem Stall angegliederten, außerhalb liegenden Container statt, wodurch die Pferde nicht in ihrem Verhalten beeinflusst wurden. Die Einsetzbarkeit von Videoaufnahmen zur Verhaltensanalyse im Tierbereich ist gut, jedoch muss beachtet werden, welche Verhaltensmuster genau beobachtet werden sollen. Teilweise können Videoaufnahmen zu unübersichtlich sein oder wichtige Details nicht zeigen, wenn beispielsweise kleine Tiere übereinander liegen oder ein Verhalten von Vokalisationen begleitet wird (HOY 2009). Gerade aber bei komplizierten Verhaltensmustern ist diese Technik als sehr vorteilhaft anzusehen, da Szenen beliebig oft wiederholt und angesehen werden können, um ausgewertet zu werden. Vor allem im gelaufenen Versuch erwies sich dies als sehr vorteilhaft, da die Pferde oft viele Aktionen in kurzer Zeit durchführten, wie beispielsweise ein häufiges Wechseln der Aufenthaltszone in verschiedenen Gangarten. Auch gab es viele unübersichtliche Szenarien, wenn alle sechs Pferde auf engem Raum beieinander standen und interagierten, wie dies häufig im Bereich der Fressstände der Fall war.

Die Verwendung von ALT-Pedometern im Tierbereich ist einfach und effizient. Die Geräte sind klein, leicht und in der Lage viele Messdaten zu speichern, was Aktivität und Liegeverhalten betrifft. Zunächst muss jedoch eine Gewöhnung der Tiere an die Geräte erfolgen, was im Speziellen beim Pferd als Fluchttier einiges an Zeit bedarf. Pferde können auf Neues mit unkontrollierter Panik reagieren, daher muss die Gewöhnung langsam und vorsichtig erfolgen. Bei den Versuchspferden kam als zusätzliches Problem hinzu, dass diese weder den Kontakt mit Menschen noch mit Gegenständen, welche an Beinen angebracht werden, kannten. Ein normales, erfahrenes Reitpferd ist durch den Einsatz von Ausrüstungsgegenständen wie Bandagen, Gamaschen oder Sprungglocken bereits an das Anbringen von Objekten

am Bein adaptiert und kennt das Gefühl, wenn es das Bein bewegt. Die Versuchspferde wurden daran gewöhnt, sich Pedometer an- und abbauen zu lassen, diese dauerhaft zu tragen und eine tägliche Kontrolle über sich ergehen zu lassen. Dies wurde an allen vier Beinen trainiert, um auch für die Untersucher das Anbringen möglichst gefahrlos werden zu lassen. In der Literatur wird in der Regel empfohlen, Pedometer bei Pferden am Vorderbein anzubringen, da am Hinterbein eine Gefahr durch Austreten besteht. Jedoch wird auch darauf hingewiesen, dass eine Anbringung am Vorderbein Aktivitäten vortäuschen kann (BREHME et al. 2006; HOFFMANN 2008). Bei den Stuten des Versuches wurden im Hauptversuch Pedometer an allen vier Beinen angebracht, um mehr Messwerte zu erhalten und eventuelle Unterschiede zwischen der Anbringung am Vorder- oder Hinterbein herauszuarbeiten. Durch intensives Training wurde die Gefahr für die Untersucher, bei der Anbringung der Pedometer verletzt zu werden, weitgehend minimiert. Auch wurden Kontrollen und Manipulationen stets zu zweit durchgeführt, so dass eine Person am Pferdekopf zu stehen kam und dort entsprechend auf das Tier einwirken konnte. In Bezug auf die Tiergerechtheit können ALT-Pedometer bei entsprechenden Voraussetzungen als gut beurteilt werden. Es ist jedoch darauf zu achten, dass zum einen eine vorherige ausreichende Gewöhnung stattfand. Zum anderen müssen die Geräte adäquat befestigt werden, so dass sie nicht zu fest oder zu locker sitzen, auch eine ausreichende Unterpolsterung sollte vorhanden sein, welche jedoch wiederum vor den Tieren geschützt werden muss, ebenso wie die Geräte an sich. Durch die Tiere kann es zu Verbiss kommen, vor allem an den Vorderbeinen oder wenn andere Pferde an ihren Artgenossen herumspielen. In der Praxis kam es häufig vor, dass Polstermaterial abgekaut wurde, weshalb im späteren Versuchsverlauf darauf verzichtet wurde. Als der belohnende Effekt fehlte, Teile abreißen zu können, wurden die Pedometer weitgehend in Ruhe gelassen. In einem Fall löste sich eine Befestigung nach einem Tritt einer anderen Stute gegen das Gerät. Durchschnittlich ein bis zwei Mal pro Monat musste ein Gerät zur Reparatur eingereicht werden. Hier war es in den meisten Fällen zu Kabelbrüchen und Defekten an Lötstellen gekommen, welche in der Regel durch Schlagwirkungen auf das Gerät entstehen. Der Hersteller der ALT-Pedometer vermutete, dass die Pferde ihre Beine an der metallischen Umzäunung anschlagen, was jedoch nur selten beobachtet werden konnte. Die genauen Ursachen der Pedometer-Ausfälle konnte nicht gefunden

werden. Vermutlich sind Pedometer im Pferdebereich anderen Belastungen (vor allem Stoßwirkungen) ausgesetzt als im Rinderbereich, wofür sie ursprünglich konstruiert wurden (Abb. 101).



Abbildung 101: Die Pedometer waren im Pferdebereich verschiedenen Belastungen ausgesetzt, beispielsweise durch Anschlagen der Beine an die Umzäunung oder an die Tränke, sowie Verbiss durch das tragende Pferd oder Herdenmitglieder.

Ein großer Zeitfaktor in der Benutzung der Geräte war die tägliche Kontrolle und Reinigung der Pferdebeine. Unter den Pedometern und ihren Befestigungsbändern sammelten sich Schmutz und vor allem Sandpartikel, welche einen stark reibenden Effekt hatten. Wenn das Pedometer zu eng befestigt wurde, kam es schnell zu Scheuerstellen, vor allem bei den Pferden mit weißen Beinen, welche empfindlicher sind als pigmentierte Hautpartien. Vereinzelt mussten aus diesem Grund Pedometer abgenommen werden. Bei einem Pferd schwoll nach einer kleinen Verletzung (pedometerunabhängig) das gesamte Bein stark an, weshalb das Pedometer entfernt werden musste, da es zusätzlich die Blut- und Lymphzirkulation behinderte. Im Hauptversuch konnte dies aber verhindert werden, da durch besonders häufige Kontrollen aller vier Beine keine Scheuerstellen auftraten.

Daraus ist zu schließen, dass ALT-Pedometer beim Pferd nur unter strenger Überwachung eingesetzt werden dürfen, da diese deutlich empfindlicher auf Scheuer- und Druckstellen reagieren und zum so genannten „Einschuss“ neigen, einer Entzündung der Unterhaut welche mit starker Schwellung einhergeht. Weiterhin werden Pferde in der Regel sportlich genutzt, und durch die Lage des Pedometers am Pferdebein, nahe an den empfindlichen Sehnenstrukturen (oberflächliche und tiefe Beugesehne, Fesseltrageapparat), Fesselgelenk und Griffelbeinen, ist besondere Sorgfalt in der Anwendung zu tragen, da Verletzungen in diesem Bereich

nicht selten mit einer Unbrauchbarkeit des Tieres einhergehen (eigene Erfahrungen aus der Praxistätigkeit als Tierärztin in einer Pferdepraxis).

Der Einsatz von GPS im Tierbereich ist zunächst abhängig von der Größe der Geräte und deren Befestigungsmöglichkeiten. Zur Beobachtung von Wildtieren sind GPS-Halsbänder verfügbar, welche die Tiere nur wenig stören. Sogar kleinere Tiere wie Tauben können problemlos mit einem GPS-Sender ausgestattet werden (BIRO et al. 2002). In der Überwachung von größeren Habitaten oder extensiv gehaltenen Weidetieren liefert GPS wertvolle Hinweise (RUTTER et al. 1997; TURNER et al. 2000; GANSKOPP 2001; HULBERT und FRENCH 2001; WELTZIEN 2002; BRAUNREITER et al. 2007; COELHO et al. 2007; PUTFARKEN et al. 2008).

Pferde betreffend, lässt sich GPS besonders gut im Sportbereich einsetzen, wenn Geländestrecken zu überwinden sind, wie beispielsweise in der Vielseitigkeit oder im Fahrspport. Hier sind vor allem die zurückgelegten Strecken und Geschwindigkeiten interessant, und es bietet sich an, diese im Zusammenhang mit einer Herzfrequenzmessung durchzuführen (DAHLKAMP 2003; LIEBETRAU 2004; HEBENBROCK 2005). Die in diesen Untersuchungen genutzten GPS-Geräte entsprachen denen im vorliegenden Versuch (Firma Polar). Die Befestigung fand in einem Bauchgurt statt, da das Gerät dafür ausgelegt ist, auch die Herzfrequenz zu erfassen. In der Regel wird der Gurt also von Sportpferden unter dem Sattel oder unter dem Geschirr getragen und dadurch fixiert. Auch besteht keine Gefahr, dass die Tiere den Gurt durch Verbiss beschädigen. Während der für diese Arbeit durchgeführten Untersuchungen wurde der GPS-Gurt jedoch allein getragen, bzw. zusätzlich zu dem Gurt, in welchem die Funkortungstechnik befestigt war. Hier rutschte er häufig, drehte sich am Pferd und Teile gingen verloren. Durch starkes Schwitzen unter dem Gurt könnte es bei dauerhafter Anbringung zu Hautirritationen kommen, weiterhin führte das starke partielle Schwitzen zu Juckreiz, was beim Pferd in der Regel einen Wälzvorgang auslöst. Häufig musste die Lage des Gurtes nach einem Wälzvorgang korrigiert und Schmutzpartikel darunter entfernt werden. Auch bietet der Gurt keinerlei Schutz der Geräte vor den Tieren und kann absolut nicht unbeaufsichtigt getragen werden. Hier wäre es wahrscheinlich besser gewesen, ein robustes GPS-Halsband für den Einsatz bei Wildtieren einzusetzen. Darauf wurde jedoch bewusst verzichtet, da die Haltbarkeit von Halsbändern bei Pferden, aufgrund

der im Gegensatz zum Rind geringer ausgeprägten Kopfbreite, relativ gering ist. Halsbänder können leicht von den Tieren über die Ohren gestülpt werden. Befestigt man sie so eng, dass das nicht möglich ist, so ist die Verletzungsgefahr für das Pferd zu groß, falls es sich mit dem Halsband in einer Stalleinrichtung verfängt, da Pferde in solchen Situationen zu starker Panik mit Strangulationsgefährdung neigen. Das Tragen von Halsbändern wäre besser auf der Weide möglich, da hier keine so großen Gefahren durch Hängenbleiben bestehen. Was die Tiergerechtheit angeht, so kann von geringer Eignung gesprochen werden. Pferde, welche einen GPS-Gurt tragen, können weder ungestörtes Normalverhalten zeigen, noch können sie unbeaufsichtigt bleiben. Das wiederum impliziert die ständige Anwesenheit eines Menschen, welcher das Verhalten stört, vor allem wenn er ständig eingreifen und die Geräte am Pferd korrigieren oder die Tiere maßregeln muss.

Beim Einsatz der *Funk-Ortung* war eine absolut begrenzende Eigenschaft die Größe und das Gewicht der Geräte. Ebenso wie das GPS-System mussten die Geräte, bestehend aus Basisstation, Antenne und zwei großen Akku-Paketen, sicher verpackt in Gurten am Pferd angebracht werden. Diese mussten zunächst, speziell passend für die Geräte und den Einsatz am Pferd, aus extrem reißfestem und trotzdem gut gepolstertem und hautfreundlichem Material konstruiert werden. Das Gesamtgewicht der Konstruktion, inklusive der Geräte, betrug 3 kg. Dies allein stellte bei einem Körpergewicht der Pferde von rund 500 kg keine Beeinträchtigung dar. BLANC und BRELERUT (1996) konnten nachweisen, dass an einem Tier angebrachte Technik dieses nicht stört, wenn sie unter 2 % dessen Körpergewichtes wiegt. Jedoch konnten die Autoren weiterhin herausarbeiten, dass außerdem die Prämisse gegeben sein muss, dass die Technik das Tier nicht mechanisch stört. Für den vorliegenden Versuch galt hier, dass die Tiere nicht unbeaufsichtigt ihrem Normalverhalten nachgehen konnten, da die Gefahr für die technischen Geräte viel zu groß war. Häufig wurden vom Gurt Teile abgerissen oder beschädigt, sowie musste nach Wälzvorgängen der Sitz manchmal korrigiert werden. Ein sehr nervöses Tier, die ranghöchste Stute, konnte trotz vieler Übungen nicht daran gewöhnt werden, einen Gurt zu tragen. Einer anderen Stute gelang es einmal, sich aus dem kompletten Gurt zu befreien, was wahrscheinlich dadurch bedingt war, dass die schweren Akku-Pakete im vorderen Bereich befestigt waren und der Gurt beim Grasens nach vorne gerutscht war, woraufhin er komplett über den Kopf des Pferdes

rutschte. Dies war jedoch ein Einzelfall, im Großteil zeigte der Gurt eine gute Stabilität und Drehbeständigkeit, die Geräte wurden nicht beschädigt und jedes Ausrüstungsteil blieb an seinem Platz. Als zusätzliche Absicherung gegen ein Verrutschen nach vorne könnte noch ein Schweifriemen angebracht werden, was aber zusätzliche Angriffsfläche für die anderen Pferde und zusätzliche Verhaltensbeeinflussung für das tragende Pferd bedeuten würde. Ein großer Nachteil der Funkortung war jedoch die Größe der Geräte, welche den großen Gurt nötig machten und in jedem Fall eine stetige mechanische Behinderung der Pferde beinhalteten (BLANC und BRELERUT 1996). Es wäre wünschenswert, deutlich kleinere Geräte nutzen zu können, um den Pferden ein ungestörtes Normalverhalten zu ermöglichen. Hier ist vor allem die Größe der Basisstation zu nennen, welche gemeinsam mit der Antenne am Widerrist angebracht wurde, da hier der beste Empfang zu erwarten und der aussagefähigste Punkt für Liegevorgänge lokalisiert war. Damit die dort liegenden Strukturen, vor allem die Wirbelsäule, des Pferdes nicht verletzt werden, wenn ein Tier sich darauf legt oder darüber rollt beim Wälzen, mussten die Geräte gut gepolstert werden, was eine zusätzliche Volumenvergrößerung zur Folge hatte. Durch die Größe des Gurtes bedingt, kam es teilweise zu einer Einschränkung des Komfortverhaltens der Tiere, da sie sich nicht richtig kratzen konnten, der Gurt bei der gegenseitigen sozialen Fellpflege und dem Beknabbern am Widerrist störte, und sie auch beim Wälzen häufig irritiert waren. Vor allem das Rollen über den Rücken war durch die Anbringung der großen Basisstation am höchsten Punkt des Widerristes stark erschwert. Wie auch bei den GPS-Gurten kam es zur Ansammlung von Schweiß und Schmutz unter dem Gurt. Vereinzelt erlitten die Pferde dadurch Abschürfungen der Haut, vor allem im Bereich der empfindlichen Haut hinter dem Ellbogen. Auch das Verhalten der Stuten innerhalb der Pferdegruppe war beeinträchtigt. Nur drei der sechs Pferde trugen jeweils einen Gurt, weshalb diese drei Pferde teilweise vermehrt von den anderen Gruppenmitgliedern belästigt und bedrängt wurden, welche an den Gurten kauten und rupften. Diese zielgerichtete Aggression (Abb. 102) stellte vor allem für das rangniedrigste Pferd der Herde, welches sich sonst häufig von der Gruppe absonderte, eine enorme Stresssituation dar. Auch die beiden Akkupakete, welche zur besseren Gewichtsverteilung rechts- und linksseitig des Halses zum Liegen kamen, müssen in Zukunft dringend verkleinert werden. Die Dimensionen der

elektrischen Versorgung mussten derzeit so groß gewählt werden, um eine sichere Versorgung der Geräte über die gesamte 24-Stunden-Episode zu gewährleisten. Mit einer zukünftigen Verkleinerung der Geräte sollte hoffentlich auch der Elektrizitätsbedarf minimiert werden können.



Abbildung 102: Zielgerichtete Aggression gegen Gegenstände an einem rangniederen Pferd, hier: gegenüber einem Transponder-Halsband.

Weiterhin wäre noch zu hinterfragen, ob die Nutzung von Funkwellen in unmittelbarer Nähe des Tierkörpers eine Auswirkung auf die Gesundheit der Tiere haben könnte. In einer Studie an Rindern, welche in der Nähe von Mobilfunkanlagen aufgestallt waren, konnten signifikante Stressreaktionen der Tiere nachgewiesen werden (WENZEL et al. 2002). Dies ist jedoch nicht Gegenstand der Arbeit und bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten. Subjektiv betrachtet waren die Pferde bereits durch das Tragen der Gurte und die ständige Anwesenheit der Menschen deutlich gestresst, was jedoch nicht durch geeignete Methoden, wie beispielsweise Cortisol-Messungen im Kot (HOFFMANN 2008), nachgewiesen wurde. Spezifische Stressreaktionen wie Unruhe und Unwohlsein (ALGERS 1984) konnten nicht beobachtet werden. Die Tiergerechtigkeit dieser Messmethode bleibt jedoch zunächst zweifelhaft, zumindest in ihrem derzeitigen technischen Zustand.

5.2.3 Zeit- und Kostenaufwand

Die Direktbeobachtung ist eine sehr zeitintensive Methode. Sowohl die tatsächliche Beobachtungszeit, als auch Vor- und Nachbereitungszeiten spielen hier mit hinein. Wenn man vom personellen Aufwand absieht, ist die Direktbeobachtung jedoch sehr kostengünstig. Durch den Einsatz von elektronischen Hilfsmitteln kann die Auswertung der Daten vereinfacht werden, die Beobachtungszeit bleibt jedoch unverändert lang und zeitaufwendig. Je nach verwendeter Beobachtungsmethode können Samplingmethoden zum Einsatz kommen, so dass beispielsweise nur alle 30 Minuten ein Verhalten erfasst wird. Der Untersucher muss trotzdem immer wieder vor Ort sein, was als sehr aufwendig einzustufen ist.

Bei der Videobeobachtung kommen zunächst die Anschaffungskosten für die Videoausrüstung, sowie ihre Installation und Wartung zum Tragen. Ein weiterer Kostenfaktor ist das Aufzeichnungsmaterial, Videokassetten oder im Falle digitalisierter Videos DVDs zum Speichern der Daten, oder elektronischer Speicherplatz wie Festplatten (HOY 2009). Soll die Auswertung der Videodaten durch unterstützende Computerprogramme erleichtert werden, kommen auch hier erhebliche Kosten für professionelle Programme zum Tragen. Weiterhin ist dafür ein spezieller Arbeitsplatz nötig, ein PC mit zwei Bildschirmen, so dass man zusätzlich noch an einen Arbeitsplatz gebunden ist, was ein großer Nachteil sein kann, wenn mehrere Personen mit dem System arbeiten. Vom Zeitfaktor her ist die Auswertung von Videodaten sehr arbeitsintensiv. Vor allem wenn viele Tiere gleichzeitig, sowie viele Bereiche und viele Verhaltensmerkmale beobachtet werden, sind die Auswertungen sehr komplex und erfordern hohe Konzentration vom Untersuchenden (POURVOYEUR et al. 2006). Von Vorteil ist hier die leichte Reproduzierbarkeit der fraglichen Stellen, mit Auswertungsprogrammen können sie immer wieder zurück gespult und automatisiert ausgewertet werden. Weiterhin sind Untersuchungsintervalle frei wählbar, sie können auch über 24 Stunden hinausgehen. Verhaltensweisen, welche in einer ersten Sichtung übersehen wurden, können nachträglich eingefügt werden, sowie kann eine Editierfunktion genutzt werden, um falsche Eingaben zu löschen (HOY 2009). Die gesamte Auswertung der Videodaten mittels des Programms Interact dauerte 6322 Minuten (vergleiche Tabelle 12), das entspricht 105,37 Stunden. Somit wurden durchschnittlich für die

Auswertung einer 24-Stunden-Episode pro Pferd 11,71 Stunden benötigt. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass 4 Stunden pro Tag per Direktbeobachtung erfasst wurden, der per Interact ausgewertete Zeitraum also nur 20 Stunden betrug. Die durchschnittliche Anzahl der per Interact-Auswertung zu erfassenden Aktionen pro Pferd und Stunde lag bei 61,95 mit einem Minimum von 2,3 und einem Maximum von 188 registrierten Aktionen. Rechnet man zusätzlich zu den durchschnittlichen 11,71 Stunden Auswertungszeit noch die 4 Stunden Direktbeobachtungszeit hinzu, so kann die durchschnittlich zur Auswertung einer 24-Stunden-Verhaltensepisode eines Pferdes benötigte Zeit von 15,71 Stunden als sehr aufwendig eingestuft werden.

Tabelle 12: Auswertungsaufwand der Video-Aufzeichnungen mit dem Programm Interact, jede der aufgelisteten Messungen impliziert jeweils drei 20-Stunden-Episoden (ohne Direktbeobachtungen).

<i>Auswertungsaufwand</i>	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Gesamt
Summe aller Auswertungen (Minuten)	2181	2033	2108	6322
Mittelwert (pro Pferd und Stunde)	31,61	29,90	30,55	30,69
Minimum (pro Pferd und Stunde)	7	8	7	7
Maximum (pro Pferd und Stunde)	108	86	63	108
<i>Registrierte Aktionen</i>				
Summe aller Aktionen	4511	3390	5063	12964
Mittelwert (pro Pferd und Stunde)	65,38	47,08	73,37	61,95
Minimum (pro Pferd und Stunde)	16,3	2,3	19,7	2,3
Maximum (pro Pferd und Stunde)	126,7	120,7	188	188

Bei den ALT-Pedometern steht vor Beginn einer Untersuchung zunächst der finanzielle Aufwand der Anschaffung der Geräte, Auslesestation sowie Datenverarbeitungsgeräten (herkömmlicher PC mit MS Access). Die Anwendung von ALT-Pedometern an sich ist relativ wenig zeitaufwendig, sie sind schnell anzubringen und können eine Woche oder länger am Tier verbleiben und Daten speichern. Die Daten sind sofort einsatzbereit und müssen nicht noch ausgewertet werden. Was an Zeitaufwand gerechnet werden muss, ist zum Einen die mehr oder weniger lange Eingewöhnungszeit der Tiere, bis diese sich an das Tragen der Geräte und vor allem an den Prozess des An- und Abbauens gewöhnt haben. Dies nahm im vorliegenden Fall mehrere Wochen in Anspruch, bis die Pferde die Pedometer problemlos tolerierten und ruhig stehen blieben, bis die Geräte angebracht waren. Zum Anderen ist als Zeitfaktor die tägliche, teils mehrfach täglich nötige, Kontrolle der Geräte und

der darunter liegenden Pferdebeine zu rechnen. Auch die registrierten Daten sollten täglich ausgelesen, kontrolliert und gespeichert werden, um eventuelle Fehlfunktionen schnell zu entdecken.

GPS-Systeme bedürfen nur der Anschaffungskosten für die Geräte, welche je nach Modell variieren. Das Auslesen der Geräte ist in der Regel mit einem Standard-PC möglich, erforderliche Programme werden meist vom Hersteller mitgeliefert. GPS ist eine wenig zeitaufwendige Methode, die Erfassung der Daten verläuft automatisch, das Auslesen und Verarbeiten der Daten ist automatisiert und erfordert keinen langen Auswertungsaufwand. Auch hier ist der Zeitfaktor wiederum in der Gewöhnung der Tiere an die Anbringung, sowie die tägliche Kontrolle der Geräte zu sehen. Da im vorliegenden Fall die Tiere mit den GPS-Gurten nicht allein gelassen werden konnten, war der Zeitaufwand extrem hoch. Auch das ständige Kontrollieren des Gerätes, welches sich aufgrund des schlechten oder gar fehlenden GPS-Empfanges permanent ausschaltete, war ein bedeutender Faktor im Zeitmanagement. Positiv im Zeitbudget macht es sich bemerkbar, dass das GPS-Gerät bereits fertige Daten zum Thema zurückgelegte Wegstrecken auswirft, es ist keine Umrechnung mehr nötig.

Die Technik der Funk-Ortung ist a priori mit einem extrem hohen Kostenfaktor belastet. Zunächst muss eine passende Infrastruktur geschaffen werden, anschließend Transponder an passenden Stellen angebaut und eingemessen werden. Dazu kommt die mobile Hardware, welche an den Tieren zu befestigen ist, und eine entsprechende Ausrüstung zur Befestigung selbiger an den Tieren. Auch die Datenverarbeitung ist ein nicht zu vernachlässigender Kostenfaktor, da große Datenmengen anfallen, welche verarbeitet und gespeichert werden müssen. Bei dem genutzten Funkortungssystem war zudem die Erstellung einer Softwarelösung nötig, welche die anfallenden Rohdaten weiterverarbeitete, konsolidierte und teils auch zu Grafiken visualisierte. Dadurch war der Zeitaufwand der Datenverarbeitung sehr gering, sie wurden in geeigneter Form ausgeworfen und konnten leicht z.B. in eine MS Excel-Datei überführt werden. Wegstrecken wurden bereits stündlich fertig berechnet ausgegeben und Aufenthaltshäufigkeiten in bestimmten Zonen farblich dargestellt, sowie Zustände und Geschwindigkeiten als Balkendiagramme angegeben. Ein enormer Zeitbedarf entstand hingegen durch die Wartung der Geräte, während sie am Pferd befestigt waren. Durch ihre Größe boten sie eine

prominente Angriffsfläche für Beißattacken der Pferde untereinander und mussten ständig geschützt werden. Dies geschah zum Einen durch das Auftragen von einem Anti-Beiß-Spray („Equistop“, Firma Stashek Diversit GmbH, Ahaus) auf den Gurt, sowie durch positive Ablenkung mittels Spielzeugen und Beschäftigungsmaterialien (Abb.103), und zum Anderen durch die permanente Anwesenheit einer oder mehrerer Personen, welche die Sicherheit der Geräte überwachten und bei Bedarf eingriffen.



Abbildung 103: Um die Geräte zu schonen und den Verbiss zu minimieren, wurden die Pferde häufig durch Spielzeuge abgelenkt, an denen sie vor allem ihre oralen Bedürfnisse befriedigen konnten.

Auch die Wartung sowie Reparaturarbeiten an den Tragegurten der Funkortung machten einen großen Anteil am Zeitbudget aus, da diese häufig beschädigt wurden. Ebenso müssen die Aufladezeiten der groß dimensionierten elektrischen Akkus mit einkalkuliert werden, welche mindestens 8 Stunden betragen.

5.2.4 Messgenauigkeiten der einzelnen Systeme

Durch ihre Beobachtungsintensität ist die *Direktbeobachtung* eine sehr genaue Methode zur Verhaltenserfassung, welche auch alle Umweltfaktoren registriert (CAANITZ et al. 1991; HOFFMANN et al. 2007; HOY 2009). Sie ist jedoch immer auch subjektiv vom beobachtenden Menschen geprägt und von Fehlern und Unachtsamkeiten in der Beobachtung bedroht. Vor allem bei komplizierten oder sehr schnellen Verhaltensmustern und sehr lange andauernden Beobachtungsintervallen kann es zu Ermüdungserscheinungen und Konzentrationsproblemen kommen,

welche die Beobachtungsdaten ungenau machen. Dies kann verhindert werden, indem Beobachtungsintervalle kurz gehalten oder von mehreren Beobachtern gleichzeitig aufgenommen werden. Auch so genannte Samplingmethoden können die Beobachtungsqualität verbessern. Jedoch beinhaltet der Unsicherheitsfaktor Mensch immer gewisse nicht zu kalkulierende Fehlerquellen, da das Gesehene nicht reproduziert oder von einer zweiten Person kontrolliert werden kann.

Selbiges gilt für die Videobeobachtung, auch sie ist eine relativ genaue Beobachtungsmethode, zumal hier, im Gegensatz zur Direktbeobachtung, eine Reproduzierbarkeit einzelner Szenen vorliegt und diese somit durch wiederholte Beobachtung genauer beurteilt werden können (CAANITZ et al. 1991; HOY 2009). Die Messgenauigkeit hinsichtlich einer Verhaltensbeurteilung kann jedoch eingeschränkt sein, falls sich Dinge ereignen, die durch die Videokamera nicht aufgezeichnet werden können, z.B. Vokalisationen oder Zähneknirschen (CAANITZ et al. 1991; NIEDERHÖFER 2009). Auch die Übersichtlichkeit der festgelegten Perspektiven kann teilweise eingeschränkt sein oder Vorgänge außerhalb des Kamerasichtfeldes beeinflussen das Verhalten der Tiere. Im vorliegenden Versuch wurden die Pferde häufig durch Vorgänge auf benachbarten Feldern beunruhigt, wenn beispielsweise Kühe umgetrieben wurden oder eine Bewässerungskanone auf dem Nachbargrundstück aufgestellt wurde. Ohne dieses Wissen konnte man auf den Videoaufnahmen nur hochgradig erregte Pferde erkennen, ohne den Grund zu wissen. Daher wurde parallel zu den Versuchen ein Protokoll geführt, in welchem Besonderheiten eingetragen wurden, wenn beispielsweise Arbeiten am Stall durch externe Personen stattfanden, Tierarzt oder Hufschmied vor Ort waren oder besondere Ereignisse in der Umgebung Störungen hervorriefen. Somit konnte immer auch nachträglich nachvollzogen werden, an welchen Tagen und zu welchen Uhrzeiten Ereignisse aufgetreten waren, die das Verhalten der Pferde beeinflussten. Zur Auswertung der Messmethoden wurden nur Tage herangezogen, an denen es zu keiner externen Störung gekommen war.

Die ALT-Pedometer erfassen nur einen kleinen Ausschnitt des Verhaltens, dieses jedoch relativ genau. Mit Hilfe der Geräte kann die Aktivität eines Tieres festgestellt werden, indem seine Schrittzahl gemessen wird, außerdem das Liegeverhalten detektiert und zwischen Brust- und Seitenlage unterschieden wird. Anhand einer

Schätzformel ist es möglich, aus den zurückgelegten Schritten eine Wegstrecke zu errechnen, welche jedoch mit Unsicherheitsfaktoren belastet ist (FRENTZEN 1994). Aus den Versuchen ergab sich, dass beträchtliche Unterschiede in der Anzahl der Schritte bestehen, wenn die Anbringung der Pedometer an einem Vorder- oder Hinterbein stattfand. Hierbei waren die an einem Vorderbein gemessenen Schritte deutlich höher, was wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, dass mit dem Vorderbein auch Spielverhalten oder beispielsweise Scharren und Stampfen zur Insektenabwehr ausgeführt wird (HOFFMANN 2008). Die jungen Stuten konnten auch häufig dabei beobachtet werden, wie sie mit den Vorderbeinen tiefe Löcher in den Sand gruben (Abb. 104), was ebenfalls die Aktivität am Vorderbein stark erhöhte.



Abbildung 104: Häufiges Graben von Löchern erhöhte die vom Pedometer am Vorderbein gemessene Aktivität.

Auch deutete sich in den Untersuchungen zu einem parallel laufenden Versuch an, dass die ALT-Pedometer beim Pferd nicht sicher zwischen Brust- und Seitenlage unterscheiden können (KÖSTER 2010), was sich im vorliegenden Versuch bestätigte. Dies könnte dadurch bedingt sein, dass Pedometer sich häufig am Pferdebein drehten und Vorder- sowie Hinterbeine bei verschiedenen Liegepositionen stets verschiedene Stellungen einnahmen (Abb. 105). Die ALT-Pedometer lieferten größtenteils zuverlässige Ergebnisse im Rahmen ihrer Möglichkeiten. Es konnte die Schritte der Pferde, sowie die Zustände Brust- und Seitenlage erfasst werden. Diskussionsbedarf liefert jedoch die Tatsache, dass die an Vorder- und Hinterbeinen gemessene Aktivität sich deutlich unterschied. Die an den Vorderbeinen gezählten Schritte waren durchgängig deutlich höher als die an den Hinterbeinen registrierten. Dies lässt sich jedoch leicht durch die verstärkte Aktivität der Vorhand beim Pferd erklären. Verhaltensmuster wie Kratzen, Buddeln,

Insektenabwehr oder Spielverhalten können vermehrt den Vorderbeinen eines Pferdes zugeordnet werden. Daher muss für eine Verhaltenserfassung per Pedometer beim Pferd abgewogen werden, wo das Pedometer angebracht wird. Um wirklich nur die Schritte, und somit die zielgerichtete Aktivität und das Zurücklegen von Wegstrecken zu beurteilen, sollten die Pedometer besser am Hinterbein des Pferdes angebracht werden. Dies beinhaltet jedoch ein erhöhtes Verletzungsrisiko für den Untersucher, da am Hinterbein die Gefahr des Austretens nach hinten besteht. Auch bedarf es einer längeren Gewöhnungszeit für die Tiere, da die Hinterbeine für sie nicht so gut einsehbar sind und Pferde generell leicht panisch reagieren können. Ein weiterer Aspekt bei der Genauigkeit der Pedometer sind ihre Schwierigkeiten bei der Unterscheidung von Brust- und Seitenlage. KÖSTER (2010) konnte nachweisen, dass Pedometer in der Anwendung beim Pferd die Brust- und Seitenlage in vielen Fällen nur wenig bis gar nicht unterscheiden können. Dies bestätigte sich auch zu großen Teilen in der vorliegenden Untersuchung. Die genauen Ursachen dafür sind unklar, es ist jedoch zu vermuten, dass das Problem in der Befestigung und Position der Pedometer am Pferdebein begründet liegt. Da die Pedometer, aus vorher bereits genannten Gründen, an einem Pferdebein nicht so stramm befestigt werden können wie an einem Rinderbein, können sie verrutschen und sich von der Außen- zur Innenseite drehen. Durch die vielen verschiedenen Möglichkeiten eines Pferdes, Brust- und Seitenlagen einzunehmen und die Beine auf unterschiedliche Art anzuwinkeln und zu strecken, könnte es möglich sein, dass Pedometer beim Pferd die Lagen nicht eindeutig differenzieren können.

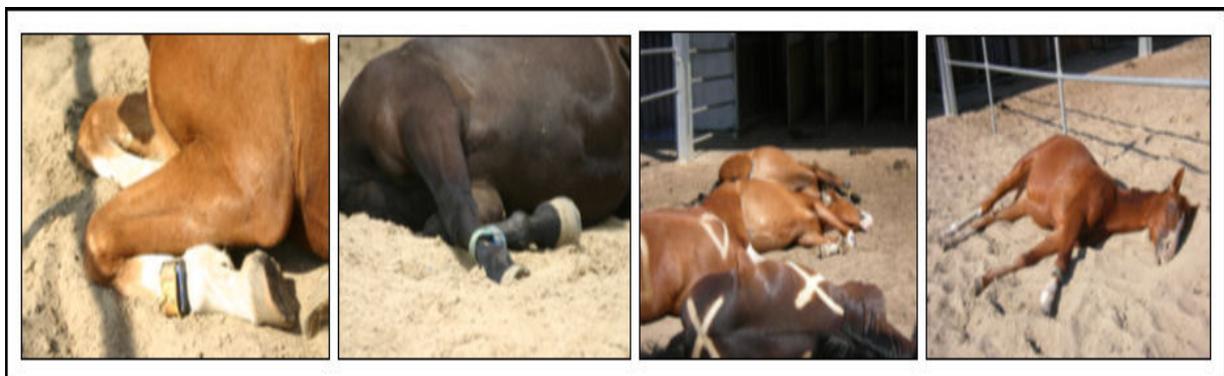


Abbildung 105: Verschiedene Liegepositionen, dadurch bedingt verschiedene Positionen der Pedometer an Vorder- und Hinterbeinen.

Die GPS-Technik arbeitet genau, ist jedoch vom Satellitenempfang abhängig. Ist dieser eingeschränkt, kommen ungenaue oder fehlende Messungen zustande. Die Messgenauigkeit beträgt hier etwa +/- zehn Meter, beim kostenintensiveren D-GPS, welches noch Stationen auf der Erde einbezieht, ist die Genauigkeit auf bis zu +/- 0,5 Meter gut (EBELT et al. 2009). Zurückgelegte Wegstrecken können erfasst werden (DAHLKAMP 2003; LIEBETRAU 2004; HEBENBROCK 2005), jedoch besteht die Gefahr, dass Messdaten fehlen wenn zwischenzeitlich kein Satellitenempfang vorhanden ist.

Die Funk-Ortung ist eine hochpräzise Methode, eine Ortung kann zentimetergenau erfolgen (VOSSIEK et al. 2005). In der vorliegenden Untersuchung wurde das Gelände in Quadranten von 0,5 x 0,5 m, so genannte Sektoren, unterteilt, da bei höherer Genauigkeit auch die Fehlerquote steigt. Von besonderem Interesse war es, in welchem Stallteil sich die Pferde aufhielten, daher wurde hier nicht nach Sektoren unterschieden, sondern der Stall in Zonen aufgeteilt, welche von besonderem Interesse waren. Sicherlich könnte man mittels Funkortung die Tiere zentimetergenau orten, fraglich ist jedoch ob dies nötig ist. Mit steigender Genauigkeit fallen auch größere Datenmengen an, welche verarbeitet und gespeichert werden müssen. Auch kann es, bedingt durch die Funktionsweise der Ortung auf dem Prinzip von Signallaufzeiten, zu Messungenauigkeiten kommen. Hierbei ist die Synchronisierung zwischen Sender und Empfänger des Signals wichtig, denn bei einem Fehler von 1 ns kommt es bereits zu einem Ortungsfehler von 30 cm. Hierbei ist auch die Objektdynamik zu berücksichtigen. Da das System nach dem RTOF - Prinzip arbeitet, antwortet der Empfänger nach einer minimal kurzen Bearbeitungszeit dem Sender. Bewegt sich das geortete Objekt währenddessen sehr schnell weiter, können ebenfalls Messfehler auftreten (EBELT et al. 2009).

5.2.5 Mögliche Fehlerquellen

Mögliche Fehlerquellen ergeben sich stets aus dem Gerät bzw. der Methode, der Umgebung sowie dem Anwender.

Bei der Direktbeobachtung kann es durch Unachtsamkeit und Ermüdung zu Fehlern kommen. Auch schlechte Sichtverhältnisse, ein ungünstiger Beobachtungsstandort und zu viele zu beobachtende Tiere pro Untersucher können falsche Daten provozieren. Gleichzeitiges Beobachten von Verhaltensweisen und das Notieren selbiger kann ebenfalls zu technischen Schwierigkeiten führen (HOY 2009). In der gelaufenen Direktbeobachtung wurde daher stets sichergestellt, dass die Beobachter ausgeruht waren und nicht mehr als vier Stunden am Stück an der Untersuchung teilnahmen. Auch gute Sichtverhältnisse wurden durch sorgsame Wahl des Beobachtungspunktes geschaffen. Weiterhin wurden nur relativ wenige und übersichtliche Verhaltensdaten erfasst (Zustand und Aufenthalt in bestimmtem Sektor der Weide) und je Person wurde nur ein Pferd beobachtet. Da die Pferde die meiste Zeit auf der Weide im langsamen Schritt und grasend zurücklegten, waren nicht viele Beobachtungsdaten zu erfassen. Schwierigkeiten traten manchmal auf, wenn die Pferde sich direkt an Zonengrenzen befanden und nicht sicher beurteilt werden konnte, in welcher Zone das Tier sich aufhielt. Vereinzelt traten auch kurze Schreckreaktionen der Pferde auf, woraufhin sie sich in schneller Gangart über die Weide bewegten und ständig Zonengrenzen überschritten. Hier konnte nicht immer schnell genug ein Übertritt in die andere Zone registriert werden. Eine Fehlerquelle von Seiten der zu untersuchenden Tiere bestand darin, dass sie gelegentlich die Nähe der Beobachter suchten. Außerdem hielten sie sich, gegen Ende der Weidezeit, häufig vor dem Weidetor auf, da sie wahrscheinlich durstig waren und zurück zum Stall wollten. Auch könnte der Befall mit stechenden Insekten hier eine Rolle gespielt haben, da diese die Pferde vermehrt in den wärmeren Stunden der Weidezeit belästigten.

Im Rahmen der Videobeobachtung können zunächst technische Fehler auftreten. Hierunter fielen Stromausfälle, was nur sehr selten geschah, Ausfälle einzelner Kameras, ebenfalls sehr selten auftretend, sowie Zwischenfälle in der Datenspeicherung. Die automatisch direkt im Anschluss an die Aufzeichnung digitalisierten Videosequenzen wurden als jeweils einstündige Videodateien auf einem Videoserver gespeichert. Da dies alles automatisch erfolgte, wurden tägliche Kontrollen der aufgezeichneten Daten durchgeführt. Bis auf wenige Ausnahmen waren die aufgezeichneten Daten intakt, jedoch konnten die Videos manchmal aus anderen Gründen nicht zur Auswertung verwendet werden. Zu diesen Gründen

zählten Ausfälle in der Nachtbeleuchtung, beschlagene Kameras oder starke Aktivität von beispielsweise einer Spinne auf dem Objektiv der Kamera. Auch bei der Auswertung der Videodateien mittels eines automatisierten Auswertungsprogramms können Fehler auftreten. Bereits beim Definieren von Verhaltensmustern können Fehler gemacht werden, wenn sie nicht ausreichend klar bezeichnet werden. Manche Verhaltensweisen können auch nicht klar erkennbar sein und deswegen nicht ausgewertet werden, beispielsweise das Ausscheidungsverhalten aus bestimmten Perspektiven. Auch können Verhaltensweisen eventuell nicht sicher erfasst werden, wenn die entsprechenden Bereiche zu schlecht einsehbar sind. Bei einem größeren Tierbestand, der beobachtet werden soll, ist eine klare Kennzeichnung der Tiere nötig, welche auch im Dunkeln gut sichtbar ist. Auch der Anwender selbst kann Fehler verursachen, indem er ein Video zu schnell laufen lässt und dann nicht in der Lage ist, punktgenau die Ereignistasten für ein Verhaltensmerkmal zu betätigen. Teilweise können Ereignisse sogar übersehen werden, wenn das Video im schnellen Vorlauf angesehen wird. Auch Ermüdung kann zu Unaufmerksamkeit und verzögerten Reaktionen führen, es können Verhalten und zugeordnete Tasten verwechselt werden. In der Praxis zeigte sich, dass nicht länger als vier Stunden am Stück Auswertungen per Computerprogramm erfolgen sollten, da sonst die Qualität der Auswertungen vermindert war.

Mögliche Fehler bei ALT-Pedometern ergaben sich zunächst im Umgang mit den Geräten. Die Geräte können versehentlich falsch herum ans Pferd gebaut werden, so dass sie ein permanentes Liegen anzeigen, obwohl das Pferd steht. Dieser Fehler fällt jedoch sofort auf, wenn die Daten kontrolliert werden. In wenigen Fällen kam es dazu, dass sich die Kugeln in den Pedometern magnetisierten und kleben blieben, statt sich zu bewegen. Hier kam es in der Datenausgabe auch zu permanentem Liegen. Durch kräftiges Schütteln konnten die Kugeln jedoch meist gelöst werden. Gelegentlich mussten die Batterien ausgetauscht werden, kam es zu Fehlfunktionen durch Defekte oder konnten Pedometer nicht von der Auslesestation angesprochen werden.

Auch bei den GPS-Geräten kann es zu technischen Fehlern, Bedienungsfehlern, Aufzeichnungs- und Auslesefehlern oder mangelnder elektrischer Versorgung kommen. Auch eine Abschirmung der Satelliten führt zu Fehlern oder lückenhafter

Aufzeichnung. Im vorliegenden Fall konnte das GPS-Gerät häufig nicht ausreichend Kontakt zu Satelliten aufbauen, verlor somit den GPS-Empfang und schaltete sich in der Konsequenz aus. Durch die pferde-untaugliche Halterung ging es mehrfach verloren und musste gesucht werden. Es war nicht möglich, zusammenhängende Daten damit zu erfassen, weshalb die GPS-Daten aus dem Methodenvergleich herausgenommen werden mussten, da zu wenige brauchbare Daten vorlagen. Die mittels GPS ermittelten Daten mussten verworfen werden. Ein Einsatz dieser Technologie ist somit nur denkbar, wenn es sich um einen reinen Freilandversuch mit gutem Satellitenkontakt handelt. Auch muss die Befestigung am Pferd überdacht und verbessert werden, um eine Nutzung auch bei frei laufenden Pferden ohne ständige Störung der Tiere durch Korrekturen der Geräte zu gewährleisten. In Stallbereichen oder teils überdachten Zonen kann eine Nutzung von GPS nicht empfohlen werden. Zumindest im vorliegenden Versuch wurden nur mangelhafte Ergebnisse erzielt.

Bei der Funk-Ortung kann es ebenfalls zu technischen Fehlern kommen. Hier kommen Stromausfälle am Transpondersystem, leere Akkus der mobilen Stationen, Kabelbrüche, Übertragungsfehler, Fehler in der Datenverarbeitung und am empfangenden PC zum Tragen. Den Empfang selbst können Mehrwegeausbreitung (Multipathing), Störfrequenzen und Änderungen in der Signaldämpfung durch Absorption von Energie durch Wasser (Menschen, Tiere) beeinflussen. TOST (2009) ordnet Störfaktoren den Gruppen Selbststörung, Fremdstörung, Slow Fading und Fast Fading zu. Hierbei fallen unter *Selbststörung* interne Rauschquellen und Interferenzen, *Fremdstörung* wird durch Intersystembeeinflussungen und externe Rauschquellen verursacht. Der durch das so genannte *Slow Fading* verursachte Signalschwund wird durch Abschattung und Dämpfung bedingt, während das *Fast Fading* für die Mehrfach- oder Mehrwegeausbreitung von Signalen verantwortlich ist. Reflexion, Beugung und Streuung sowie Delay Spread (zeitliche Aufspreizung des Signals bei längeren Wegen) führen dazu, dass ein gesendetes Signal den Empfänger auf unterschiedlichen Wegen und zu unterschiedlichen Zeiten erreicht (TOST 2009). Bei einem ähnlich arbeitenden Funkortungssystem wurde die durch Multipathing verursachte Fehlerquote mit 60 mm beziffert, bei einer Ortungsgenauigkeit im Zentimeterbereich. Es bleibt jedoch fraglich, wie sich diese Quote in einem metallreichen Umfeld verändert (STELZER et al. 2003; STELZER et al. 2004; POURVOYEUR et al. 2006).

Vor allem metallische Gegenstände beeinträchtigten in der vorliegenden Untersuchung die Funktion der Funkortung (Abb. 98). Die Pferde hielten sich sehr häufig in oder vor den Fressständen auf, welche im oberen Teil mit einem Metallgitter versehen waren (Abb. 106). Dadurch kam es zu hochgradigen Reflektionen der Funkwellen zwischen den Metallteilen, weshalb die Tiere in diesem Bereich sehr oft als liegend geortet wurden, obwohl real niemals ein im Fressstand liegendes Pferd beobachtet wurde. Auch die ständige Bewegung der Tiere im Fressbereich könnte eine Fehlerquelle darstellen. Die Fressplätze wurden häufig gewechselt, rangniedere Tiere verdrängt oder kurz der Stand verlassen, um sofort wieder zurückzukehren. Diese ständigen kleinen Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen können vor allem die Wegstreckenmessung beeinträchtigen.



Abbildung 106: Im Fressbereich bewegten sich die Pferde häufig auf kleinen Wegstrecken vor und zurück, beispielsweise durch Verdrängung von Artgenossen, oder um den Fressstand zu wechseln.

5.2.6 Grafische Umsetzung der Funkortungsdaten

Mittels eines eigens für diese Anwendung erstellten Computerprogramms (TOPOS®) konnten die von der Funkortung gemessenen Daten unmittelbar, ohne Umrechnungs- und Bearbeitungszeiten, am Bildschirm grafisch dargestellt werden. Zum einen konnte man hier ersehen, wie das Verteilungsmuster der Bewegungszustände (Stehen, Schritt, Trab, Galopp, Brustlage, Seitenlage) war. Dies erfolgte mit Hilfe von 2D-Histogrammen (Abb. 107).

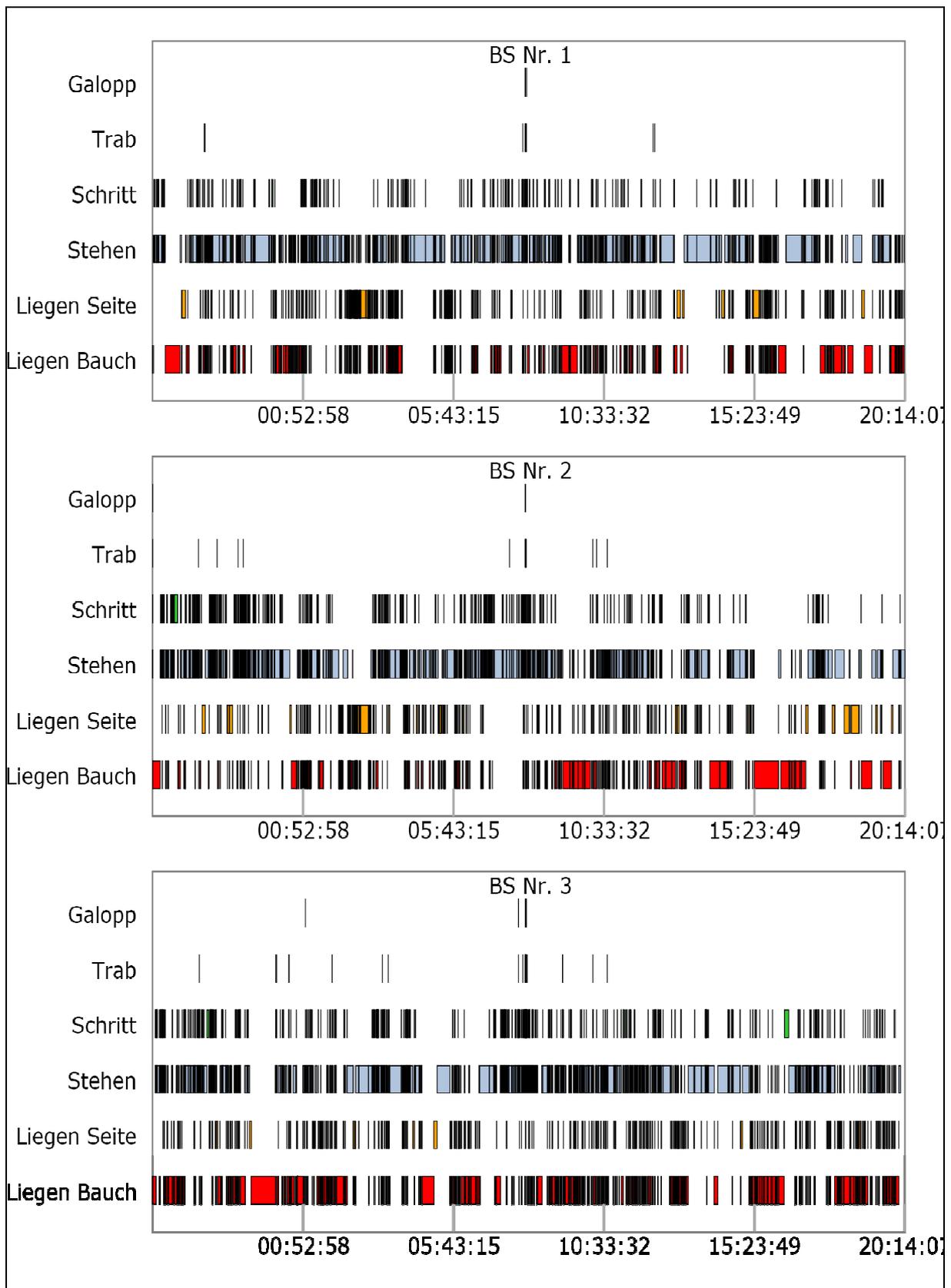


Abbildung 107: Grafische Darstellung der verschiedenen Bewegungszustände und Geschwindigkeiten für jeweils drei Pferde (Basisstationen 1-3). Verschiedene Farben dienen nur der besseren Unterscheidbarkeit der Verhaltensparameter.

Auf den folgenden Bildern (Abb. 109-111), bei der Darstellung der Aufenthaltshäufigkeiten im Bereich der Weidefläche, kann folgendes erkannt werden: Die Pferde halten sich bevorzugt im hinteren, schattigeren Bereich der Weide auf. Häufige Aufenthaltspunkte (rot dargestellt) sind der Standpunkt der Beobachter, die mittlere Zone, welche schattig und mit gutem Gras versehen ist, sowie das Weidetor. Auch die Randbereiche werden fast alle genutzt, das Gebiet quasi einmal umrundet und die Grenzen abgegangen. Der vordere Bereich wird weniger frequentiert, vor allem der Quadrant links unten, in welchem sich die mutmaßliche „Toilettecke“ befindet. Dieser Bereich der Weide wurde nur zum Koten und Urinieren aufgesucht, Gras wurde dort nicht konsumiert.

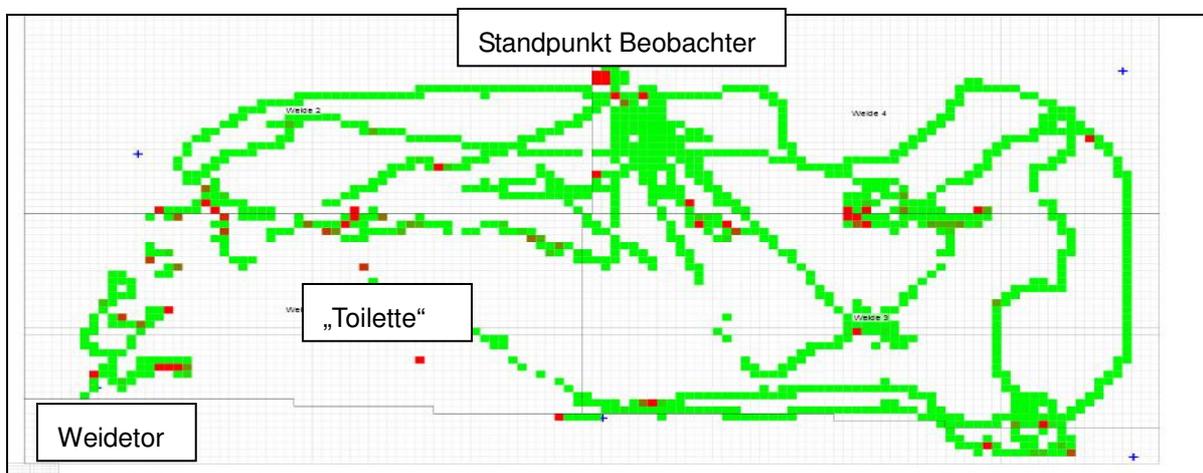


Abbildung 109: Bewegungsprofil eines Pferdes während einer Weidezeit von vier Stunden, grafische Darstellung ohne Hintergrund. Rote Bereiche wurden besonders häufig besucht, die blauen Kreuze zeigen die Positionen der auf der Weide fest installierten Transponder.

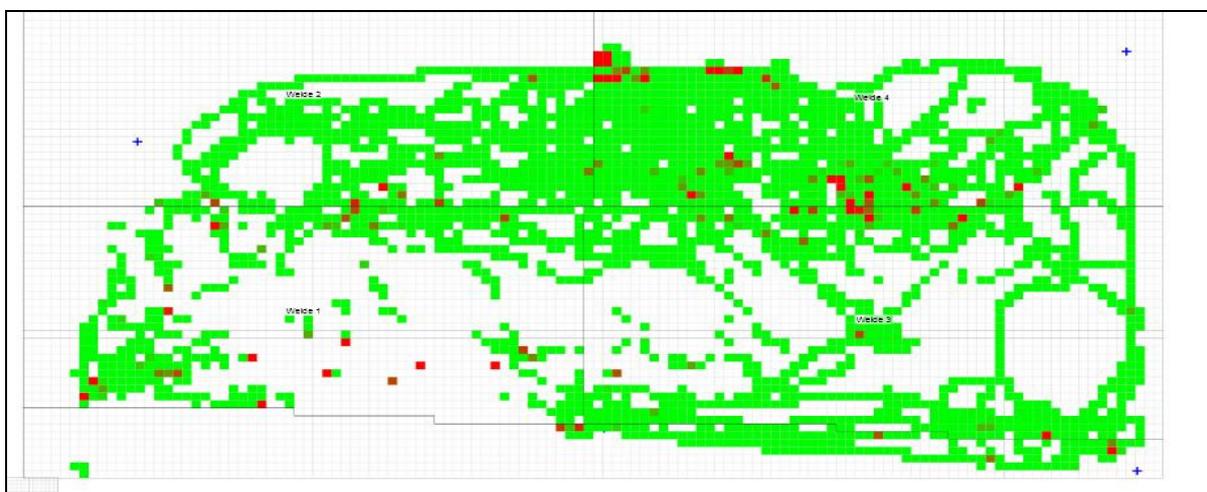


Abbildung 110: Bewegungsprofil von drei Pferden während einer Weidezeit von vier Stunden.

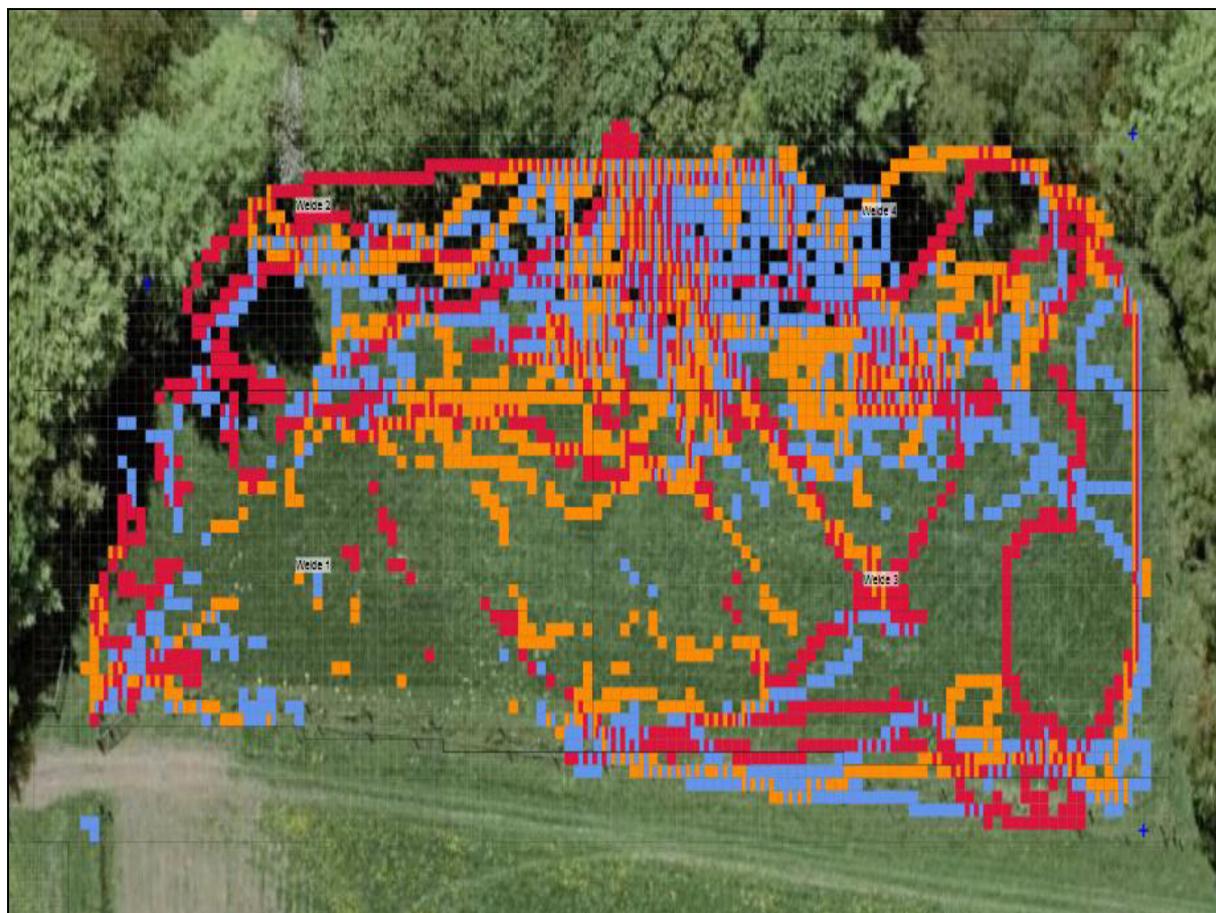


Abbildung 111: Bewegungsprofil derselben drei Pferde während der Weidezeit von vier Stunden, anhand der farblichen Differenzierung (rot, blau, orange) können die einzelnen Tiere unterschieden werden.

Es bleibt dem Untersucher überlassen, ob er sich nur die Weidefläche, das gesamte Gelände mit Weide- und Stallbereich oder nur den Stallbereich anzeigen lässt. Je näher herangezoomt wird, desto detaillierter ist die Ansicht. Außerdem besteht die Wahlmöglichkeit zwischen der puren Ansicht oder einem mit dem Satellitenbild unterlegten Hintergrund (Abb. 111). Aufenthaltshäufigkeiten werden farblich markiert, Rot = häufiger als Grün = häufiger als Blau (Abb. 109 und 110). Auch die verschiedenen Basisstationen, sprich Pferde, lassen sich farblich kennzeichnen (Abb. 111). Dann entfällt jedoch die farbige Häufigkeitsanzeige. Die Abbildung 112 zeigt das gesamte Bewegungsprofil eines Pferdes im Stall und auf der Weide über 24 Stunden. Im Bild 113 ist beispielhaft ein tägliches Bewegungsprofil im Stall dargestellt, links von einem Pferd, rechts von drei Pferden.

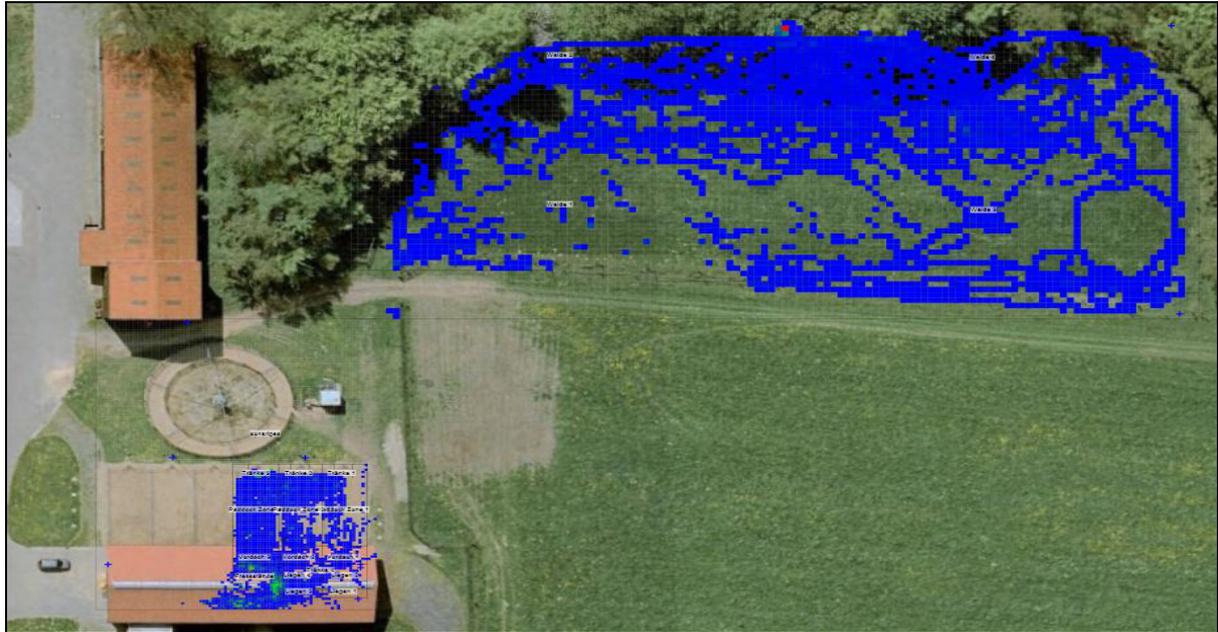


Abbildung 112: Gesamtes Bewegungsprofil eines Pferdes in Stall und Weide über einen Zeitraum von 24 Stunden.

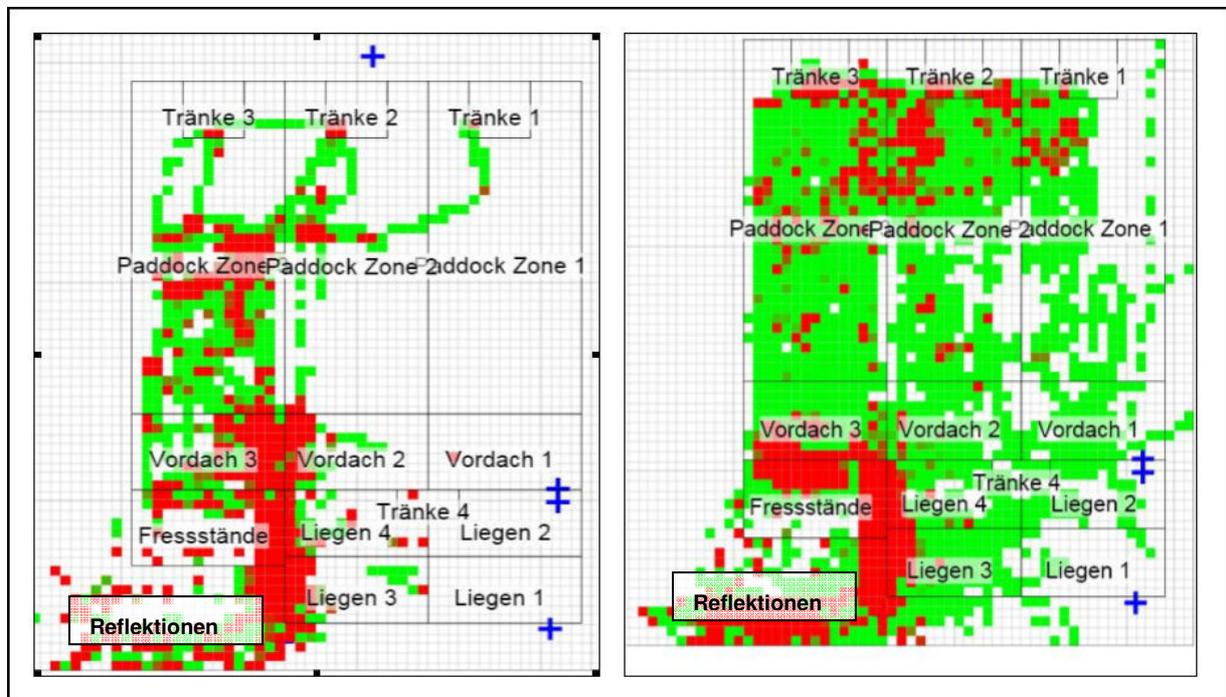


Abbildung 113: Bewegungsprofil im Stall über einen Zeitraum von 20 Stunden, links von einem, rechts von drei Pferden. Rote Bereiche wurden besonders häufig frequentiert. Im Bereich der Fressstände kam es durch Metallteile zu starken Reflektionen, so dass in der Grafik Aufenthaltsbereiche außerhalb der Stallgrenzen erscheinen.

Abbildung 114 zeigt das Bewegungsprofil eines Pferdes über acht Stunden. Es hielt sich häufig unter den Vordächern und im Liegebereich auf, da es draußen stark regnete. Im Bereich vor den Fressständen befand sich eine große Pfütze, welche die Pferde nicht durchqueren wollten und daher exakt am Rand der Pfütze zum Fressbereich liefen. Vergleiche Abb. 113, welche eine normale Nutzung des Bereichs vor den Fressständen zeigt (trockene Witterung).

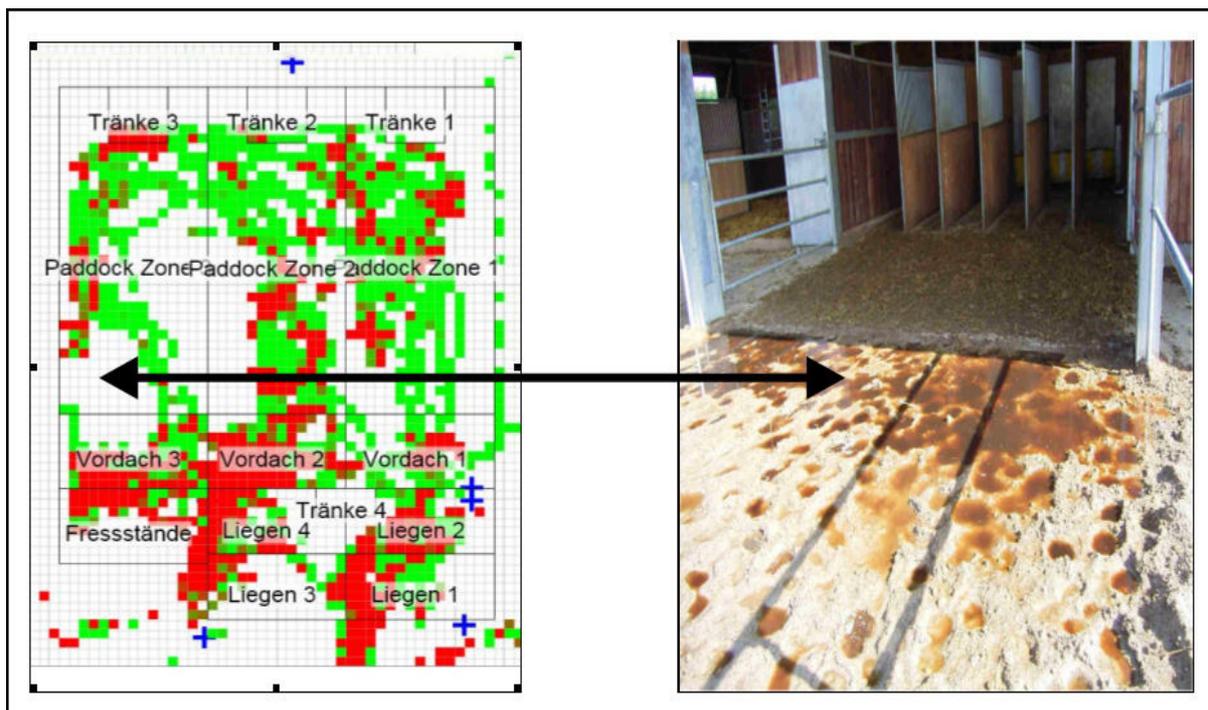


Abbildung 114: Bewegungsprofil eines Pferdes über einen Zeitraum von acht Stunden bei nasser Witterung (Foto: Peter Kreimeier). Rote Bereiche wurden sehr häufig frequentiert, grüne Bereiche häufig, weiße Bereiche nicht betreten.

5.2.7 Methodenvergleich

Im Vergleich der im Versuch eingesetzten Messmethoden konnten klar die bereits genannten Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden herausgearbeitet werden. Je nach örtlichen Gegebenheiten, zu untersuchendem Tierbestand und Fragestellung sowie Personal-, Zeit- und finanziellem Budget muss abgewogen werden, welche Messmethode für eine bestimmte Untersuchung die am besten passende ist. Eine universelle Methode kann hier nicht empfohlen werden. Die Vor- und Nachteile der untersuchten Methoden sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Methodenvergleich; Einstufung verschiedener Qualitäten und Eigenschaften der unterschiedlichen Messmethoden.

Methodenvergleich	Direktbeobachtung	Videoanalyse	Pedometer	GPS	Funkortung
Örtliche Gegebenheiten	Geringe Abhängigkeit von geografischen bzw. baulichen Gegebenheiten	Abhängigkeit von Aufbau Videokameras, Einsehbarkeit, Beleuchtung, Stromquellen	relativ unabhängig, nur bei Extensiv- oder Wildtieren Problem Auslesung der Daten	nur im Freiland	Wetterunabhängig, jedoch Infrastruktur nötig, Bebauung u.U. problematisch
Umsetzbarkeit Tierbereich	sehr gut, wenn Tiere nicht gestört werden, keine Anbringung von Sensoren am Tier selbst	sehr gut, wenn Tiere nicht gestört werden, keine Anbringung von Sensoren am Tier selbst	gut, Training und Kontrollen nötig, Wildtiere Anbringung unter Narkose	bei kleinen Geräten gut möglich, ansonsten spezielle Geräte für Wildtiere	derzeit noch problematisch da Prototyp zu groß
Tiergerechtheit	sehr gut, keine Störung der natürlichen Verhaltensweisen	sehr gut, keine Störung der natürlichen Verhaltensweisen	Gut, Sensor wenig störend	Gut, Sensor wenig störend	derzeit noch problematisch, kein natürliches Verhalten möglich
Praktikabilität	einfach und schnell planbar	aufweniger da Kameras errichtet werden müssen	einfach und schnell umsetzbar	einfach und schnell umsetzbar	Aufbau und Umsetzung sehr aufwändig, Auswertung einfach
Zeitaufwand	vergleichsweise hoch	vergleichsweise hoch, durch computer-gestützte Auswertung jedoch evtl. geringer	gering, Auswertung automatisiert, lediglich Kontrolle der Tiere und der Auslesungen	gering, Auswertung automatisiert	Für Erschaffung einer messenden Infrastruktur hoch, für Auswertungen sehr gering
Kostenaufwand	vergleichsweise gering	Infrastruktur Kameras, Beleuchtung, Analyseprogramm	Anschaffung Pedometer, PC, Auslesestation	für einfache Geräte gering, spezielle Geräte oder D-GPS teurer	derzeit noch sehr hoch
Messgenauigkeit	je nach Fragestellung variierend	durch Wiederholungsmöglichkeiten genauer, jedoch Verlust von Informationen möglich	je nach Fragestellung, Gesamtliegeverhalten und Aktivität plausibel	im Bereich +/- 10 Meter wenn permanent gutes Signal vorhanden	im cm-Bereich möglich, je nach Fragestellung und Datenvolumen auch weniger genaue Messungen möglich. Jedoch derzeit noch zu hohe Messfehler.
Fehlerquellen	Fehlplanung, Ermüdung, Differenzen bei versch. Beobachtern	Kamera-Ausfälle, Beleuchtung, Einsehbarkeiten, zu viele Tiere auf einer Stelle	Messausfälle, falsche Anbringung	Signalausfall, Messgeräteaustausch	Fehler in Signalausbreitung durch Bebauung (Metall), Fehler in Messung z-Achse
Fehlerquote	bei entsprechender Planungszeit gering	bei entsprechender Vorbereitung gering	Brust- und Seitenlage nicht unterscheidbar, Unterschiede in Aktivität Vorder- und Hinterbein	Hoch, wenn GPS-Signal gestört	Stehen/Liegen sehr hoch, Aufenthaltsorte gut, Geschwindigkeiten und Wegstrecken plausibel

5.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

5.3.1 Bewegungszustände

Mittels der verschiedenen Messmethoden wurden die Bewegungszustände Schritt, Trab, Galopp, Stehen sowie Liegen in Brust- und Bauchlage unterschieden. Der von allen Messmethoden am häufigsten gemessene Bewegungszustand war „Stehen“. Die Pferde verbrachten durchschnittlich rund 20 Stunden des Tages mit dem Stehen. Die Methoden Video- und Direktbeobachtung ermittelten zusammengenommen eine durchschnittliche tägliche Stehzeit von über 20 Stunden. Bei den Pedometern waren es, je nach Befestigung am Vorder- oder Hinterbein, zwischen 17 und 20 Stunden. Die Funkortung kam nur auf 12:43 Stunden täglicher Stehzeit. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass von der Funkortung 7:52 h Liegen in Bauchlage und 2:20 h Liegen in Seitenlage ermittelt wurden, was deutlich zu viel ist. Dadurch liegt die Vermutung nahe, dass die Messung in der z-Achse (Höhe) nicht richtig arbeitete und die Pferde daher als liegend geortet wurden. Vor allem die Bauchlage ist wahrscheinlich zu großen Teilen dem Stehverhalten zuzuordnen, da in dieser Position der Neigungswinkel des Lagesensors, ebenso wie beim Stehen, gerade war. Auch bei anderen Untersuchungen mit einem ähnlichen Ortungssystem zeigte das System deutliche Schwächen in der z-Achse (NEISEN et al. 2007). Die Autoren führten das auf die Anbringung von Transpondern in verschiedenen Höhen zurück. Auch in der vorliegenden Untersuchung hätte eine höhere Anbringung der Transponder die Werte der z-Achse verbessern können, war aber technisch nicht machbar aufgrund von baulichen Vorgaben.

Die Daten von Video- und Direktbeobachtung können als weitestgehend realistisch angesehen werden. Bei den Pedometerdaten ist davon auszugehen, dass die an den Hinterbeinen gemessenen Stehzeiten mehr der Realität entsprechen, da an diesen weniger Aktivität vorkommt, welche einem anderen Verhalten zugeordnet werden kann. Durch vermehrte Aktivität an den Vorderbeinen, zum Beispiel durch das Graben von Löchern, kommt es hier zu niedrigeren Stehzeiten. Pferde in freier Natur verbringen etwa 50 – 70 % des Tages mit Fressen, was sie im Stehen oder im langsamen Schritt durchführen (ZEITLER-FEICHT 2001b). Auch LEBELT (1998)

ordnet 60 % des täglichen Verhaltensmusters von Pferden dem Grasens im Stehen oder dem langsamem Schritt zu.

Mit Hilfe der statistischen Analyse konnte ermittelt werden, dass außer der Videobeobachtung und der Direktbeobachtung, keine der anderen Methoden den Parameter „Stehen“ zuverlässig erfassen konnte. Im Methodenvergleich ergab sich bei den Zusammenhängen von Interact und Funkortung für den Parameter Stehen zwar ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,82$, dies lag aber nur an der Bestimmung der Regressionsgeraden, welche durch den Nullpunkt des Koordinatensystems gezwungen wurde. Im Scatterplot (Abb. 39) ist deutlich zu erkennen, dass kein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern vorhanden ist, was auch der Korrelationskoeffizient von $R = 0,07$ bestätigt. Durch die Betrachtung des vermehrten Auftretens von falschen Liegezeiten bei der Funkortung in einem Zeitrahmen von mindestens 8 Stunden pro Tag wird jedoch klar, dass eine Analyse keinen Zusammenhang zwischen den Datenmengen ergeben kann. Gleiches gilt für den Methodenvergleich von Funkortungs- und Pedometerdaten. Auch hier ergab sich ein $R^2 = 0,82$, was durch die künstliche Führung der Regressionsgerade durch den Nullpunkt entstand. Ebenfalls durch Betrachtung des Scatterplots (Abb. 40) und Überprüfung des Korrelationskoeffizienten von $R = 0,04$ wird deutlich, dass hier kein Zusammenhang besteht. Dies ist wiederum auf die im Rahmen der Funkortung aufgetretenen falschen Liegedaten bedingt. Vergleicht man die Methoden Videobeobachtung und Pedometer, so ist das Bestimmtheitsmaß mit $R^2 = 0,92$ als sehr gut zu werten, der Korrelationskoeffizient von $R = 0,2$ zeigt jedoch dass kein Zusammenhang nachweisbar ist. Auch hier liegen wieder sehr viele Datenpunkte in der Nähe der Geraden, die geringe Korrelation wird durch die anderen, teils extremen Abweichungen verursacht.

Die Variablen Schritt, Trab und Galopp wurden für die statistische Analyse zum Parameter „Bewegung“ zusammengefasst. Betrachtet man sie jedoch einzeln, wird deutlich dass die Pferde den größten Teil der täglichen Bewegung in langsamem Tempo zurücklegten. So zeigte sich auf der Videobeobachtung der Stallzeiten, dass die Pferde etwa 1,5 Stunden des Tages im Schritt zurücklegten. Hierbei wechselten sie in langsamem Tempo zwischen Fressbereich, verschiedenen Paddocks, Tränken und dem Liegebereich, je nachdem welches Verhalten gerade ausgeübt wurde. Die

Methode Funkortung kam hier auf rund eine Stunde Bewegungszeit, wovon der größte Anteil dem Schritt entsprach. Den schnelleren Gangarten Trab und Galopp kam bei Videobeobachtung und Funkortung jeweils ein Anteil von unter 3 Minuten zu. Bei der Funkortung wurde jedoch die Weidezeit mit erfasst. Da während der Weidezeit mittels Direktbeobachtung höhere Werte (rund 10 Minuten) für die schnellen Gangarten ermittelt wurden, sind hier die 3 Minuten der Funkortung nicht stimmig. Während der vierstündigen Weidezeit wurden von der Direktbeobachtung nur durchschnittlich rund 13 Minuten Schritt ermittelt, was im Vergleich mit rund 10 Minuten schneller Fortbewegung verwunderlich erscheint. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Pferde dort tatsächlich vermehrt in schnelleren Gangarten unterwegs waren, vor allem zu Beginn der Weidezeit. Sie wurden nicht zur Weide geführt, sondern liefen über einen Zugang in einer Gruppe von sechs Pferden dorthin. Dies erfolgte in der Regel im Galopp, ebenso wie der Rückweg, und auch in den ersten Minuten galoppierten oder trabten die Tiere häufig über die Weide, bevor sie zu grasen begannen. Zwischenzeitlich kam es ab und an zu kurzen Schreckmomenten bei den Pferden, weshalb sie auch dann kurzzeitig schnelle Gangarten zeigten. Der geringe Schritanteil lässt sich dadurch erklären, dass die Pferde sich grasend fortbewegten, und daher eigentlich mehr standen, als dass sie eine zielgerichtete Ortsbewegung zeigten. Stehendes Fressen, wenn maximal ein bis zwei Mal pro Minute ein Bein langsam vorwärts bewegt wurde, wurde bei der Direktbeobachtung als Stehen eingeordnet. Auch FRENTZEN (1994) konnte nachweisen, dass sich die Mehrzahl der täglichen Antritte in schneller Gangart auf der Weide ereigneten. Sie ermittelte eine Antrittshäufigkeit in schnellen Gangarten von 32 % auf der Weide und lediglich 2 % in einem Auslaufhaltungssystem. Dies konnte in der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden.

Bei der statistischen Analyse der Bewegungsdaten zeigten sich beim Vergleich der Videodaten mit den Methoden Funkortung ($R^2 = 0,43$) und Pedometer ($R^2 = 0,57$) jeweils ein mäßiger Zusammenhang. Der Vergleich der Bewegungsdaten von Funkortung und Pedometer erreichte mit $R^2 = 0,7$ einen guten Zusammenhang. Die Methoden Funkortung und Pedometer scheinen also beide mit Abstrichen geeignet, das Bewegungsverhalten von Pferden zu erfassen.

Bei der Betrachtung der von den verschiedenen Methoden ausgegebenen Liegedaten zeigen sich deutliche Unterschiede. Vor allem die Funkortung ermittelte mit durchschnittlich über 10 Stunden Liegen pro Tag sehr hohe Werte, welche nicht plausibel sind. Wie jedoch bereits erwähnt, ist dies auf die schlechte Funktionalität der z-Achse zurückzuführen. Wo die tatsächlichen Liegedauern der Pferde angesiedelt sind, lässt sich mit dieser Methode daher nicht ermitteln. Die Videobeobachtung im Stall kam auf Gesamtlichegezeiten von rund zwei Stunden pro Tag. Mittels Direktbeobachtung auf der Weide wurden nur sehr kurze Liegeperioden ermittelt, welche sich nicht durch Liegen im eigentlichen Sinne, sondern durch Wälzvorgänge ergaben. Die Liegezeit im Stallbereich impliziert zwar auch einige kurze Wälzvorgänge, hier handelt es sich aber meist um tatsächliche Ruheperioden der Pferde. Die durchschnittliche tägliche Ruhezeit von Pferden wird in der Literatur mit 7 Stunden angegeben (SCHÄFER 1993), davon liegen Jungtiere am häufigsten in Brustlage, Fohlen mehr in Seitenlage. WÖHR und ERHARD (2006) ermittelten in ihren Untersuchungen fünf Stunden Schlaf pro Tag, davon zwei Stunden in Brustlage und 45 Minuten in Seitenlage, ansonsten wurde stehend geruht. Jüngere Pferde liegen generell mehr, weshalb die von der Videobeobachtung ermittelten Daten plausibel sind. Die Daten der Funkortung erscheinen auf den ersten Blick bereits unplausibel, was sich auch in der statistischen Analyse bestätigte. Der Vergleich von Funkortung und Videobeobachtung sowie Pedometerdaten ergab ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,1$ und $R^2 = 0,11$, es besteht also kein linearer Zusammenhang. Als logische Konsequenz waren auch die Vergleiche von Seiten- und Bauchlagen betroffen und zeigten keinen Zusammenhang. Wurden jedoch bezüglich der Gesamt-Liegedauer die Daten der Videobeobachtung mit denen der Pedometer verglichen, so ergab sich eine fast perfekte Korrelation von $R = 0,99$. Betrachtet man nun die Parameter Seiten- und Bauchlage genauer, sind die Korrelationen nicht mehr so gut. Im Methodenvergleich der Videobeobachtung mit den Pedometerdaten wurde bei der Seitenlage mit $R^2 = 0,26$ und $R = 0,47$ nur ein sehr mäßiger Zusammenhang ermittelt. Beim Parameter Bauchlage war es mit $R^2 = 0,62$ und $R = 0,77$ etwas besser. Dies legt nahe, dass die Methode der Pedometer sehr gut das Gesamtlichegeverhalten von Pferden erfassen kann, die Unterscheidung zwischen Bauch- und Seitenlage jedoch nicht klar funktioniert. Die

Methode der Funkortung ist für die Erfassung des Liegeverhaltens derzeit nicht geeignet, so lange die Funktionalität der z-Achse nicht sichergestellt ist.

5.3.2 Aufenthaltsorte

Es muss zunächst erwähnt werden, dass viele Grenzen der Sektoren willkürlich gewählt wurden und rein gedankliche Zonengrenzen darstellten. Beispielsweise wurde die Weide in 4 Sektoren unterteilt, bestand in der Realität jedoch nur aus einem zusammenhängenden Grundstück. Daher konnte es vorkommen, dass Pferde beispielsweise mit dem vorderen Körperteil in einem, und mit dem hinteren Körperteil in einem anderen Sektor waren. Die Funkortung ortete mit der am Pferd befestigten Basisstation immer die Mitte des Pferdekörpers, bei der Beobachtung durch Menschen war es hingegen nicht immer sicher feststellbar, in welchem Bereich das Pferd sich gerade aufhielt. Dadurch ist es möglich, dass es zu gering gradigen Schwankungen in den Beobachtungen kam. Dies kommt besonders auf der Weide und in den Liegebereichen zum Tragen, wenn die Tiere sich in Zonengrenzen aufhielten. An den Tränken bestand das Problem, dass Pferde teilweise im Vorübergehen an der Tränke als trinkend geortet wurden, da der Tränkebereich mit 3 x 3 Meter relativ groß gewählt werden musste, um ein trinkendes Pferd zu registrieren. Da sich die Basisstation ja am Rücken der Tiere befand, wären die Pferde sonst nicht nahe genug an die Tränke herangekommen, um sicher in diesem Sektor geortet zu werden.

Anhand der Daten aus der Videobeobachtung wird deutlich, dass die Pferde den meisten Teil des Tages im Fressbereich verbringen. Weiteren großen Anteil haben die Bereiche, welche sich an den Fressbereich mehr oder weniger direkt anschließen, insbesondere das Vordach 3, die Paddocks 3 und 2 sowie die hauptsächlich genutzte Tränke 3. Teilweise wurden noch das Vordach 2, die Ausweichtränke 2 und die Liegebereiche 3 und 4 genutzt. Deutlich seltener wurden die Liegebereiche 1 und 2, Vordach 1 und Paddock 1 genutzt, da der Weg für die Pferde vom Fressbereich aus dorthin weiter war. Die Benutzung dieser Teile kam zum größten Teil dadurch zustande, dass der tägliche Weg zum Weidegang hindurch führte. Auch hielt sich das rangniedrigste Pferd, welches sich häufig von der Herde absonderte, vermehrt in diesen Bereichen auf.

Von der Aufenthaltsdauer im Fressbereich abgesehen, konnte auch die Funkortung diese Tendenzen aus der Videobeobachtung mit teilweise guter Übereinstimmung bestätigen. Mit fast 9 Stunden verbrachter Zeit im Fressbereich liegt die Videobeobachtung jedoch deutlich über den von der Funkortung ermittelten rund 3 Stunden. Hier muss aber berücksichtigt werden, dass die Funkortung aufgrund der starken metallischen Verbauung im Fressbereich nicht richtig messen konnte. Es kam zu sehr vielen Reflektionen nach außerhalb des Fressbereiches, wo die Tiere dann geortet wurden. Dies war einerseits das Vordach 3, weiterhin die Liegebereiche 3 und 4, sowie nach außerhalb des Stalles, erfasst als „Sonstiges“. Dies erklärt auch die hohe Stundenzahl, welche die Pferde in „Sonstiges“, also außerhalb des definierten Stallbereiches, verbracht haben sollen. Addiert man diese Werte, so erhält man plausible Daten zur Aufenthaltsdauer, auch im Fressbereich. Durch die Reflektionen kam es auch vermehrt dazu, dass die Pferde in Bauchlage liegend im Fressstand geortet wurden. Dies lässt sich allein durch Beobachtungen als unplausibel erklären. Jedoch wird dadurch nicht ganz klar, wie viel Zeit die Pferde tatsächlich in den Liegebereichen und unter dem Vordach 3 verbracht haben. Die Videobeobachtung zeigt mit über 2 Stunden nicht unerhebliche Zeiten, welche direkt vor den Fressständen im Vordach 3 verbracht wurden. Im statistischen Vergleich der Daten von Funkortung und Videobeobachtung korrelieren die Aufenthaltsdauern im Fressbereich nur sehr mäßig ($R = 0,38$), was sich durch die Messdifferenzen für den Bereich „Sonstiges“ erklären lässt (Reflektionen). Zwischen dem Bereich „Sonstiges“, gemessen von Funkortung und Video, besteht wie erwartet keinerlei Korrelation ($R = 0,04$). Im Rahmen der Videobeobachtung wurde „Sonstiges“ nur definiert, wenn die Pferde sich auf dem Weg zwischen Stallbereich und Weide befanden. Um den Reflektionsfehler im Fressbereich abzuschwächen, wurden versuchsweise die Daten der Funkortung von „Sonstiges“ und „Fressbereich“ addiert, und mit „Fressbereich“ Videobeobachtung verglichen. Hierbei ergaben sich plausiblere Werte, wobei noch immer Reflektionen unbekannter Größe in Liegebereich 3 und 4 sowie Vordach 3 zu berücksichtigen sind.

In den Außenbereichen (Paddocks) zeigten sich im Rahmen der statistischen Analyse gute Übereinstimmungen zwischen Funkortung und Videobeobachtung. Sowohl die Ortungen in Paddock 1 ($R = 0,88$), als auch in Paddock 2 ($R = 0,81$) und Paddock 3 ($R = 0,95$) stimmten zu großen Teilen mit den Videodaten überein. Hier

kam zum Tragen, dass in den Außenbereichen nur sehr wenige metallische Bauteile vorhanden waren, welche den Empfang der Ortung störten oder verfälschten. Im Bereich der Vordächer (1-3) waren die Werte wiederum schlechter, möglicherweise durch vermehrte Metallteile. Hier waren Ecken und ganze Holzbalken aufgrund von Bisschäden mit Metallummantelungen verkleidet. Vordach 1 zeigte eine sehr mäßige Korrelation ($R = 0,38$) mit den Daten der Videos, was möglicherweise daran lag, dass sich ein Transponder direkt über dem Vordach 1 befand, und dieser nach steil unten nicht so gut orten konnte. Vordach 2 korrelierte gut ($R = 0,78$), während beim Vordach 3 ($R = 0,6$) wiederum schlechtere Zusammenhänge auftraten. Hier kamen aber, durch die Nähe zum Fressbereich, sicherlich wieder die Störungen durch Reflektionen am Metall zum Tragen.

An den Tränken wurde generell wenig Zeit verbracht, und diese prozentual besonders häufig an der Tränke 3, welche in direkter Nähe des Fressstandes lag. Tränke 4, im Liegebereich, wurde besonders selten frequentiert. Tränke 1 und 2 wurden nahezu gleich häufig frequentiert, wobei die Tränke 2 genutzt wurde, wenn Tränke 3 durch ein anderes Pferd besetzt war. Tränke 1 wurde regulär relativ wenig benutzt, war aber die erste erreichbare Tränke auf dem Heimweg von der Weide. Da die Pferde häufig durstig zurückkehrten, nutzten sie gleich die erste Tränke. Die Funkortung zeigt generell an den Tränken etwas höhere Verweilzeiten an, vor allem bei der oft frequentierten Tränke 3. Dies lässt sich jedoch durch den, per definitionem, großen Tränkebereich erklären. Daher besteht die Möglichkeit, dass die Pferde teilweise auch im Vorbeigehen an der Tränke dort geortet wurden, obwohl sie gar nicht getrunken haben. Die genauere Differenzierung eines solchen Verhaltensmerkmals lässt sich also nicht so gut automatisch erfassen. Die statistische Beurteilung ergab für die Tränken 1-3 sehr gute Korrelationen mit den Werten der Funkortung. Vor allem die Werte für die Tränke 1 ergaben mit $R = 0,98$ einen sehr guten Zusammenhang. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Pferde nur wenig Zeit des Tages dort verbrachten, es also wenig Verfälschungen durch vorbeilaufende Pferde gab. Begaben sich die Pferde zur Tränke 1, dann auch wirklich um dort zu trinken. Auch Tränke 2 ($R = 0,89$) und Tränke 3 ($R = 0,89$) zeigten sehr gute Korrelationen im Vergleich mit den Daten aus der Videobeobachtung, wahrscheinlich ebenfalls weil sie sich im, wenig störungsanfälligen, Außenbereich befanden. Tränke 4, im Innenbereich des Stalles gelegen, zeigte keinen

Zusammenhang ($R = 0,1$) zwischen den Messmethoden. Dies kann zum einen daran liegen, dass die Tränke 4 in der Nähe von Metallteilen lag, und weiterhin sehr selten tatsächlich zum Trinken genutzt wurde. Durch den, aufgrund von zu starken Überschneidungen im Liegebereich etwas kleiner bemessenen Ortungsbereich von $3 \times 1,5$ Metern (statt 3×3 m wie bei den anderen Tränken), besteht zum Anderen jedoch auch die Möglichkeit, dass die Pferde nicht nahe genug an die Tränke kamen, um dort geortet zu werden.

Im Innenbereich des Stalles waren die Messungen etwas schlechter, da auch hier viele Metallteile vorhanden waren. Die Daten von Liegebereich 1 ($R = 0,68$) und Liegebereich 2 ($R = 0,75$) korrelierten trotzdem relativ gut mit den Videodaten, da es in diesen Bereichen nicht zu einer Spiegelung von Daten aus dem Fressbereich kam. Liegebereich 3 ($R = 0,14$) war besonders stark davon betroffen, während sich Liegebereich 4 ($R = 0,65$) den Videodaten annäherte.

Bei den Aufenthaltshäufigkeiten in den verschiedenen Weidebereichen ergab sich per Direktbeobachtung eine vermehrte Nutzung der Bereiche 2 und 4. Diese hinteren Bereiche waren schattig und boten eine gute Grasnarbe. Im Bereich 1 hielten sich die Pferde vermehrt auf, wenn sie vor dem Weidetor standen und hinaus wollten, außerdem im schattigen Randbereich. Die Funkortungsdaten konnten diese Feststellungen teilweise bestätigen. Die Übereinstimmungen waren mit $R = 0,69$ für Weide 1, $R = 0,34$ für Weide 2, $R = 0,42$ für Weide 3 und $R = 0,64$ für Weide 4 jedoch nicht so gut wie in stallnahen Außenbereichen. Vermutlich ist die Ursache dafür darin zu suchen, dass die Dichte der Transponder auf der Weide nicht so hoch war wie am Stall. Weiterhin konnten die Transponder nur auf einer maximalen Höhe von 3 Metern befestigt werden, und strahlten dementsprechend flach in das Weidegebiet, was ebenfalls Ortungsprobleme verursachen kann. Auch muss hier als Fehlerquelle in Betracht gezogen werden, dass bei den Direktbeobachtungen, welche als Vergleichsmethode dienten, Fehler unterlaufen sein können.

Insgesamt konnte die Funkortung bei der Feststellung der Aufenthaltsorte gute bis sehr gute Ergebnisse liefern, vor allem in den Außenbereichen. Lediglich in Bereichen, in denen sehr viel Metall verbaut war, oder bei geringer Transponderdichte, waren die Ergebnisse deutlich schlechter. Wenn dieses Wissen

berücksichtigt wird, sind die erhobenen Daten als gut einzuordnen. Jedoch wäre es in Zukunft erstrebenswert, mit der Funkortung in Bereichen zu messen, in denen möglichst wenige Metallteile verbaut sind, was bei einem eventuellen Neubau von Versuchsstallanlagen berücksichtigt werden müsste.

5.3.3 Wegstreckenbestimmung

Die Evaluierung der Messung von Wegstrecken durch die Funkortung wurde zunächst ohne Pferde durchgeführt. Hierbei wurde die so genannte Ortstreue bestimmt, die Basisstationen also an einem Ort abgelegt und die zurückgelegte Wegstrecke gemessen, um ihre Ortungsstabilität in einem Sektor zu bestimmen. Hierbei kam es zu gemessenen Wegstrecken, obwohl die Basisstationen sich nicht bewegten. Die Schwankungen in der Ortungsstabilität nahmen mit steigender Zeit zu. So wurde nach einer Minute eine durchschnittliche Wegstrecke von 0,5 Metern ermittelt, was jedoch durchaus nachvollziehbar ist, da ein Sektor selbst schon 0,5 x 0,5 Meter misst. Mit steigender Minutenzahl stieg auch die zurückgelegte Wegstrecke durch Ortung der Basisstation in mehreren, dicht beieinander liegenden Sektoren. Dadurch ergeben sich angeblich zurückgelegte Wegstrecken. Bei einer Messung von 60 Minuten ergab sich eine durchschnittlich ermittelte Wegstrecke von rund 30 Metern. Durch die hohe Anzahl von Messungen (vier pro Sekunde) kommen kleine Schwankungen im georteten Sektor bei der Wegstreckenbestimmung stark zum Tragen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese Schwankungen vermehrt auftreten, wenn das Objekt völlig still steht. Bei Pferden und anderen Tieren ist nicht damit zu rechnen, dass sie über einen längeren Zeitraum völlig bewegungslos an einem Ort verharren. Durch die genaue Überwachung der Tiere per Video konnten länger als 20 Minuten andauernde Reglosigkeiten nicht festgestellt werden. Was in diesem Zusammenhang wahrscheinlich eher als problematisch zu sehen ist, sind die vielen kleinen Schritte ohne wirkliche Ortsbewegung, welche die Pferde im Fressbereich häufig durchführten. Dadurch wurde die Basisstation immer wieder zwischen zwei oder mehreren Sektoren hin und her bewegt und maß eine zurückgelegte Wegstrecke, ohne dass die Pferde wirklich eine Ortsbewegung zeigten. Dem könnte man eventuell durch eine Vergrößerung der Sektoren auf eine Kantenlänge von einem Meter entgegenwirken, es ist jedoch fraglich ob die Messungen dadurch nicht auch wiederum ungenauer werden.

Als weiterer Evaluierungstest wurden mit den Basisstationen vorher festgelegte Wegstrecken gemessen. Dies erfolgte zum einen im geringmetrischen Bereich, wo definierte Wegstrecken an einer Messlatte entlang bewegt oder abgegangen wurden, zum anderen auch im Kilometerbereich mit Hilfe der automatischen Führanlage für Pferde, welche auch in definierten Geschwindigkeiten bewegt werden konnte. Hierbei zeigte sich Verschiedenes. Im Messbereich unter einem Meter war die Messung eher schlecht, was aus der geringen Auflösung des in 0,5 x 0,5 Meter große Sektoren untergliederten Untersuchungsfeldes resultiert. Durch die zu durchschreitenden Sektoren mit einer Kantenlänge von 0,5 x 0,5 Metern ist eine so genaue Messung also in der Regel gar nicht möglich. Messungen über einem Meter waren genauer, wenn sie nur in einfacher Strecke gemessen wurden. Beim doppelten Begehen von Strecken, beispielsweise wenn für eine Messung von acht Metern eine Strecke von vier Metern hin und zurück begangen wurde, waren die Messwerte deutlich schlechter. Die ist bedingt in der Durchschreitung derselben Sektoren innerhalb kurzer Zeit, so dass diese nicht als doppelt durchschritten registriert wurden und es zu deutlich niedrigeren gemessenen Wegstrecken kam. Für die Praxis und die Untersuchung am Pferd ist dies jedoch eher als Vorteil anzusehen. Es kommt eher selten dazu, dass ein Pferd in gerichteter Ortsbewegung eine Strecke begeht, und innerhalb kurzer Zeit exakt die gleiche Strecke zurückläuft. Was eher vorkommt, ist dass sich ein Pferd beispielsweise zwei Schritte nach vorne bewegt, zwei Schritte auf gerade Linie wieder zurückgeht, um sich dann möglicherweise wieder nach vorne zu bewegen. Dies war besonders im Bereich der Fressstände oder Tränken häufig zu beobachten, oder auch bei innerartlichen Auseinandersetzungen oder Spielen. Dadurch gereicht es für eine plausible Wegstreckenmessung zum Vorteil, wenn innerhalb kurzer Zeit mehrfach durchschrittene Sektoren nicht mehrfach berechnet werden. Anders läge der Fall, wenn das Funkortungssystem zur Überprüfung von Trainingseinheiten in einer automatischen Führanlage eingesetzt würde. Eine solche Anlage besteht aus einem Laufkreis mit einem Durchmesser von rund 50 Metern, in dem sich zu trainierende Pferde in verschiedenen Geschwindigkeiten im Kreis bewegen können. Stellt man maschinell eine niedrige Geschwindigkeit ein, so dauert eine Umrundung auf der Kreisbahn rund zwei Minuten, bei höheren Geschwindigkeiten entsprechend weniger, auf der vollen Geschwindigkeit nur 12 Sekunden. Wurde nun eine Basisstation an

einem Trenngitter im Laufkreis befestigt, so bewegte sie sich automatisch auf der Bahn im Kreis. Bei niedrigen Geschwindigkeiten dauerte es somit über zwei Minuten, bis derselbe Sektor erneut durchschritten wurde. Dadurch waren die gemessenen Wegstrecken sehr exakt. Bei einer höheren Anzahl von gemessenen Runden kam es zwar zu leichten Schwankungen da die gleichen Sektoren immer wieder durchquert wurden, jedoch waren diese relativ unbedeutend. Bei höheren Geschwindigkeiten nahm die Messgenauigkeit ab. Wurde nur eine Runde gemessen und dann die Messung gestoppt, so war die Wegstreckenmessung trotz mittleren und hohen Geschwindigkeiten immer noch sehr exakt. Mit zunehmender Rundenzahl und steigender Geschwindigkeit wurde diese jedoch ungenauer, was auf einen starken Zusammenhang mit der Problematik der innerhalb zu kurzer Zeit durchschrittenen Sektoren hinweist.

Im Methodenvergleich konnte das System der Funkortung, die Wegstreckenmessung betreffend, nur mit den Pedometern verglichen werden. Eine Wegstreckenmessung mittels Video- oder Direktbeobachtung ist sehr aufwändig und erfordert strenge Standardisierung (z.B. Aufsicht auf die Tiere von oben), um die Daten anschließend beispielsweise mit einem automatischen Programm auswerten zu können. Da dies im vorliegenden Versuch nicht möglich war, blieb als direkt vergleichbare Messmethode nur GPS. Durch das Totalversagen dieser Methode konnten jedoch nicht ausreichend Daten für einen Vergleich herangezogen werden, weshalb für die Wegstrecken-Überprüfung die Methode der Pedometer diente. Pedometer können Wegstrecken nicht direkt messen, weshalb die zurückgelegte Wegstrecke anhand der gemessenen Bewegungsimpulse geschätzt wurde. Hier war zu berücksichtigen, dass es an den, sowohl an Vorder- als auch Hinterbein angebrachten, Pedometern zu deutlichen Schwankungen in der Aktivitätsmessung kam. Dadurch variierten auch die Schätzwerte der zurückgelegten Wegstrecken. So kam es dazu, dass das System der Funkortung eine durchschnittliche tägliche Wegstrecke von rund 9,5 km maß, davon entfielen im Schnitt 3,1 km pro Tag auf die Weidezeit von vier Stunden. Die Schätzwerte der Pedometer lagen bei Anbringung am Vorderbein bei rund 8,5 km und bei der Anbringung am Hinterbein bei rund 6,5 km. Vergleicht man diese tägliche Bewegungsdauer mit Vergleichswerten aus der Literatur, so erscheint der Anteil, welcher auf der Weide zurückgelegt wurde, durchaus plausibel. Pferde in freier Natur legen täglich bis zu 25 km grasend zurück (ULLSTEIN 1996). Auch eine

Verfälschung durch Spiegelungen an metallischen Gegenständen ist auf der Weide auszuschließen. Da die Versuche ohne Pferde ebenfalls im Freien stattfanden und durchweg gute Ergebnisse erzielten, sind diese Werte als plausibel einzuschätzen. Eine für den Stallbereich verbleibende, zurückgelegte Wegstrecke (Ortungssystem) von 6,5 km im Stall ist jedoch vorsichtig zu beurteilen. In früheren Versuchen zeigte sich, dass Pferde aus eigenem Antrieb keine weiten Strecken im Stall zurücklegen und für jede zielgerichtete Bewegung den kürzesten Weg wählen (FRENTZEN 1994). Auch in der Überprüfung der Aufenthaltsorte konnte klar herausgearbeitet werden, dass die Pferde die meiste Zeit des Tages im Fressbereich standen oder nahe gelegene Bereiche aufsuchten. Zum Trinken wurde beispielsweise die, dem Fressbereich am nächsten gelegene, Tränke deutlich am häufigsten frequentiert. FRENTZEN konnte eine tägliche Wegstrecke von 4,8 km ermitteln, als sie Haflingerpferde in einer Auslaufhaltung einer hohen Fütterungsfrequenz als Bewegungsanreiz aussetzte. Bei einer reinen Weidehaltung derselben Tiere kam sie hingegen auf 8,4 km täglicher Bewegung, welche sich durch die grasende Fortbewegung ergab. PIOTROWSKI (1992) ermittelte lediglich eine täglich zurückgelegte Strecke von rund 3 km in einem Auslaufhaltungssystem für Pferde. Dies legt nahe, dass Pferde sich aus eigenem Antrieb nur wenig bewegen, und für Bewegungsaktivitäten Impulse benötigen. Diese lassen sich am effektivsten durch Futteranreize erzielen (FRENTZEN 1994), jedoch konnte auch beobachtet werden, dass Pferde in Auslaufhaltungen bestimmte Plätze aufsuchen, um zu Koten und zu Urinieren (FADER 2001; LAMOOT et al. 2004). In der vorliegenden Untersuchung konnte beobachtet werden, dass zum Koten der Platz vor den Fressständen, zum Urinieren der Liegebereich (aufgrund der Einstreu) bevorzugt wurde. Um dorthin zu gelangen, wurden von den Pferden Wege zurückgelegt. Auch das Liegen im Sand war besonders beliebt und zog die Pferde in die mit Sand eingestreuten Gebiete (Paddocks), wenn sich Liegevorgänge ankündigten. SCHÄFER (1993) beschreibt die bevorzugten Liegeplätze von Wildpferden als offene, trockene Stellen, an welche von allen Seiten der Wind hinzutritt. Die Pferde im vorliegenden Versuch schliefen am häufigsten in den Außenpaddocks der Anlage, welche die vorher genannten Kriterien voll erfüllten. Im Liegebereich ruhten sie ausschließlich an drei Tagen der Messungen, als Dauerregen herrschte. Ansonsten nutzen sie den Liegebereich vereinzelt zum stehenden Ruhen am Tage, für Verfolgungsspiele und zum Urinieren.

Durch den häufigen Aufenthalt der Pferde im Fressbereich kam es zu vielen Spiegelungen am Metall, was durch die häufige Ortung im Sektor „Sonstiges“ verifiziert wurde. Dadurch wurden vermehrt Sektoren durchquert, ohne dass die Pferde wirklich dort waren, allein durch den Anteil der Spiegelungen. Daher ist ein gewisser Anteil der von der Ortung gemessenen Wegstrecke vom Gesamtweg abzuziehen. Wie viel das genau ist, muss in weiterführenden Untersuchungen evaluiert werden. Andererseits stand den Pferden ein großes Platzangebot zur Verfügung, und durch Raumteiler mussten sie gewisse Wegstrecken zurücklegen, um von einem Funktionsbereich in einen anderen zu gelangen. Auch zeigten die jungen Stuten viel Spielverhalten untereinander, was ebenfalls in eine Wegstreckenmessung mit einfließt. Ein Teil der zurückgelegten Wegstrecken kann auch durch menschliches Eingreifen forciert worden sein. Zum Einen wurden die Pferde oft mit Spielzeugen beschäftigt, um sie von den Gurten abzulenken, was wiederum Bewegung in der Gruppe verursachte. Zum Anderen musste häufig in die Gruppe hinein gegangen und die Pferde vom Beschädigen der Gurte abgehalten werden. Auch das verursachte jedes Mal eine außerplanmäßige Bewegung in der Pferdegruppe. Daher ist es naheliegend, dass die Messung der Wegstrecken unter Normalbedingungen wiederholt werden müsste, während dessen die Tiere keine Störungen von außerhalb erfahren dürften. Dies ist jedoch, zum jetzigen Entwicklungsstand des Prototyps, noch nicht möglich. Erst mit einer Verkleinerung der Geräte können diese unbeaufsichtigt von den Pferden getragen werden, ohne beschädigt zu werden oder ihrerseits die Tiere in ihrem natürlichen Verhalten zu beeinflussen.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Die vorliegende Untersuchung, im Rahmen derer verschiedene Methoden zur Verhaltensfassung beim Pferd verglichen wurden, zeigte die Eignung aller Messmethoden, je nach Einsatzgebiet und Anforderungsprofil. Direkt- und Videobeobachtung erwiesen sich als sehr genau, mit ihrer Hilfe konnte Verhalten sehr gut erfasst und ausgewertet werden. Allerdings handelte es sich hier um sehr zeitaufwendige Methoden. Weniger zeitaufwendig stellten sich ALT-Pedometer als Messmethode dar. Diese hatten jedoch den Nachteil, dass sie nur die Aktivität der Tiere erfassen, sowie das Liegeverhalten. Hierbei konnte das Gesamt-Liegeverhalten sehr gut erfasst, beim Liegeverhalten aber nicht klar zwischen Brust- und Seitenlage differenziert werden. Auch spezielle Verhaltensweisen wie Fressverhalten, Spielverhalten oder Ausscheidungsverhalten konnten Pedometer nicht detektieren. Ebenso geben die Pedometerdaten keinerlei Hinweise auf Ereignisse, welche sich in der Umgebung der Tiere abspielen. Auch können sie zurückgelegte Wegstrecken nicht direkt erfassen, diese können nur anhand von Schätzformeln nachträglich ermittelt werden. Sie zeigen somit nur einen sehr kleinen Ausschnitt aus dem Verhalten der Tiere. Für Untersuchungen, welche Aktivität oder Liegeverhalten fokussieren, können sie jedoch eine gute Messmethode sein und beispielsweise unterstützend zu Videoaufnahmen oder Direktbeobachtungen eingesetzt werden. GPS erwies sich in der gelaufenen Untersuchung als gänzlich untauglich zur Nutzung in stallnahen Bereichen. Der Satellitenempfang war in der Regel zu schlecht und wurde durch das Stallgebäude und Einrichtungsgegenstände, sowie andere Pferde ständig gestört. Möglicherweise übte auch die Funkortungsanlage störenden Einfluss auf den GPS-Empfang aus, was jedoch nicht verifiziert werden konnte. Im Freiland, wenn es nicht möglich ist, andere Geräte zu benutzen, ist GPS eine essentielle Hilfe. Vor allem bei Wildtieren oder extensiv gehaltenen Tieren in landschaftlich abseits liegenden Regionen ist es gut einsetzbar. Auch für Sportpferde, welche in Wettkampf und Training Geländestrecken zurücklegen, ist es eine wertvolle Unterstützung im Hinblick auf die Beurteilung von Trainingserfolgen und Wettkampfleistungen. Der Einsatz einer neuartigen Funkortungstechnik als Messmethode im Pferdebereich bringt einiges an Arbeitserleichterung mit sich, was die automatisierte Verhaltensfassung angeht. Aufenthaltshäufigkeiten in

bestimmten Bereichen, Geschwindigkeiten und zurückgelegte Wegstrecken können automatisch erfasst werden, ohne diese noch auswerten oder umrechnen zu müssen. Auch ist es möglich, diese Daten sofort nach Erhalt grafisch darzustellen. Verschiedene Verhaltensmuster können jedoch nicht erfasst werden, beispielsweise Pferd-Pferd-Interaktionen, Ausscheidungsverhalten oder Futteraufnahmeverhalten. Letzteres kann jedoch beispielsweise mit den Daten einer automatischen Fütterungsanlage abgeglichen werden. Auch Informationen aus der direkten Umgebung der Pferde werden nicht erfasst und können nicht berücksichtigt werden. Daher wäre es sinnvoll, eine Funkortungstechnik mit einer Videoanlage zu kombinieren, um bei Bedarf eventuell unklare Situationen auf dem Videomaterial zu differenzieren. Dies ist jedoch auch eine Kostenfrage. Um das System in Zukunft breiter einsetzbar zu machen, müssten zunächst die Kosten reduziert werden. Auch die nicht tiergerechte Größe und Unpraktikabilität der mobilen Systeme wäre noch deutlich zu verbessern. Wünschenswert wären Geräte in Streichholzsachtelgröße, die beispielsweise am Halfter der Pferde getragen werden könnten. Auch die Verkleinerung auf implantierbare Größen – bis hin zu berührungslosen Techniken – wäre sinnvoll, da die Geräte dann nicht mehr verloren werden könnten und der Beobachtungs- und Beaufsichtigungsaufwand deutlich sinken würde, und die Tiere ihrem natürlichen Verhalten nachgehen können. Im Zuge der 2009 eingeführten allgemeinen Mikrochip-Pflicht für Equiden wäre es auch sehr gut, wenn die Möglichkeit bestünde, die bereits vorhandenen Mikrochips zu orten. Es wäre sicherlich eine gute Möglichkeit, in vielen verschiedenen Ställen und Stallsystemen das Bewegungsverhalten von Pferden zu untersuchen und herauszufinden, wie viele Meter pro Tag die Tiere unter verschiedensten Praxisbedingungen zurücklegen. Auch die im Stall gezeigten Bewegungszustände wären interessant, hierfür müsste zunächst jedoch die Funktionalität der z-Achse überarbeitet werden, um Stehen von Liegen besser unterscheiden zu können.

Als Nebeneffekt konnte in dem durchgeführten Methodenvergleich festgestellt werden, dass die Pferde die größten Strecken während der täglichen vierstündigen Weidezeit zurücklegten. Dies taten sie in langsamem Tempo, Schritt und Stehen, während sie grasten. Dies entspricht dem natürlichen Verhalten des Pferdes am meisten, eine stetige, langsame Fortbewegung in Kombination mit der Futteraufnahme vom Boden. Artgerechte Stallsysteme für Pferde sollten so

eingrichtet sein, dass die Tiere diesem Bedürfnis nachkommen können. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass die Pferde sich ohne Futteranreize nicht eigenständig bewegen (FRENTZEN 1994), und auch großzügige Platzangebote nicht nutzen, wenn dort kein zielgerichtetes Verhalten möglich ist, wie beispielsweise auf einer unbegrünten Auslauffläche (HOFFMANN 2008). Neuartige Stallsysteme wie der so genannte Aktivstall[®] (Firma HIT) versuchen, die Pferde vermehrt zur Bewegung zu animieren. Ob, und in welchem Umfang, dies gelingt, könnte sehr gut mit Hilfe einer Funkortungstechnik evaluiert werden. Sie könnte genau darauf verweisen, welches Pferd sich wie häufig in welchen Bereichen aufhält, und welche Wegstrecken es zurücklegt, um dort hin zu gelangen. Dies könnte wertvolle Hinweise für zukünftige, tiergerechte Stall- und Auslaufbauweisen geben. Mit einer Verkleinerung der Geräte einhergehend, gilt das ebenso für Pferde wie andere Nutz- und Hobbytiere wie beispielsweise Ziegen, Lamas, Alpakas oder auch Strauße, deren Haltungssysteme analog denen der Pferde ebenso verbessert werden könnten. Auch das große Gebiet der Zootier-Ethologie könnte von einem Einsatz dieser neuen Technik profitieren, indem Nutzungsbereiche und Wegstrecken für vorhandene Gehege bestimmt werden, mit dem Ziel diese tiergerechter gestalten zu können.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Moderne Pferdehaltung in Deutschland beinhaltet noch immer vor allem Einzelboxenhaltung, mit einem stetigen Trend zur artgerechteren Aufstallung, welche die Haltung in einer Gruppe sowie eine vermehrte Bewegung der Tiere impliziert. Es ist jedoch fraglich, wie viel sich Pferde aus eigenem Antrieb am Tag fortbewegen, und wie verschiedene Bereiche eines solchen artgerechten Stalles frequentiert werden. Die exakten Ansprüche des Pferdes müssen noch genauer evaluiert werden. Dies ist jedoch mit großem Aufwand verbunden, da herkömmliche Beobachtungsmethoden vor allem sehr zeitaufwendig sind. In der vorliegenden Untersuchung wurden verschiedene Methoden zur Verhaltenserfassung miteinander verglichen, insbesondere in der Anwendung am Pferd und im Einsatz bei einer Gruppen-Auslaufhaltung. Zum Einsatz kamen die Methoden Direktbeobachtung, Videobeobachtung, GPS, ALT-Pedometer sowie eine neuartige Methode der Funk-Ortung. Nachdem die neue Methode der Funk-Ortung aufgebaut, getestet und die Versuchspferde an das Tragen von Geräten und Gurten gewöhnt worden waren, wurde das Verhalten von neun Pferden über eine Episode von jeweils 24 Stunden erfasst. Hierfür wurden alle vorher genannten Methoden eingesetzt und diese miteinander verglichen. Pedometer wurden sowohl an Vorder- als auch an Hinterbeinen angebracht, um die Unterschiede in der Methodik ebenfalls zu erfassen. Im Vergleich der Methoden untereinander wurde die Video-Analyse als Gold-Standard gewählt und die Messungen mittels der anderen Methoden damit verglichen. Es konnte herausgearbeitet werden, dass Direktbeobachtung und Videoanalyse sehr genaue, aber auch sehr arbeitsintensive Methoden zur Erfassung von Verhaltensdaten darstellen. Die GPS-Technologie erzielte im Stall und in stallnahen Bereichen naturgemäß nur sehr schlechte Ergebnisse, aufgrund des mangelnden Sichtkontaktes zu den entsprechenden Satelliten. Auch die Technik der Pedometrie konnte nicht alle Verhaltensdaten erfassen. Zum einen können von den ALT-Pedometern ausschließlich Aktivität, Liegeverhalten und Temperatur erfasst werden. Aufenthaltsorte und ausgewählte Verhaltenskreise wie Futteraufnahme-, Ausscheidungs- oder Spielverhalten sowie die, für das Verhalten des Pferdes sehr wichtigen, Stereotypen bleiben unberücksichtigt. Zum anderen konnten die ALT-Pedometer auch im Bereich Liegeverhalten nicht überzeugen, da sie nicht klar

zwischen Brust- und Seitenlage unterscheiden konnten. Die neue Technik der Funkortung beinhaltete zunächst umfangreiche Baumaßnahmen zur Installation des Systems. Auch die am Tier zu tragenden Geräte mussten zunächst verkleinert, die Akku-Leistung angepasst und spezielle Gurte für die Befestigung am Pferd konstruiert werden. Die erfolgten Messungen waren sehr aufwendig, da die Tiere permanent beaufsichtigt werden mussten, um die Gefahr einer Beschädigung der Gurte und Geräte zu minimieren. Die Funk-Ortung lieferte gute Ergebnisse, es konnten Aufenthaltsbereiche, Bewegungszustände und Geschwindigkeiten sowie erstmals auch die zurückgelegten Wegstrecken plausibel ermittelt werden. In Zukunft muss jedoch noch die Tiergerechtheit dieser Anwendung verbessert werden. Die Geräte und zugehörigen Akkus müssen verkleinert und in einer Form am Pferd angebracht werden, dass sie das Tier in seinem natürlichen Verhalten nicht stören und keinen weiteren Beobachtungsaufwand und Eingreifen von Seiten des Menschen nötig machen. Weiterhin sollte die Messungsgenauigkeit in der z-Achse überarbeitet werden, damit die Pferde nicht so häufig als liegend geortet werden. Wenn diese Probleme behoben sind, stellt die Funkortung eine viel versprechende Messmethode für die Zukunft dar, welche bei verschiedenen Tieren und Untersuchungen eingesetzt werden kann. Sie vereinfacht und beschleunigt aufwendige Verhaltenserfassungen um ein Vielfaches. In Kombination mit einer Videoüberwachungsanlage zur Erfassung von Umgebungseinflüssen könnte die Funkortung in Forschungsfragen gute Ergebnisse liefern. Besonders auch die Möglichkeit der direkten Umsetzung in Grafiken, und die sofortige Umrechnung und Nutzbarkeit der Daten und Wegstrecken vereinfachen aufwendige Verhaltensanalysen. Verhaltenserfassungen und damit verbundene mögliche Verbesserungen von Stallsystemen, Auslaufhaltungen und Gehegen könnten damit in Zukunft deutlich erleichtert werden.

8 SUMMARY

Modern German horse keeping includes individual single boxes with a trend towards the welfare, what implies stabling horses in groups, and increased movement of animals. However, it is questionable how much the horses spend walking of their own accord, and how different areas of such an animal barn are frequented. The exact requirements of the horse need to be evaluated more precisely. But this requires much work, since conventional observation methods are very time consuming. In the present study, different methods of recording behavior are compared, particularly in the application on the horse and in use by a group-range management. The methods used were direct observation, video monitoring, GPS, ALT-pedometer as well as a new method of radio-tracking. After the new method of radio-tracking was built, tested and the test horses were used to the wearing of devices and belts, behavior of nine horses was recorded by episodes of each 24 hours. This included all the previously mentioned methods of behavioural observation and these were compared to each other. Pedometers were attached to both front and hind legs also to capture the differences in methodology as well. While comparing the methods, video analysis was chosen as the gold standard and all measurements received by the other methods were compared to it. It was identified that direct observation and video analysis are very precise, but also very labor-intensive methods for collecting behavioral data. GPS technology achieved inside the stable and in areas nearby very poor results due to the lack of visual contact with the corresponding satellites. The technique using pedometer could not capture all important behavioral data. It is known that ALT pedometers can only measure activity, lying behavior and temperatures. Special behaviour, such as food intake, elimination or playing behavior and, very important for the behavior of horses, stereotypes are not included. Also the ALT pedometer could not convince in detecting lying behavior, because they did not clearly distinguish, if a lying procedure appeared on the horse's chest or on its side. The new technology of radio location initially included extensive construction work to build up the system. The equipment to be worn on animals first had to be shrunk, the battery power and special straps adapted for attachment to the horse had to be constructed. The measurements were very labor-intensive, since the animals had to be constantly supervised to minimize the risk of damage to the belts and devices.

The radio-tracking method yielded good results, it could recognize areas the horses had been to, states of motion and speed, and determined for the first time also the distance traveled by the horses. In the future, however, the animal welfare of this application must be improved. The units and associated batteries must be reduced in size and placed in a form on a horseback, that they do not disturb the animal in its natural behavior and minimize the need of observation and intervention efforts. Furthermore, the measurement accuracy in the z-axis is to be revised so that the horses are not detected as frequently lying. If these problems are resolved, the radio location is a promising method for the future, which can be used in different animals and studies. It simplifies and accelerates complex behavioral observations a lot. In combination with a video surveillance system for detecting environmental conditions the radio location system could provide good results even in research questions. Especially the possibility of direct implementation in graphics, and the immediate conversion and usability of the data and routes, simplifies an analysis. Behavioral observations and related improvements of livestock systems, free range systems and animal enclosures could be much easier in the future.

9 LITERATURVERZEICHNIS

- ALGERS, B. (1984): A note on behavioural responses of farm animals to ultrasound. *Applied Animal Behaviour Science* **12**, S. 387-391
- ALTMANN, J. (1974): Observational study of behavior: Sampling methods. *Behaviour* **49**, S. 227-267
- ANDELT, W.F., PHILLIPS, R.L., GRUVER, K.S. und GUTHRIE, J.W. (1999): Coyote predation on domestic sheep deterred with electronic dog-training collar. *Wildl.Soc.Bull.* **27** S. 12-18
- ARNEMANN, S. (2003): Haltung von Sportpferden unter besonderer Berücksichtigung der Leistung. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.
- AT-TARAS, E.E. und SPAHR, S.L. (2001): Detection and Characterization of oestrus in dairy cattle with an electronic heatmount detector and an electronic activity tag. *Journal of dairy science* **84**, S. 792-798
- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W. und WEIBER, R. (2008): Multivariate Analysemethoden. Springer Verlag: Berlin.
- BENHAJALI, H., RICHARD-YRIS, M.A., LEROUX, M., EZZAOUIA, M., CHARFI, F. und HAUSBERGER, M. (2008): A note on the time budget and social behaviour of densely housed horses: A case study in Arab breeding mares. *Applied Animal Behaviour Science* **112**, S. 196-200
- BERGER, A., SCHOBER, F., SCHEIBE, K.M., REIMOSER, S. und EICHHORN, K. (1996): Comparison of Two Telemetric Methods for Measuring Behavioural Parameters. *Proceeding of the First International Symposium on Physiology and Ethology of Wild an Zoo Animals Berlin 1996* S. 14-17
- BIRO, D., GUILFORD, T., DELL'OMO, G. und LIPP, H.-P. (2002): How the viewing of familiar landscapes prior to release allows pigeons to home faster: evidence from GPS tracking. *The Journal of Experimental Biology* **205**, S. 3833-3844
- BISHOP-HURLEY, G.J., SWAIN, D.L., ANDERSON, D.M., SIKKA, P., CROSSMAN, C. und CORKE, P. (2007): Virtual fencing applications: Implementing and testing an automated cattle control system. *Computers and Electronics in Agriculture* **56** (2007), S. 14-22
- BLANC, F. und BERGER, A. (1995): Comparison of two automatic methods for measuring grazing behaviour. *Annales de Zootechnie* **44**, S. 27-29

- BLANC, F. und BRELERUT, A. (1996): Short-term behavioural effects of equipping red deer hinds with a tracking collar. 1st International Symposium of Physiology and Ethology of Wild and Zoo Animals, Berlin.
- BOCKISCH, F.-J. (2008): Gesprächsnotiz. *Persönliche Kommunikation*
- BOCKISCH, F.-J. (1983): Aussagefähigkeit von Tierbeobachtungen in Abhängigkeit vom Beobachtungsintervall. 3. Seminar der Gesellschaft für Tierzuchtwissenschaft: Grub, 1983.
- BOCKISCH, F.-J. (1985): Beitrag zum Verhalten von Kühen im Liegeboxenlaufstall und Bedeutung für einige Funktionsbereiche. Dissertation Technische Universität München.
- BOCKISCH, F.-J. und KREIMEIER, P. (2002): Aspekte zur Auslaufgestaltung in Pferdehaltungssystemen. *Landtechnik* **57**, S. 332-333
- BOCKISCH, F.-J. und KREIMEIER, P. (2001): Haltungssysteme für eine tier- und umweltgerechte Pferdehaltung. *Pferdeland Sonderausgabe: 2. Pferdetag in Mecklenburg-Vorpommern*.
- BOLLHALDER, H. und KRÖTZL-MESSERLI, H. (1997): An animal positioning system for the automatic recording of the location and activity of cows in exercise yards and loose housing. *Agrartechnische Forschung* **3**, S. 2-10
- BORCHERS, M. (2008): Untersuchungen zur Eignung des ALT-Pedometers als Fohlengeburtsmelder. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.
- BRAUNREITER, C., ROTHMUND, M., STEINBERGER, G. und AUERNHAMMER, H. (2007): Einsatzpotentiale von GPS-Halsbändern für das alpine Weidemanagement. *Landtechnik* **2** (2007), S. 98-99
- BREHME, U., AHLERS, D., LAUFELD, P., SCHEIBL, P., SCHERPING, E. und STOLLBERG, U. (2001a): Tierdatenmessungen mit sensorgestützten Messsystemen für Aussagen im Herdenmanagement von Milchkühen. *15.IGN-Tagung Tierschutz und Nutztierhaltung, 4.-6.10.2001, Halle/S., Tagungsband* S. 26-31
- BREHME, U., AHLERS, D., LAUFELD, P., SCHEIBL, P., SCHERPING, E. und WERNER, D. (2001b): Brunsterkennung und Gesundheitsüberwachung mittels sensorgestützter Funkdatenlogger. *Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2001* S. 44-49
- BREHME, U., BRUNSCH, R., SCHERPING, E. und WERNER, D. (1999): Sensorgestützte Datenerfassung bei Rindern zur Weiternutzung im Herdenmanagement. *Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung* S. 255-261

- BREHME, U., SCHERPING, E., UHR, K., KANNEGIEßER, P. und KIESLING, U. (2002): Elektronische Brunstkontrolle - Vergleich von Halsband- und Fußpedometern bei der Erfassung von Tieraktivitäten zur Brunsterkennung bei Rindern. *Neue Landwirtschaft* **11**, S. 40-42
- BREHME, U., STOLLBERG, U., STRICKLER, B., VON NIEDERHÄUSER, R. und ZURKINDEN, H. (2006): Investigations of daily biorhythm in different horse keeping systems for well-being measured with ALT pedometer. *World Congress: Agricultural Engineering for a better world 2006, Book of Abstracts* S. 503-504
- BREHME, U., STOLLBERG, U., HOLZ, R. und SCHLEUSENER, T. (2004): Sichere Brunsterkennung mit sensorgestützten ALT-Pedometern. *Landtechnik* **4**, S. 230-231
- BRENDLE, J., ANNAS, E., WEIRICH, C. und HOY, S. (2009): Ergebnisse computergestützter Wegstreckenmessung mit dem VideoMotionTracker. *KTBL-Schrift* 479-29
- BUTLER, I. und ARMBRUSTER, B. (1984): Struktur und Abgangsursachen bei Schlachtpferden. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* **91**, S. 330-331
- CAANITZ, H., O'LEARY, L., HOUP, K., PETERSSON, K. und HINTZ, H. (1991): Effect of exercise on equine behavior. *Applied Animal Behaviour Science* **31**, S. 1-12
- CHRISTENSEN, J.W., LADEWIG, J., SONDERGAARD, E. und MALMKVIST, J. (2002): Effects of individual versus group stabling on social behaviour in domestic stallions. *Applied Animal Behaviour Science* **75**, S. 233-248
- COELHO, C.M., DE MELO, L.F.B., SABATO, M.A.L., RIZEL, D.N. und YOUNG, R.J. (2007): A note on the use of GPS collars to monitor wild maned wolves *Chrysocyon brachyurus* (Illiger 1815) (Mammalia, Canidae). *Applied Animal Behaviour Science* **105**, S. 259-264
- DAHLKAMP, M. (2003): Vergleich zweier Trainingsmethoden für 6-jährige Vielseitigkeitspferde unter besonderer Berücksichtigung von Bergtraining. *Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover*
- DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG (2010b): Unfallverhütung im Reitsport. *Informationsbroschüre*
- DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG (2010a): Zahlen, Daten, Fakten 2010. *Informationsbroschüre*
- EBELT, R., MILLNER, H., HOFFMANN, G. und VOSSIEK, M. (2009): Funkbasierte 3D-Lokalisierung von Tieren zur Verhaltensanalyse im Innen- und Außenbereich. *Radio Techniques and Technologies for Commercial Communication and Sensing Applications*

- EIBL-EIBESFELDT, I. (1999): Grundriß der vergleichenden Verhaltensforschung. BuchVertrieb Blank GmbH: Vierkirchen-Pasenbach.
- EIGENBERG, R.A., BROWN-BRANDL, T.M. und NIENABER, J.A. (2008): Sensors for dynamic physiological measurements. *Computers and Electronics in Agriculture* **62**, S. 41-47
- FADER, C. (2001): Ausscheide- und Ruheverhalten von Pferden in Offenlaufstall- und Boxenhaltung. *Dissertation Technische Universität München*
- FAY, P.K., MCELLIGOTT, V.T. und HAVSTAD, K.M. (1989): Containment of free-ranging goats using pulsed-radio-wave-activated shock collars. *Applied Animal Behaviour Science* **23**, S. 165-171
- FLEEGER, G. (1991): Verhalten von Pferden bei individueller Fressplatzzuweisung in Gruppenhaltung. *KTBL-Schrift* **344** S. 128-139
- FLEMING, K. (2004): Experimentelle Untersuchungen zur Luftqualität im Pferdestall mit Boxenhaltung. Masterarbeit Universität Göttingen.
- FRENTZEN, F. (1994): Bewegungsaktivitäten und -verhalten von Pferden in Abhängigkeit von Aufstallungsform und Fütterungsrhythmus unter besonderer Berücksichtigung unterschiedlich gestalteter Auslaufsysteme. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.
- GABEL, A.A., KNOWLES, R.C. und WEISBRODE, S.E. (1988): Horse identification: A field trial using an electronic identification system. *Journal of Equine Veterinary Science* **8**, S. 172-175
- GANSKOPP, D. (2001): Manipulating cattle distribution with salt and water in large arid-land pastures: a GPS/GIS assessment. *Applied Animal Behaviour Science* **73**, S. 251-262
- GEORG, H., OBERDELLMANN, P., SCHULZE-LAMMERS, P. und BOCKISCH, F.-J. (1999): Bewegungsanalyse von Freßvorgängen bei Milchkühen mit Hilfe der Online-Motografie. *Tagung Bau, Technik und Umwelt 1999 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Freising* S. 435-438
- GERKEN, M., KIENE, M., KREIMEIER, P. und BOCKISCH, F.-J. (1996): Verhalten von Trabrennpferden in Gruppenauslaufhaltung und in Einzelhaltung. *KTBL-Schrift* **376**:132-143
- GREEN, A.R., GATES, R.S., LAWRENCE, L.M. und WHEELER, E.F. (2008): Continuous recording reliability analysis of three monitoring systems for horse core body temperature. *Computers and Electronics in Agriculture* **61**, S. 88-95
- GROGAN, E.H. und MCDONNELL, S.M. (2005): Injuries and blemishes in a semi-feral herd of ponies. *Journal of Equine Veterinary Science* **25**, S. 26-30

- GYGAX, L., NEISEN, G. und BOLLHALDER, H. (2006): Accuracy and validation of a radar-based automatic local position measurement system for tracking dairy cows in free-stall barns. *Computers and Electronics in Agriculture* **56**, S. 23-33
- HANNOVERSCHE LANDWIRTSCHAFTLICHE BERUFSGENOSSENSCHAFT (2000): Pferdebetrieb 5 - Unfallzahlen steigen.
- HASSOUN, P. (2002): Cattle feeding behaviour at pasture: a methodology related to on farm measurements. *Animal Research* **51**, S. 35-41
- HEBENBROCK, M. (2005): GPS gestütztes Monitoring von Hochleistungsvielseitigkeitspferden in Wettkampf und Training. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.
- HESSEL, E.F., REINERS, K., HEGGER, A., VAN DEN WEGHE, H., BÖCK, S. und WENDL, G. (2008): Simultane Einzeltiererkennung. *Landtechnik* **1/2008**, S. 38-39
- HIGHTOWER, J., VAKILI, C., BORIELLO, G., und WANT, R. Design and Calibration of the SpotOn Ad-Hoc Location Sensing System: 2001.
- HIRATA, M., IWAMOTO, T., OTOZU, W. und KIYOTO, D. (2002): The Effects of Recording Interval on the Estimation of Grazing Behaviour of Cattle in a Daytime Grazing System. *Asian- Australian Journal of Animal Science* **15**, S. 745-750
- HOFFMANN, G. (2008): Bewegungsaktivität und Stressbelastung bei Pferden in Auslaufhaltungssystemen mit verschiedenen Bewegungsangeboten. Dissertation Universität Giessen.
- HOFFMANN, G., BOCKISCH, F.-J. und KREIMEIER, P. (2007): Messmethoden zur Beurteilung der Haltungsqualität. Ist Wohlbefinden und Stress bei Pferden messbar? *Landtechnik* **6**, S. 406-407
- HOY, S. (2009): Nutztierethologie. Eugen Ulmer Verlag: Stuttgart.
- HULBERT, I.A.R. und FRENCH, J. (2001): The accuracy of GPS for wildlife telemetry and habitat mapping. *Journal of Applied Ecology* **38**, S. 869-878
- HULBERT, I.A.R., WYLLIE, J.T.B., WATERHOUSE, A., FRENCH, J. und MCNULTY, D. (1998): A note on the circadian rhythm and feeding behaviour of sheep fitted with a lightweight GPS collar. *Applied Animal Behaviour Science* **60**, S. 359-364
- JENSEN, P., ALGERS, B. und EKESBO, I. (1986): Methods of sampling and analysis of data in farm animal ethology. Birkhäuser Verlag: Zürich.

-
- KALKUSCH, M., LIDY, T., KNAPP, M., REITMAYR, G., KAUFMANN, H. und SCHMALSTIEG, D. (2002): Structured Visual Markers for Indoor Pathfinding. *Proceedings of the First IEEE International Workshop on ARToolKit (ART02)*
- KAUFMANN, O. und UHR, K. (2002): Rechnergestützte Tierüberwachung in der Mutterkuhhaltung. *Landtechnik* **1**, S. 46-47
- KLINDTWORTH, K., TRINKL, S. und WENDL, G. (2002): Effizienz verschiedener Aktivitätssensoren zur Brunstüberwachung bei Milchkühen. *Landtechnik* **2**, S. 86-87
- KLINDTWORTH, M., WENDL, G., KLINDTWORTH, K. und PIRKELMANN, H. (1999): Electronic identification of cattle with injectable transponders. *Computers and Electronics in Agriculture* **24**, S. 65-79
- KLINGLER, L. (1988): Der Einfluß von Haltungssystemen auf die Fortbewegung bei Pferden. *Diplomarbeit Biologie, Freiburg*
- KÖSTER, J. (2010): Gesprächsnotiz: Der Einfluss unterschiedlicher Einstreumaterialien und Einzelboxenhaltungssysteme auf das Liegeverhalten von Pferden. *Persönliche Kommunikation*
- KUHNE, F. (2004): Tages- und Jahresrhythmus ausgewählter Verhaltensweisen von Araberpferden in ganzjähriger Weidehaltung unter besonderer Berücksichtigung der Klima- und Fütterungsbedingungen. Dissertation Freie Universität Berlin.
- KURVERS, C., VAN WEEREN, R., ROGERS, C.W. und VAN DIERENDONCK, M.C. (2006): Quantification of spontaneous locomotion activity in foals kept in pastures under various management conditions. *American journal of veterinary research* **67 (7)**, S. 1212-1217
- LAMOOT, I., CALLEBAUT, J., DEGEZELLE, T., DEMEULENAERE, E., LAQUIERE, J., VANDENBERGHE, C. und HOFFMANN, M. (2004): Eliminative behaviour of free-ranging horses: do they show latrine behaviour or do they defecate where they graze? *Applied Animal Behaviour Science* **86**, S. 105-121
- LEBELT, D. (1998): Problemverhalten beim Pferd. Ferdinand Enke Verlag: Stuttgart.
- LEE, C. (2007): Virtual fences set to transform farming. *Farming Ahead* **190**, S. 70-71
- LEE, C., PRAYAGA, K., REED, M. und HENSHALL, J. (2007): Methods of training cattle to avoid a location using electrical cues. *Applied Animal Behaviour Science* **108**, S. 229-238
- LEHMANN, K. (2000): Einfluss des Trainingszustandes auf die soziale Rangordnung von Pferden. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.

- LIEBETRAU, A. D. (2004): Global Positioning System (GPS) - Herzfrequenzaufzeichnung, eine neue Hilfe für das Training von Fahrpferden. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.
- MARGULIS, S.W. und WESTHUS, E.J. (2008): Evaluation of different observational sampling regimes for use in zoological parks. *Applied Animal Behaviour Science* **110**, S. 363-376
- MARTEN, J. (1996): Pferdehaltung: Anforderungen des Pferdes, Bauliche Planungsgrundlagen, Neu- und Umbaubeispiele. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (aid) e.V.: Bonn.
- MCCLURE BLACKMER, J., MARTIN, G., BURBA, D. J. und SCHOLL, D. (2001): A Technique for Quantification of Exercise in Horses in Race Training Using the Global Positioning System (GPS) Proceedings of the Association of Equine Sports Medicine Meetings 2001.
- MCDONNELL, S.M. und POULIN, A. (2002): Equid play ethogram. *Applied Animal Behaviour Science* **78**, S. 263-290
- MENZ, M. (2005): RFID-basierte Positionsbestimmung. *Studienarbeit Humboldt-Universität Berlin*
- MILLS, D. und NANKERVIS, K. (2004): Pferdeverhalten erklärt. Müller Rüschnikon Verlags AG: Cham.
- MOTTRAM, T., LOWE, J., MCGOWAN, M. und PHILLIPS, N. (2008): Technical note: A wireless telemetric method of monitoring clinical acidosis in dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture* **64**, S. 45-48
- MÜLLER, R. und SCHRADER, L. (2003): A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* **83**, S. 247-258
- NAGUIB, M. (2006): Methoden der Verhaltensbiologie. Springer Verlag: Berlin.
- NEBEL, R.L., DRANSFIELD, M.G., JOBST, S.M. und BAME, J.H. (2000): Automated electronic systems for the detection of oestrus and timing of AI in cattle. *Animal Reproduction* **60-61**, S. 713-723
- NEISEN, G., WECHSLER, B. und GYGAX, L. (2007): Relationship of social rank and proximity in dairy cows kept in cubicle housing systems. Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2007 - Tagungsband zur 39. Internationalen Arbeitstagung Angewandte Ethologie bei Nutztieren der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V. Fachgruppe Ethologie und Tierhaltung, KTBL-Schrift 461: Freiburg.

- NEMENYI, M., MESTERHAZI, P.A., PECZE, Z. und STEPAN, Z. (2003): The role of GIS and GPS in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture* **40**, S. 45-55
- NICKEL, R., SCHUMMER, A. und SEIFERLE, E. (1959): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Paul Parey Verlag: Berlin.
- NIEDERHÖFER, S. (2009): Stressbelastung bei Pferden in Abhängigkeit vom Haltungssystem. *Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover*
- NOLDUS, L.P.J.J., SPINK, A.J. und TEGELENBOSCH, R.A.J. (2002): Computerised video tracking, movement analysis and behaviour recognition in insects. *Computers and Electronics in Agriculture* **35 (2002)**, S. 201-227
- PEPIN, D., RENAUD, P.C. und DECUQ, F. (2006): Identifying activity patterns from activity counters in ETHOSYS(R) collars on red deer. *Applied Animal Behaviour Science* **96**, S. 103-114
- PHILIPPS, H., ELVEY, C.R. und ABERCROMBIE, C.L. (1998): Applying GPS to the study of primate ecology: a useful tool? *American Journal of Primatology* **46**, S. 167-172
- PIOTROWSKI, J. (1992): Forschungsergebnisse und Erkenntnisse zur tiergerechten Pferdehaltung. *Züchtungskunde* **64**, S. 225-235
- PIRKELMANN, H. (1993): Tierschutzgerechte Haltungssysteme für Pferde. *Tierärztliche Umschau* **48**, S. 306-311
- PJREK, E., WINKLER, D., KONSTANTINIDIS, A., THIERRY, N. und KASPER, S. (2003): Aktigraphie als Instrument zur Verlaufskontrolle bei saisonal abhängiger Depression - ein Bericht über zwei Fälle. *Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie* **4**, S. 29-31
- POURVOYEUR, K., STELZER, A. und GASSENBAUER, G. (2006): The local position measurement system LPM used for cow tracking. Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems MFI, Heidelberg, 3.-6. September 2006.
- POWELL, D.M., NETT-WIMBUSH, K., PEEPLES, A. und DUTHIE, M. (2008): Evaluation of Indicators of Weight-Carrying Ability of Light Riding Horses. *Journal of Equine Veterinary Science* **28**, S. 28-33
- PUTFARKEN, D., DENGLER, J., LEHMANN, S. und HARDTLE, W. (2008): Site use of grazing cattle and sheep in a large-scale pasture landscape: A GPS/GIS assessment. *Applied Animal Behaviour Science* **111**, S. 54-67
- QUIGLEY, T.M., SANDERSON, R.H., TIEDEMANN, A.R. und MCINNIS, M.L. (1990): Livestock control with electrical and audio stimulation. *Rangelands* **12**, S. 152-155

-
- RATSCHOW, J.-P. (2005): Präzise Tierhaltung - die Zeit ist reif! *Landtechnik* **3**, S. 125
- ROTH, J. (2005): Mobile Computing - Grundlagen, Technik, Konzepte. dpunkt-Verlag: Heidelberg.
- RUTTER, S.M., BERESFORD, N.A. und ROBERTS, G. (1997): Use of GPS to identify the grazing areas of hill sheep. *Computers and Electronics in Agriculture* **17**, S. 177-188
- SACHVERSTÄNDIGENGRUPPE TIERSCHUTZGERECHTE PFERDEHALTUNG, B. (2009): Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV): Bonn.
- SAMBRAUS, H.H. (1975): Ethologie der landwirtschaftlichen Nutztiere. *Archiv Tierheilkunde* **117**, S. 193-218
- SCHÄFER, M. (1993): Die Sprache des Pferdes. Franckh-Kosmos Verlags GmbH: Stuttgart.
- SCHEIBE, K. M., BERGER, A., STREICH, W. J., EICHHORN, K. und LANGBEIN, J. (2003): Telemetric measurements and monitoring of animal welfare parameters and its importance for precision livestock farming. Wageningen.
- SCHEIBE, K.M., SCHLEUSNER, Th., BERGER, A., EICHHORN, K., LANGBEIN, J., DAL ZOTTO, L. und STREICH, W.J. (1997): ETHOSYS-new system for recording and analysis of behaviour of free-ranging domestic animals and wildlife. *Applied Animal Behaviour Science* **55**, S. 195-211
- SCHIRRMANN, B. (2008): Untersuchungen zur Aktivitätsrhythmik und zum Raum-Zeit-Verhalten von Heckrindern und Liebenthaler Pferden im NSG „Falkenberger Rieselfelder“ unter besonderer Berücksichtigung telemetrischer Messverfahren. *Diplomarbeit Freie Universität Berlin*
- SCHÖBER, F. (1986): Telemetrische Ortungsverfahren und ihre Grenzen in der wildbiologischen Forschung. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft* **32 (1986)**, S. 65-75
- SCHÖN, H., WENDL, G., KLINDWORTH, M. und HARMS, J. (2001): Precision Livestock Farming - Konzeption, Stand der Forschung, Zukunftsperspektiven. Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim: Stuttgart.
- SCHÖN, H. und ARTMANN, R. (1993): Elektronik und Computer in der Landwirtschaft. Verlag Eugen Ulmer: Stuttgart.
- SCHÖN, H., HAIDN, B. und WENDL, G. (2003): Technische Innovationen in der Nutztierhaltung zur Verbesserung des Tier- und Verbraucherschutzes.

-
- SCHWENKE, T. und AUERNHAMMER, H. (2002): GPS-Ausfälle vermeiden. *Landtechnik* **4** (2002), S. 206-207
- SEIDENSTICKER, C. (1999): Abgangsursachen entschädigter Pferde einer Tierversicherung aus den Jahren 1990-1995. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.
- SIEVERS, A. K. (2005): Entwicklung einer intraruminalen Datenmesseinheit als Managementhilfe in der Milchviehhaltung. Dissertation Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- STELZER, A., FISCHER, A., VOSSIEK, M. und SÖSER, A. (2003): A novel 3-D local position measurement (LPM) technology. Proc. Sensor Congr., Vol.I, Nürnberg Mai 2003.
- STELZER, A., POURVOYEUR, K. und FISCHER, A. (2004): Concept and application of LPM-a novel 3D position measurement system. IEEE Trans. Microw. Theo.Tech., IEEE-MTT 52.
- STUMPENHAUSEN, J. (2001): Tieraktivitätsmessung zur Verbesserung des Gesundheits- und Fruchtbarkeitsmanagements in Milchviehherden. Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim: Stuttgart.
- SWAIN, D.L., WILSON, L.A. und DICKINSON, J. (2003): Evaluation of an active transponder system to monitor spatial and temporal location of cattle within patches of a grazed sward. *Applied Animal Behaviour Science* **84**, S. 185-195
- TERRIER, P., LADETTO, Q., MERMINOD, B. und SCHUTZ, Y. (2000): High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human locomotion. *Journal of Biomechanics* **33**, S. 1717-1722
- TOST, F. (2009): Ein Beitrag zur probabilistischen, symbolischen, zellgenauen Ortung mobiler Netzwerkknoten innerhalb von Gebäuden. *Diplomarbeit Universität Cottbus*
- TURNER, L.W., UDAL, M.C., LARSON, B.T. und SHEARER, S.A. (2000): Monitoring cattle behavior and pasture use with GPS and GIS. *Canadian Journal of Animal science* **80**, S. 405-413
- U-BLOX AG (2004): ANTARIS SuperSense Field Tests - Application Note. u-blox AG: CH-Thalwil.
- ULLSTEIN, H. (1996): Natürliche Pferdehaltung. Müller Rüschnikon Verlags AG: Cham.
- VAN OORT, B.E.H., TYLER, N.J.C., STOREHEIER, P.V. und STOKKAN, K.A. (2004): The performance and validation of data logger for long-term determination of

-
- activity in free-ranging reindeer, Rangifer tarandus L. *Applied Animal Behaviour Science* **89**, S. 299-308
- VOSSIEK, M., CHRISTMANN, M., WIEBKING, L. und GULDEN, P. (2005): Zuverlässiges und hochgenaues Funkortungssystem für Industrieanwendungen. *TU Contact* **16**, S. 46-50
- WANGLER, A. und WOLF, J. (2002): Brunsterkennung per Computer. *Neue Landwirtschaft* **3**, S. 76-79
- WELTZIEN, C. (2002): Genauigkeitsvergleich von GPS-Empfängern. *Landtechnik* **4 (2002)**, S. 242-242
- WENZEL, C., WÖHR, A.-C. und UNSHELM, J. (2002): Das Verhalten von Milchrindern unter dem Einfluss elektromagnetischer Felder. *Der praktische Tierarzt* **83**, S. 260-268
- WÖHR, A.-C. und ERHARD, M. (2006): Polysomatische Untersuchungen zum Schlafverhalten des Pferdes. *KTBL-Schrift 448* S. 127-135
- ZEEB, K. (1998): Die Natur des Pferdes. Frank Kosmos Verlag: Stuttgart.
- ZEITLER-FEICHT, M. H. (2001b): Handbuch Pferdeverhalten. Eugen Ulmer Verlag: Stuttgart.
- ZEITLER-FEICHT, M.H. (2001a): Ethologie des Pferdes als Grundlage einer artgerechten Haltung. *Pferdeland Sonderausgabe* S. 11-16
- ZEITLER-FEICHT, M. H. und BUSCHMANN, S. (2002): Überprüfung der Ständerhaltung von Pferden auf Tiergerechtheit. S. 193-407.
- ZIPS, A. (1983): Nahbereichsphotogrammetrie - Eine Methode zur Registrierung und Quantifizierung des Tierverhaltens im Liegeboxenlaufstall. Dissertation Technische Universität München.

VERWENDETE INTERNETQUELLEN:

- (2008): Greenpeace. <http://www.greenpeace.de>
- (2010a): Firma Ekahau. <http://www.ekahau.com>
- (2010b): Firma Handy-Ortung. <http://www.handy-ortung.com>
- (2010c): Firma Hit. <http://www.aktivstall.de>
- (2010d): Firma Petguard. <http://www.petguard.de>
- (2010e): Firma Schauer. <http://www.schauer.co.at>
- (2010f): Firma Track your kid. <http://www.trackyourkid.de>
- (2010g): Firma Ubisense. <http://www.ubisense.de>
- (2010h): Firma Cairos. <http://www.cairos.com>
- (2010i): Movement Science Group. <http://www.movement-science.vu-wien.ac.at>
- (2010j): Firma Track your kid. <http://www.trackyourkid.de>

VERWENDETE COMPUTERPROGRAMME:

- MS Word[®] (Firma Microsoft)
- MS Excel[®] (Firma Microsoft)
- MS Access[®] (Firma Microsoft)
- Windows Media Player[®] (Firma Microsoft)
- Interact[®] (Firma Mangold)
- Topos[®] (Universität Clausthal-Zellerfeld)
- SAS[®] (Firma SAS)
- Polar Equine Pro Trainer 5.0[®] (Firma Polar)
- Reference Manager[®] (The Thomson Corporation)

I. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
ALT	Aktivität, Liegezeit, Temperatur (Bezeichnung der Pedometer)
AOA	Angle of Arrival (Ortungsprinzip)
BB	(Institut für) Betriebstechnik und Bauforschung
BS	Basisstation
cm	Zentimeter
COO	Cell of Origin (Ortungsprinzip)
DB	Direktbeobachtung
EH	Einzelhaltung
FA	Führanlage
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
g	Gramm
GH	Gruppenhaltung
GPRS	General Packet Radio Service (Mobilfunkstandard)
GPS	Global Positioning System, Globales Positionierungssystem
GSM	Global System for Mobile Communications (Mobilfunkstandard)
h	Stunde
kg	Kilogramm

LAN	Local Area Network (Lokales Netzwerk)
LPR	Local Positioning Radar (Funkpositionierung)
m	Meter
m/s	Meter pro Sekunde
m ²	Quadratmeter
mm	Millimeter
nm	Nanometer
ns	Nanosekunde
R	Korrelationskoeffizient
R ²	Bestimmtheitsmaß
RFID	Radio Frequency Identification (Funkerkennung)
RTOF	Round Trip of Flight (Ortungsprinzip)
Tab.	Tabelle
TDOA	Time Difference of Arrival (Ortungsprinzip)
TOA	Time of Arrival (Ortungsprinzip)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Mobilfunkstandard)
vergl.	Vergleiche
vTI	Johann Heinrich von Thünen-Institut
W-LAN	Wireless Local Area Network (Lokales Drahtlosnetzwerk)

II. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 : Übersicht über die verschiedenen in Deutschland gebräuchlichen Pferdehaltungssysteme (Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten).....	9
Tabelle 2: Name, Geburtsdatum, Abstammung und Farbe der im Versuch eingesetzten Pferde.....	63
Tabelle 3: Definition der von der Funkortung gemessenen Zustände, Zuordnung nach Bodenhöhe und Geschwindigkeit.	83
Tabelle 4: Korrelationen und Regressionen zwischen verschiedenen Erhebungsmethoden für den Parameter „Bewegung“, dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten R sowie das Bestimmtheitsmaß R^2	93
Tabelle 5: Korrelationen und Regressionen zwischen verschiedenen Erhebungsmethoden für den Parameter „Stehen“, dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten R sowie das Bestimmtheitsmaß R^2	96
Tabelle 6: Korrelationen und Regressionen zwischen verschiedenen Erhebungsmethoden für den Parameter „Gesamt-Liegezeit“, dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten R sowie das Bestimmtheitsmaß R^2	99
Tabelle 7: Korrelationen und Regressionen zwischen verschiedenen Erhebungsmethoden für den Parameter „Liegen in Seitenlage“, dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten R sowie das Bestimmtheitsmaß R^2	101
Tabelle 8: Korrelationen und Regressionen zwischen verschiedenen Erhebungsmethoden für den Parameter „Liegen in Bauchlage“, dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten R sowie das Bestimmtheitsmaß R^2	102
Tabelle 9: Geschwindigkeiten der vorprogrammierten Einstellungen der automatischen Führanlage.....	126

Tabelle 10: Von den verschiedenen Systemen gemessene Wegstrecken (Meter), jeweils am gleichen Pferd registriert von Ortung und Pedometern an allen vier Beinen (vorne links, vorne rechts, hinten links, hinten rechts).	130
Tabelle 11: Aufenthaltszeiten und jeweils zurückgelegte Wegstrecken (Meter) auf Weide (Funkortung), gemessen an 9 verschiedenen Tagen (M1-9).	132
Tabelle 12: Auswertungsaufwand der Video-Aufzeichnungen mit dem Programm Interact, jede der aufgelisteten Messungen impliziert jeweils drei 24-Stunden-Episoden.....	153
Tabelle 13: Methodenvergleich; Einstufung verschiedener Qualitäten und Eigenschaften der unterschiedlichen Messmethoden.	170

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verschiedene Pferdehaltungssysteme, aus: Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutz Gesichtspunkten (2009). a Einzelbox (Außenbox), b Außenbox mit angrenzendem Auslauf, c Einraum-Innenauslaufstall, d Einraum-Außenauslaufstall, e Einraum-Außenlaufstall mit Auslaufhaltung, f Mehrraum-Außenlaufstall mit Auslauf.....	5
Abbildung 2: Übersicht zur Klassifikation von Positionierungssystemen (ROTH, 2005)	21
Abbildung 3: Halbwild lebendes Przewalski-Pferd, mit ETHOSYS-Halsband ausgestattet (SCHEIBE et al. 1997)	38
Abbildung 4: Ortungsmethode COO (Cell of Origin), ein auf Zellen basierendes System. Das mobile Gerät (M) wird in der Zelle geortet, in welcher es der jeweiligen Basis (e) am nächsten ist.	42
Abbildung 5: Prinzip der Signallaufzeitmessung. Aus der Differenz der Laufzeiten zwischen mobiler (M) und festen Stationen (e) wird die Position von M errechnet... ..	43
Abbildung 6: Prinzip des Round Trip Time of Flight (RTOF)	43
Abbildung 7: Prinzip der Angulation.....	45
Abbildung 8: Prinzip der Trilateration. Die Ortung ergibt sich aus dem Schnittpunkt der drei Kreise.	46
Abbildung 9: Hyperbolische Lateration.	46
Abbildung 10: Luftaufnahme des Versuchspferdestalles am Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, FAL (jetzt: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig).....	59
Abbildung 11: Grundriss der Versuchsstallanlage	60
Abbildung 12: Funktionsbereiche des Versuchsstalles.....	62

Abbildung 13: Individuelle Kennzeichnung der Pferde durch in das Fell blondierte Symbole.....	65
Abbildung 14: Virtuelle Einteilung der Weide in vier Quadranten (Weide 1-4).....	71
Abbildung 15: Grundriss des Stalles mit Positionen der Videokameras.....	72
Abbildung 16: „Points of Interest“, besonders interessante Aufenthaltsbereiche, im Bereich der Gruppen-Auslaufhaltung.	74
Abbildung 17: Anbringung und Position eines Pedometers am Pferdebein.....	76
Abbildung 18 : GPS-Gerät, bestehend aus GPS-Empfänger, Datenuhr und Bauchgurt.	77
Abbildung 19: Messprinzip des eingesetzten Funkortungssystems (RTOF-Prinzip), Abbildung nach EBELT 2009.....	78
Abbildung 20: Installation der Transponder im Stall (links), sowie auf der Weide (rechts).	79
Abbildung 21: Aufsicht auf den Pferdestall und die angrenzende Weide (rote Linie) mit Position der Transponder (blau). (Quelle der Abbildung: TU Clausthal-Zellerfeld).	79
Abbildung 22: Positionierungseinheit, bestehend aus zwei Akku-Paketen sowie einer Basisstation mit aufgesetzter Antenne (mobiles System).	80
Abbildung 23: Pferd mit Messgeräten (Positionierung, GPS, Pedometer).....	81
Abbildung 24: Gesamtüberblick über die Infrastruktur des eingesetzten Ortungssystems (EBELT 2009).	81
Abbildung 25: Verdichtung und Komprimierung der Funkortungsdaten (EBELT, 2009).	82

Abbildung 26: Bildschirmansicht der in eine Excel-Tabelle übertragenden Funkortungsdaten.....	84
Abbildung 27: Darstellung der Bewegungszustände eines Pferdes über einen Zeitraum von 10 Stunden.	84
Abbildung 28: Grafische Darstellung der Nutzung der Aufenthaltsbereiche durch ein Pferd.....	85
Abbildung 29: Grafische Darstellung (Scatterplot) eines Zusammenhanges zwischen zwei Variablen, die Gerade wurde mittels Regressionsanalyse ermittelt.....	87
Abbildung 30: Darstellung der Entstehung und der Abbildung von Daten als Boxplot.	88
Abbildung 31: Verteilung der durchschnittlichen Bewegungszustände pro Tag (24 h), gemessen mittels Funkortung.....	90
Abbildung 32: Verteilung der durchschnittlichen Bewegungszustände pro Tag (20 h, ohne Weidezeit), gemessen mittels Videobeobachtung.	91
Abbildung 33: Während der Weidezeit (4h) gezeigte durchschnittliche Bewegungsaktivitäten, gemessen mittels Direktbeobachtung.....	92
Abbildung 34: Verteilung der durchschnittlichen Bewegungszustände an verschiedenen befestigten Pedometern pro Tag (25h).	92
Abbildung 35: Einfache Lineare Regression für den Parameter Dauer Bewegung je Stunde, gemessen mittels Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R^2 = 0,43$ und $R = 0,32$).....	94
Abbildung 36: Einfache Lineare Regression für den Parameter Bewegungsdauer je Stunde, ermittelt durch Videobeobachtung und Pedometer ($R^2 = 0,57$; $R = 0,48$)....	95

Abbildung 37: Einfache lineare Regression zum Vergleich der pro Stunde zurückgelegten Strecke (Funkortung) mit den von den Pedometern ermittelten Bewegungsimpulsen pro Stunde ($R^2 = 0,7$; $R = 0,62$).	95
Abbildung 38: Boxplot für den Parameter Bewegung, ermittelt durch die Messmethoden Funkortung, Videobebachtung (Interact) und Pedometer.....	96
Abbildung 39: Einfache Lineare Regression für den Parameter Stehen pro Stunde, ermittelt durch die Methoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R^2 = 0,82$, $R = 0,07$).....	97
Abbildung 40: Vergleich der von Funkortung und Pedometern ermittelten Variablen „Stehen pro Stunde“ ($R^2 = 0,82$, $R = 0,04$).....	98
Abbildung 41: Zusammenhang zwischen den Messmethoden Interact und Pedometer, bezogen auf den Parameter „Stehzeit pro Stunde“ ($R^2 = 0,92$, $R = 0,2$).98	
Abbildung 42: Boxplot für den Parameter Stehen, ermittelt durch die Messmethoden Funkortung, Videobebachtung (Interact) und Pedometer.	99
Abbildung 43: Einfache Lineare Regression für den Parameter Liegedauer pro Stunde, ermittelt durch die Methoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R^2 = 0,1$; $R = 0,07$).....	100
Abbildung 44: Einfache Lineare Regression für den Parameter Liegedauer pro Stunde, ermittelt durch die Methoden Videobeobachtung (Interact) und Pedometer ($R^2 = 0,99$; $R = 0,99$).....	100
Abbildung 45: Einfache Lineare Regression für den Parameter Liegedauer pro Stunde, ermittelt durch die Methoden Funkortung und Pedometer ($R^2 = 0,11$; $R = 0,06$).	101
Abbildung 46: Einfache Lineare Regression für den Parameter Liegedauer in Seitenlage pro Stunde, ermittelt durch die Methoden Funkortung und Pedometer ($R^2 = 0,04$; $R = 0,01$).....	102

Abbildung 47: Einfache Lineare Regression für den Parameter Liegedauer in Bauchlage pro Stunde, ermittelt durch die Methoden Funkortung und Pedometer ($R^2 = 0,05$; $R = 0,03$).....	103
Abbildung 48: Lineare Regression des Parameters Liegedauer in Seitenlage, gemessen durch die Methoden Interact und Pedometer ($R^2 = 0,26$; $R = 0,47$).	103
Abbildung 49: Zusammenhang zwischen dem Messmethoden Interact und Pedometer, sich beziehend auf den Parameter Liegedauer Brustlage pro Stunde ($R^2 = 0,62$; $R = 0,77$).....	104
Abbildung 50: Variable „Liegedauer Seitenlage pro Stunde“ im Vergleich von Interact und Funkortung ($R^2 = 0,13$; $R = 0,27$).....	104
Abbildung 51: Vergleich von Interact und Funkortung bezüglich des Parameters „Liegedauer Bauchlage pro Stunde“ ($R^2 = 0,07$; $R = 0,03$).	105
Abbildung 52: Boxplot für den Parameter Liegen pro Stunde, gemessen mittels der Messmethoden Funkortung, Videobeobachtung (Interact) und Pedometer.....	105
Abbildung 53: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in verschiedenen Sektoren pro Tag (24 h), gemessen mittels Funkortung.	106
Abbildung 54: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in verschiedenen Sektoren pro Tag (20 h, ohne Weidezeit), ermittelt über Videobeobachtungen.	107
Abbildung 55: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in verschiedenen Weidezonen während der Weidezeit (4h), gemessen mittels Funkortung.....	108
Abbildung 56: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in verschiedenen Weidezonen während der Weidezeit (4h), gemessen mittels Direktbeobachtung.....	108
Abbildung 57: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in verschiedenen Laufbereichen pro Tag (24 h), gemessen mittels Funkortung.	109

Abbildung 58: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in verschiedenen Laufbereichen pro Tag (20 h ohne Weidezeit), gemessen mittels Videobeobachtung.	109
Abbildung 59: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten im Liegebereich pro Tag (24 h), gemessen mittels Funkortung.....	110
Abbildung 60: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten im Liegebereich pro Tag (20 h, ohne Weidezeit), gemessen mittels Videobeobachtung.	110
Abbildung 61: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten an verschiedenen Tränken pro Tag (24 h), gemessen mittels Funkortung.	111
Abbildung 62: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten an verschiedenen Tränken pro Tag (20 h, ohne Weidezeit), gemessen mittels Videobeobachtung.	111
Abbildung 63: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Fressbereich, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,38$).	112
Abbildung 64: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Sonstiges, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,04$).	113
Abbildung 65: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Fressbereich (korrigierte Datenmenge), erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,76$).	113
Abbildung 66: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Paddock 1, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,88$).	114
Abbildung 67: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Paddock 2, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,18$).	114
Abbildung 68: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Paddock 3, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,95$).	115
Abbildung 69: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Vordach 1, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,38$).	115

Abbildung 70: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Vordach 2, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,78$).....	116
Abbildung 71: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Vordach 3, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,6$).....	116
Abbildung 72: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Liegebereich 1, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,84$)..	117
Abbildung 73: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Liegebereich 2, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,75$)..	117
Abbildung 74: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Liegebereich 3, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,14$)..	118
Abbildung 75: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Liegebereich 4, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,65$)..	118
Abbildung 76: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Tränke 1, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,98$).....	119
Abbildung 77: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Tränke 2, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,89$).....	119
Abbildung 78: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Tränke 3, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,86$).....	120
Abbildung 79: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Tränke 4, erhoben mit den Messmethoden Videobeobachtung (Interact) und Funkortung ($R = 0,1$).....	120
Abbildung 80: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Weide 1, erhoben mit den Messmethoden Direktbeobachtung und Funkortung ($R = 0,69$).....	121
Abbildung 81: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Weide 2, erhoben mit den Messmethoden Direktbeobachtung und Funkortung ($R = 0,34$).....	121

Abbildung 82: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Weide 3, erhoben mit den Messmethoden Direktbeobachtung und Funkortung ($R = 0,42$).....	122
Abbildung 83: Korrelation der Aufenthaltsdauer im Sektor Weide 4, erhoben mit den Messmethoden Direktbeobachtung und Funkortung ($R = 0,64$).....	122
Abbildung 84: Grafische Darstellung einer Ortstreue-Untersuchung, links über 12 Stunden an einer Stelle, rechts über jeweils eine Stunde an verschiedenen Orten.	124
Abbildung 85: Vom System gemessene Wegstrecken bei verschiedenen Liegedauern an einer Stelle.....	124
Abbildung 86: Vom System gemessene Wegstrecken beim Zurücklegen verschiedener genormter Wegstrecken, die Strecke wurde jeweils einfach (e) zurückgelegt.	125
Abbildung 87: Vom System gemessene Wegstrecken beim Zurücklegen verschiedener genormter Wegstrecken, die Strecke wurde teils einfach (e), teils doppelt (d) zurückgelegt.	126
Abbildung 88: Grafische Darstellung einer Wegstreckenmessung in der Föhranlage, die Messung wurde auf dem inneren Radius des Laufkreises gefahren.	127
Abbildung 89: Grafische Darstellung der in der Föhranlage gemessenen Wegstrecken im Vergleich mit den errechneten Wegstrecken, jeweils über 1, 5, 10 oder 20 Runden, bei einer Geschwindigkeit von 10 (entspricht 0,363 m/s).....	128
Abbildung 90: Grafische Darstellung der in der Föhranlage gemessenen Wegstrecken im Vergleich mit den errechneten Wegstrecken, jeweils über 1, 5, 10 oder 20 Runden, bei einer Geschwindigkeit von 40 (entspricht 1,124 m/s).....	128
Abbildung 91: Grafische Darstellung der in der Föhranlage gemessenen Wegstrecken im Vergleich mit den errechneten Wegstrecken, jeweils über 1, 5, 10 oder 20 Runden, bei einer Geschwindigkeit von 80 (entspricht 3,378 m/s).....	129

Abbildung 92: Grafische Darstellung der, jeweils an einem Pferd und Messtag, durch Ortung und Pedometer gemessenen Wegstrecken.....	131
Abbildung 93: Durchschnittlich gemessene Wegstrecken, ermittelt von den Systemen Funkortung, sowie an verschiedenen Beinen befestigten Pedometern.....	131
Abbildung 94: Im Weidebereich zu verschiedenen Uhrzeiten zurückgelegte Wegstrecken (Meter), gemessen mittels Funkortung.....	132
Abbildung 95: Lineare Regression zur Überprüfung der Plausibilität der von der Methode Funkortung gemessenen Wegstrecke, verglichen mit der Dauer der Bewegung, ermittelt durch Videobeobachtung Interact ($R^2 = 0,53$; $R = 0,41$).....	133
Abbildung 96: Lineare Regression zur Überprüfung der Plausibilität der von der Methode Funkortung gemessenen Wegstrecke, verglichen mit der Dauer der Bewegung, ermittelt durch Funkortung ($R^2 = 0,59$; $R = 0,42$).....	134
Abbildung 97: Einfache Lineare Regression für den Parameter Strecke der Bewegung pro Stunde, ermittelt durch die Methoden Funkortung und Pedometer ($R^2 = 0,7$; $R = 0,6$).....	134
Abbildung 98: Metallgegenstände, wie hier die Umzäunung der Paddocks oder die Metall-Ummantelten Holzbalken, können durch Reflektionen zu Fehlmessungen führen.....	142
Abbildung 99: Für den Aufbau der Funkortungsanlage mussten aufwendig Masten errichtet und Erdkabel verlegt werden, wofür spezielle Geräte notwendig waren (Fotos: Janne Köster).....	143
Abbildung 100: Pferde beim Weidegang, mit den Basisstationen im wetterfesten Gurt.....	143
Abbildung 101: Die Pedometer waren im Pferdebereich verschiedenen Belastungen ausgesetzt, beispielsweise durch Anschlagen der Beine an die Umzäunung oder an die Tränke, sowie Verbiss durch das tragende Pferd oder Herdenmitglieder.....	147

Abbildung 102: Zielgerichtete Aggression gegen Gegenstände an einem rangniederen Pferd, hier: gegenüber einem Transponder-Halsband.....	151
Abbildung 103: Um die Geräte zu schonen und den Verbiss zu minimieren, wurden die Pferde häufig durch Spielzeuge abgelenkt, an denen sie vor allem ihre oralen Bedürfnisse befriedigen konnten.	155
Abbildung 104: Häufiges Graben von Löchern erhöhte die vom Pedometer am Vorderbein gemessene Aktivität.	157
Abbildung 105: Verschiedene Liegepositionen, dadurch bedingt verschiedene Positionen der Pedometer an Vorder- und Hinterbeinen.	158
Abbildung 106: Im Fressbereich bewegten sich die Pferde häufig auf kleinen Wegstrecken vor und zurück, beispielsweise durch Verdrängung von Artgenossen, oder um den Fressstand zu wechseln.	163
Abbildung 107: Grafische Darstellung der verschiedenen Bewegungszustände und Geschwindigkeiten für jeweils drei Pferde (Basisstationen 1-3).	164
Abbildung 108: Grafische Darstellung eines Rundganges durch eine Person auf der Weide mit zwei Basisstationen (rot und blau dargestellt), zur Orientierung unterlegt mit farbigem Hintergrund.	165
Abbildung 109: Bewegungsprofil eines Pferdes während einer Weidezeit von vier Stunden, grafische Darstellung ohne Hintergrund. Rote Bereiche wurden besonders häufig besucht, die blauen Kreuze zeigen die Positionen der auf der Weide fest installierten Transponder.....	166
Abbildung 110: Bewegungsprofil von drei Pferden während einer Weidezeit von vier Stunden	166
Abbildung 111: Bewegungsprofil derselben drei Pferde während der Weidezeit von vier Stunden, anhand der farblichen Differenzierung (rot, blau, orange) können die einzelnen Tiere unterschieden werden.	167

-
- Abbildung 112: Gesamtes Bewegungsprofil eines Pferdes in Stall und Weide über einen Zeitraum von 24 Stunden..... 168
- Abbildung 113: Bewegungsprofil im Stall über einen Zeitraum von 20 Stunden, links von einem, rechts von drei Pferden. Rote Bereiche wurden besonders häufig frequentiert. Im Bereich der Fressstände kam es durch Metallteile zu starken Reflektionen, so dass in der Grafik Aufenthaltsbereiche außerhalb der Stallgrenzen erscheinen..... 168
- Abbildung 114: Bewegungsprofil eines Pferdes über einen Zeitraum von acht Stunden (Foto: Peter Kreimeier)..... 169

DANKSAGUNG

Zunächst danke ich **Herrn Prof. Dr. Franz-Josef Bockisch**, Leiter des ehemaligen Institutes für Betriebstechnik und Bauforschung (BB) der FAL für die Bereitstellung des Themas meiner Arbeit, sowie die fachliche Unterstützung und Betreuung, ebenso wie die von **Herrn Prof. Dr. Georg Erhardt** (JLU Giessen). Weiterhin möchte ich dem Institut BB dafür danken, dass mir sämtliche Arbeitsmaterialien und die Technik zur Verfügung gestellt wurden. Danken möchte ich auch besonders **Frau Dr. Gundula Hoffmann** (BB, jetzt ATB Potsdam) für fachlichen Rat und jegliche Unterstützung in allen Lebenslagen sowie **Herrn Dipl. ing. agr. Peter Kreimeier** (BB, jetzt vTI) für die fachliche Unterstützung.

Ein ganz besonders großes Dankeschön geht an die Mitarbeiter des ehemaligen Institutes BB **Frau Doris Steinkraus**, **Herrn Jens Mainzer** sowie insbesondere **Herrn Jörg Thiele** für die gute Betreuung meiner Schützlinge und viele nette Gespräche. Dank schulde ich ebenfalls **Herrn Hartmut Schwarze** und **Herrn Burghard Pauke** für gute Ideen und gute Laune, sowie dem gesamten Team von der Instituts-Werkstatt für die handwerkliche Unterstützung. Zu besonderem Dank bin ich auch **Herrn Alexander Huf** verpflichtet, ohne dessen geduldige technische Hilfe und seine ständigen Reparaturen vieles nicht möglich gewesen wäre.

Weiterhin danke ich allen **Mitarbeitern der TU Clausthal-Zellerfeld** für die stete Hilfe bei der Umsetzung des Projektes und bei technischen Problemen, insbesondere **Herrn Millner** und **Herrn Ebelt**.

Großer Dank gebührt **Herrn Dr. Jacobs** sowie **Herrn Schäfer** für die freundliche Überlassung ihrer Pferde zu Versuchszwecken.

Großer Dank geht an meine Mitdotorandin **Frau Janne Köster**, mit deren Hilfe große Motivationslöcher überwunden werden konnten, vor allem auch für ihre tollen Fotos, welche ich benutzen durfte.

Nicht zuletzt danke ich der **Firma Polar** für die Leihgabe der GPS-Geräte, und der **Firma Stassek Diversit GmbH**, welche mir eine größere Menge ihres Produktes „Equistop“ zur Verfügung stellte.

ERKLÄRUNG

Ich erkläre:

Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Gießen, den 26.06.2012

Kristin Schlender