

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Departement
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Arbeit angefertigt unter der Leitung von Prof. Dr. M. H. Erhard

**Schlafverhalten und Physiologie des Schlafes beim
Pferd auf der Basis polysomnographischer
Untersuchungen**

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

von

Magdalena Maria-Christina Nadine Luise Barbara Kalus
aus Bad Mergentheim

München 2014

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Joachim Braun

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Dr. Michael H. Erhard

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Lutz S. Göhring

Tag der Promotion: 08. Februar 2014

Für Kathrin Gogolin

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	X
TABELLENVERZEICHNIS.....	XII
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	XIII
I. EINLEITUNG	1
II. LITERATURÜBERSICHT.....	3
1. Allgemeines zum Schlaf.....	3
1.1. Physiologie des Schlafes	3
1.1.1. Schlaf bei verschiedenen Tierarten.....	4
1.1.2. Zirkadianer Rhythmus	4
1.1.3. Synchronisation durch Zeitgeber.....	5
1.1.4. Hormonelle Mechanismen	5
1.1.5. Funktionen des Hypothalamus.....	6
1.1.6. Schlafregulation	8
1.2. Funktionen des Schlafes.....	9
1.2.1. Erholung, Regeneration und Wiederherstellung	10
1.2.2. Energieerhaltung.....	11
1.2.3. Lernen und Gedächtnisbildung	12
1.2.4. Immobilisierung und Wachposten-Funktion	13
1.2.5. Sonstige Funktionen	14
1.3. Entstehung und Erfassung des Schlafes	14
1.3.1. Entstehungsmechanismen des EEG.....	14
1.3.1.1. Aktionspotentiale.....	15
1.3.1.2. Postsynaptische Potentiale	15
1.3.1.3. Potentialschwankungen von Gliazellen.....	16
1.3.1.4. Kortikale Feldpotentiale.....	16
1.3.2. Schlaferfassung mittels Polysomnographie	19
1.3.2.1. EEG-Ableitung und Registrierung	19
1.3.2.2. EMG und EOG.....	20
1.4. Einteilung in Schlafstadien	20
1.4.1. Frequenzbereiche und Amplitude	24
1.4.1.1. Grundrhythmus	24

1.4.1.2.	Slow Waves	25
1.4.1.3.	REM-Phase.....	25
1.4.2.	Hypnogramm des Menschen	25
1.4.3.	Nomenklatur.....	27
1.4.4.	Systemische Eigenschaften	28
1.4.4.1.	REM-Schlaf	28
1.4.4.2.	Non-REM-Schlaf	28
1.4.5.	Besondere Bedeutung des REM-Schlafes.....	29
1.4.5.1.	Lernen und Erinnerung	29
1.4.5.2.	Aufwach-Hypothese	29
1.4.5.3.	Träumen.....	29
2.	Das Liegeverhalten des Pferdes	31
2.1.1.	Typische Bewegungsabläufe	31
2.1.1.1.	Ablegen.....	31
2.1.1.2.	Liegen	31
2.1.1.3.	Aufstehen.....	32
2.1.2.	Bevorzugter Zeitraum.....	32
2.1.3.	Beeinflussung des Liegeverhaltens	33
2.1.3.1.	Durch die Haltungsform	34
2.1.3.2.	Durch Einstreu und Fütterung	36
2.1.3.3.	Durch Rangordnung und Leistung	37
2.1.3.4.	Durch Alter, Geschlecht und Temperatur.....	37
3.	Das Ruhe- und Schlafverhalten des Pferdes	39
3.1.	Grundlagen	39
3.1.1.	Geschichtlicher Hintergrund.....	39
3.1.2.	Spannsägenkonstruktion.....	39
3.1.3.	Einteilung nach visuellen Gesichtspunkten	40
3.1.3.1.	Dösen.....	41
3.1.3.2.	Schlummern.....	42
3.1.3.3.	Tiefschlaf.....	42
3.1.3.4.	Dehnungen und Streckungen	42
3.1.4.	Bevorzugter Zeitraum.....	43
3.1.5.	Beeinflussung des Ruhe- und Schlafverhaltens.....	44
3.1.5.1.	Durch die Haltungsform	45

3.1.5.2.	Durch Einstreu und Fütterung	47
3.1.5.3.	Durch Alter, Geschlecht, Temperatur, Rangordnung und Leistung....	47
4.	Beurteilung des Pferdeschlafes mittels EEG	49
4.1.	Geschichtliche Grundlagen	49
4.2.	Gesamtschlafzeit.....	50
4.3.	Schlafstadien beim Pferd	50
4.3.1.	Wachzustand	51
4.3.2.	REM-Phase.....	51
4.3.2.1.	Charakteristik	51
4.3.2.2.	Dauer	52
4.3.2.3.	Auftreten	52
4.3.3.	SWS-Schlaf / Stadium 3 und 4.....	53
4.3.3.1.	Charakteristik	53
4.3.3.2.	Dauer	53
4.3.3.3.	Auftreten	53
4.3.4.	Stadium 1 und 2	54
4.3.5.	Schlafarchitektur	54
4.4.	Beeinflussung des EEG	55
4.4.1.	Durch die Haltungform	55
4.4.2.	Durch das Alter	56
5.	Das Bewegungsverhalten des Pferdes	57
5.1.	Grundlagen	57
5.2.	Natürliches Bewegungsverhalten.....	57
5.3.	Bevorzugter Zeitraum.....	58
5.4.	Beeinflussung des Bewegungsverhaltens.....	59
5.4.1.	Durch die Haltungform	59
5.4.2.	Durch Geschlecht, Rasse, Fütterung und Saison	61
5.5.	Veränderungen durch menschlichen Gebrauch	62
5.5.1.	Folgen mangelnder Bewegung	64
5.5.2.	Folgen von Übertraining.....	65
6.	Auswirkungen körperlicher Belastung auf den Schlaf	67
6.1.	Probleme bei der Beurteilung.....	67
6.2.	Beeinflussung des Schlafes durch körperliches Training	68

6.2.1.	Potentielle positive Mechanismen	68
6.2.2.	Gesamtschlafzeit und Einschlaf latenz.....	69
6.3.	Einfluss von einmaliger Belastung	70
6.3.1.	Auf den REM-Schlaf.....	70
6.3.2.	Auf den SWS-Schlaf	71
6.3.2.1.	Untrainierte Individuen	71
6.3.2.2.	Trainierte Individuen.....	71
6.4.	Einfluss von regelmäßigem Training	72
6.5.	Abhängigkeit vom Alter	72
6.6.	Abhängigkeit von der Tageszeit.....	73
6.7.	Abhängigkeit von der Intensität.....	74
6.8.	Veränderungen beim Pferd	74
6.8.1.	Ruhe- und Schlafdauer	75
6.8.2.	Stress durch Bewegung	75
6.8.3.	Zirkadianer Rhythmus	75
III.	MATERIAL UND METHODEN	77
1.	Untersuchte Pferde und deren Haltungsumfeld.....	77
1.1.	Ruhetage	79
1.2.	Belastungstage	79
2.	Verwendete Gerätschaften und Durchführung der EEG-	
	Messungen	79
2.1.	Polysomnograph und technisches Equipment	79
2.2.	Elektroden und Elektrodenkabel	81
2.3.	Vorbereitung der Messungen.....	81
2.4.	Durchführung der Messungen.....	82
3.	Auswertung der EEG-Messungen	84
3.1.	Analysesoftware.....	84
3.2.	Manuelles Editieren der Messungen	84
3.2.1.	Schlafphasen	85
3.2.2.	Körperlage	85
3.2.3.	Statistische Methoden.....	86
IV.	ERGEBNISSE	87
1.	Zugrundeliegende Schlafstadien.....	87

1.1.	Wachzustand	88
1.2.	REM-Phase.....	89
1.3.	SWS-Schlaf.....	90
1.4.	Leichtschlaf	91
2.	Schlafarchitektur.....	96
2.1.	Gesamtschlafzeit.....	96
2.1.1.	Interindividuelle Unterschiede	98
2.1.2.	Intraindividuelle Unterschiede	100
2.2.	Schlafstadien	101
2.2.1.	Interindividuelle Unterschiede	103
2.2.1.1.	REM-Schlaf.....	104
2.2.1.2.	SWS-Schlaf.....	105
2.2.1.3.	Leichtschlaf	106
2.2.2.	Intraindividuelle Unterschiede	106
2.3.	Schlaffragmentierung.....	108
3.	Liegeverhalten.....	116
3.1.	Gesamtliegezeit	116
3.1.1.	Interindividuelle Unterschiede	118
3.1.2.	Intraindividuelle Unterschiede	122
3.2.	Brust- und Seitenlage.....	123
3.2.1.	Interindividuelle Unterschiede	127
3.2.2.	Intraindividuelle Unterschiede	128
4.	Schlaf in Abhängigkeit von der Körperlage.....	130
4.1.	Abhängigkeit von Körperlage und Gesamtschlafzeit.....	130
4.1.1.	Interindividuelle Unterschiede	131
4.1.2.	Intraindividuelle Unterschiede	132
4.2.	Abhängigkeit von Körperlage und Schlafstadien.....	133
5.	Einfluss von Ruhe und Belastung.....	138
V.	DISKUSSION.....	140
1.	Wahl der Methodik	140
2.	Versuchsbedingungen und untersuchte Pferde	142
3.	Gesamtschlafzeit und Schlaffragmentierung	144

4.	Nomenklatur der Schlafstadien	148
5.	Dauer und Auftreten der Schlafstadien.....	150
6.	Liegeverhalten.....	152
7.	Schlaf in Abhängigkeit von der Körperlage.....	155
8.	Einfluss von körperlichem Training auf das Schlafverhalten	158
9.	Ausblick	159
VI.	ZUSAMMENFASSUNG	161
VII.	SUMMARY	163
VIII.	LITERATURVERZEICHNIS.....	165
IX.	ANHANG	190
1.	Danksagung	190

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

α	Alpha-Frequenz
β	Beta-Frequenz
γ	Gamma-Frequenz
δ	Delta-Frequenz
θ	Theta-Frequenz
AASM	American Association of Sleep Medicine
Abb.	Abbildung
ACh	Acetylcholin
ARAS	Ascending Reticular Activating System
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
ca.	circa
cm	Zentimeter
Dez.	Dezember
DR	Drowsiness
EEG	Elektroenzephalogramm
EMG	Elektromyogramm
EOG	Elektrookulogramm
etc.	Et cetera
et. al.	Et alii / aliae
FN	Deutsche Reiterliche Vereinigung
GABA	Gamma-Amino-Butter-Säure
GLZ	Gesamtliegezeit
GSZ	Gesamtschlafzeit
h	Stunde
hGH	human Growth Hormone
Hz	Hertz
inkl.	Inklusive
km	Kilometer
KOhm	Kilohm
LS	Leichtschlaf
m	Meter
M	Movement
MD	Messdauer
min	Minute
mind.	mindestens
msec	Millisekunden

n	Anzahl
NA	Noradrenalin
o.ä.	oder Ähnliches
Okt.	Oktober
Pfd.	Pferd/Pferde
PL-EEG	Papierloses EEG
PSG	Polysomnographie
REF	Referenz
REM	Rapid Eye Movements
S	Stehen
s	Sekunde
s.	siehe
SCN	Nucleus Suprachiasmaticus
SEM	Standard Error of Means
STABW	Standardabweichung
Std.	Stunde
SWS	Slow Wave Sleep
Tab.	Tabelle
TS	Tiefschlaf
u.a.	und andere
u.v.a.	und viele andere
USWS	Unihemispheric Slow Wave Sleep
ÜTS	Übertrainingssyndrom
VLPO	Ventrolaterales präoptisches Areal
W	Wachzustand
WK	Wakefulness
µV	Mikrovolt
z.B.	zum Beispiel
5HT	5-Hydroxytryptamin

TABELLENVERZEICHNIS

- Tabelle 1:** Einteilung der Schlafstadien beim Menschen anhand anhand des EEG (nach RECHTSCHAFFEN & KALES 1968)
- Tabelle 2:** Neuerungen des AASM im Vergleich mit der traditionellen Schlafstadieneinteilung (nach KEENAN et al. 2013)
- Tabelle 3:** Liegeverhalten in Abhängigkeit von der Haltungsform
- Tabelle 4:** Ruheverhalten in Abhängigkeit von der Haltungsform
- Tabelle 5:** EEG-Frequenzen beim Pferd (nach WILLIAMS et al. 2008)
- Tabelle 6:** EEG-Befunde in Abhängigkeit von der Haltungsform
- Tabelle 7:** Bewegungsverhalten in Abhängigkeit von der Haltungsform (modifiziert nach HOFFMANN 2008)
- Tabelle 8:** Nutzungsrichtungen des Pferdes am Beispiel einer Umfrage in 186 Betrieben in Berlin/Brandenburg (modifiziert nach BREDENBRÖKER 2003)
- Tabelle 9:** Untersuchte Pferde
- Tabelle 10:** Standardisierter Trainingsplan
- Tabelle 11:** Messzeitraum und –dauer
- Tabelle 12:** Nächtliche und mittlere Gesamtschlafzeiten aller Pferde und deren prozentualer Anteil an der Messdauer
- Tabelle 13:** Nächtliche und mittlere Schlafstadiendauer aller Pferde und deren prozentuale Verteilung auf die Gesamtschlafzeit
- Tabelle 14:** Nächtliche und mittlere Gesamtliegezeiten aller Pferde und deren prozentualer Anteil an der Messdauer
- Tabelle 15:** Zeitliche Abhängigkeit der Liegephasen aller Pferde über alle Nächte
- Tabelle 16:** Prozentualer Anteil der Brust- und Seitenlagedauer der Pferde von der Gesamtliegezeit
- Tabelle 17:** Nächtliche und mittlere Körperlagedauer im Stehen, in Brust- und in Seitenlage und deren prozentualer Anteil an der Gesamtschlafzeit
- Tabelle 18:** Zusammenhang der Schlafstadien mit der Körperlage
- Tabelle 19:** Prozentuale Anteile der Schlafstadien im Stehen, Brust- und Seitenlage an der GSZ
- Tabelle 20:** Vergleich der Mittelwerte einiger ausgewählter Parameter nach Ruhe und nach Belastung

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abbildung 1:** Strukturen des Gehirns mit Beteiligung an der Schlafregulation
- Abbildung 2:** Entstehungsmechanismen des EEG
- Abbildung 3:** EEG-Frequenzen und deren Bandbreite (nach BUTKOV 2010)
- Abbildung 4:** Idealisiertes Hypnogramm des jungen, gesunden Menschen (nach RAMA & ZACHARIAH 2013)
- Abbildung 5:** Dösen im Stehen
- Abbildung 6:** Schlummern in Brustlage
- Abbildung 7:** Tiefschlaf in Brustlage
- Abbildung 8:** Beispiele für Dehnung und Streckung
- Abbildung 9:** Somnoscreen™ plus
- Abbildung 10:** Lokalisationsschema der Elektroden (nach GÜNTNER 2010)
- Abbildung 11a-c:** Beispiele für EEG, EOG und EMG im Wachzustand
- Abbildung 12a-c:** Beispiele für EEG, EOG und EMG im REM-Schlaf
- Abbildung 13a-c:** Beispiele für EEG, EOG und EMG im SWS-Schlaf
- Abbildung 14a-c:** Beispiele für EEG, EOG und EMG im Leichtschlaf
- Abbildung 15:** Mittlere Gesamtschlafzeit aller Pferde
- Abbildung 16:** Prozentualer Anteil der mittleren Gesamtschlafzeit an der Messdauer
- Abbildung 17:** Prozentualer Anteil der nächtlichen Gesamtschlafzeiten aller Pferde an der Messdauer
- Abbildung 18:** Prozentuale mittlere Verteilung der Schlafstadien auf die Gesamtschlafzeit
- Abbildung 19:** Errechnete zeitliche Verteilung der REM-Phasen über alle Nächte eines Pferdes
- Abbildung 20:** Prozentualer Anteil der nächtlichen Schlafstadien aller Pferde an der Gesamtschlafzeit
- Abbildung 21a-g:** Schlaffragmentierung über alle Nächte von allen Pferden
- Abbildung 22:** Prozentualer Anteil der mittleren Gesamtliegezeit an der Messdauer
- Abbildung 23:** Errechnete zeitliche Verteilung der Liegephasen über alle Nächte eines Pferdes

-
- Abbildung 24:** Prozentualer Anteil der nächtlichen Gesamtliegezeiten aller Pferde an der Messdauer
- Abbildung 25:** Prozentualer Anteil der mittleren Brust- und Seitenlagedauer an der Gesamtliegezeit
- Abbildung 26:** Prozentualer Anteil der nächtlichen Brust- und Seitenlagedauer an der Gesamtliegezeit aller Pferde über alle Nächte
- Abbildung 27a-g:** Nächtliche Verteilung der Brust- und Seitenlage-Liegephasen aller Pferde über alle Nächte
- Abbildung 28:** Prozentualer Anteil der mittleren Steh-, Brust- und Seitenlagedauer an der Gesamtschlafzeit
- Abbildung 29:** Prozentualer nächtlicher Anteil der Steh-, Brust- und Seitenlagedauer an der Gesamtschlafzeit aller Pferde
- Abbildung 30:** Prozentualer Anteil der mittleren Steh-, Brust- und Seitenlagedauer in Abhängigkeit vom Schlafstadium

I. EINLEITUNG

Wirft man einen Blick auf die Zahlen und Fakten der Deutschen Reiterlichen Vereinigung (FN), dem Dachverband für Pferdesport und -zucht, ist das wachsende Interesse am Reitsport unübersehbar. Nach einer Studie des Marktforschungsinstitutes Ipsos, betrieben bereits 2002 über 1,6 Millionen Menschen Pferdesport in Deutschland und über eine weitere Million würde gerne reiten. Mit 1,2 Millionen Pferden und Ponys in 2010 hat sich die Pferdepopulation in der Bundesrepublik in den letzten Jahren etwa vervierfacht und die FN ist die weltweit größte Pferdesportvereinigung. Neben fast 4000 Pferdebetrieben waren es 2012 noch 55.500 Mitglieder, heute sind es bereits knapp 56.500.

Mit dem wachsenden Interesse am Partner Pferd wächst auch das Bewusstsein für eine tiergerechte Haltung und einen korrekten Umgang. Dabei wird der Schlaf bisher, obwohl er einen nicht unerheblichen Teil des Tages einnimmt und währenddessen wichtige physiologische Vorgänge ablaufen, nur sehr unzureichend berücksichtigt.

Das Fluchttier Pferd schläft im Vergleich zum Menschen und vor allem zu Fleischfressern deutlich weniger und mit einem anderen Muster, doch es benötigt ebenso eine mehr oder weniger regelmäßig wiederkehrende Regenerationsphase. Der Schlaf im Stehen ist zudem eine Besonderheit der Einhufer, die im Reich der Säugetiere sehr selten und noch lange nicht abschließend erforscht ist. Lange Zeit konnte das Schlafverhalten des Pferdes nur durch Beobachtung gedeutet werden. Dank der Einführung von aus der Humanmedizin übernommenen tragbaren Polysomnographen, ist nun allerdings auch die Erstellung eines equinen Schlafprofils mit genauer Darstellung des Aktivitätszustandes des Gehirns möglich. Die Elektroenzephalographie wurde beim Pferd allerdings bisher meist nur zur Aufzeichnung von kurzen (<1 Stunde) Intervallen und dabei vor allem zur Beurteilung der Auswirkungen von Sedativa auf die Gehirnaktivität oder zur Diagnose von intrakranialen Veränderungen verwendet. Es liegen nur wenige Dokumentationen über die Analyse ganzer Nächte und die Beurteilung des equinen Schlafverhaltens vor.

Dementsprechend existieren bisher auch noch keine Studien, bei denen Pferde unter standardisierten Bedingungen mehrere fortlaufende Tage am Stück untersucht wurden, oder bei denen ein Augenmerk auf die körperliche Aktivität der Tiere gelegt wurde.

In vorliegender Untersuchung soll daher das Schlafverhalten des Pferdes in Bezug auf Länge und Qualität der unterschiedlichen Schlafstadien an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen beurteilt werden. Es soll untersucht werden, ob bei Pferden ein intra- und/oder interindividuelles Schlafmuster existiert, welches in gewissem Maße täglich wiederkehrt und evtl. für diese Spezies kennzeichnend ist. Auch soll die Abhängigkeit der Schlafstadien von der Körperlage sowie deren zeitlicher Ablauf über die Nachtstunden dargestellt werden.

Zudem haben die polysomnographischen Untersuchungen die vergleichende Darstellung des equinen Schlafverhaltens nach Ruhe und nach körperlicher Anstrengung zum Ziel. Es soll erörtert werden, ob Pferde nach sportlichem Einsatz (Reiten, Longieren o.ä.), der immer mit einem gewissen psychischen und physischen Stress für die Tiere verbunden ist, ein anderes Schlafverhalten aufweisen, als nach Ruhe, und ob eventuell ein erhöhtes Bedürfnis nach Schlaf und Erholung besteht.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. Allgemeines zum Schlaf

Obwohl der Mensch etwa ein Drittel seines Lebens schlafend verbringt, ist der Schlaf selbst beim Menschen relativ wenig untersucht (STURM & CLARENBACH, 1997).

Jahrhundertlang wurde angenommen, dass Schlaf lediglich das passive Resultat reduzierter Gehirnaktivität ist, die durch Müdigkeit ausgelöst wird und dass nur der Wachzustand aktiv aufrechterhalten wird (RECHTSCHAFFEN & SIEGEL, 2000; JONES, 2013), oder sogar, dass Schlaf schlichtweg das Nichtvorhandensein von Wachheit ist (HARRIS, 2005). Dass der Körper bei Schlafentzug versucht, die verlorene Menge nachzuholen (sog. „Schlaf-Rebound“), zeigt allerdings, dass es sich nicht nur um eine Periode reduzierter Aktivität oder Wachheit, sondern ebenfalls um einen aktiv aufrecht erhaltenen Zustand handelt (SIEGEL, 2005). „Sleeping is behaving just as eating, fighting, socialising and copulating are behaving.“ postulierte MEDDIS bereits 1977.

Schlaf kann als ein leicht reversibler Zustand von reduzierter motorischer Reaktivität und reduzierter Reaktionsfähigkeit auf, sowie Interaktion mit, der Umwelt definiert werden, der in einer stereotypischen Haltung stattfindet (CARSKADON & DEMENT, 1989; RECHTSCHAFFEN & SIEGEL, 2000; AKERS & DENBOW, 2008). Dieser Zustand, der durch körperliche Ruhe charakterisiert ist, kann durch eben diese rasche Reversibilität von Koma und Narkose unterschieden werden (SIEGEL, 2005). Diese körperliche Ruhe bedeutet aber nicht zwangsweise komplette Unbeweglichkeit (ZEPELIN, 1989; WILLIAMS et al., 2008).

1.1. Physiologie des Schlafes

Der Großteil der bisherigen Schlafforschung konzentriert sich auf Menschen und Ratten und stützt sich auf die Beobachtung von Verhaltensweisen und elektroenzephalographische Untersuchungen (LIMA et al., 2005).

1.1.1. Schlaf bei verschiedenen Tierarten

Die genetische Verwandtschaft oder taxonomische Stellung eines Lebewesens hängt, im Gegensatz zu dessen Körpergröße, nicht mit der Schlafdauer zusammen. Große Tiere benötigen weniger Schlaf als Kleine, da Letztere höhere Körper- und Gehirntemperaturen und einen schnelleren Metabolismus haben (SIEGEL, 2003). Ebenso haben kleine Tiere kürzere Schlafzyklen. Die tägliche Schlafdauer ist am höchsten bei Fleischfressern, gefolgt von Allesfressern und am niedrigsten bei Pflanzenfressern. Evaluiert man aber omni-, carni- und herbivore Tiere getrennt voneinander, ist bei Carni- und Herbivoren kein Zusammenhang mehr zwischen Körpergröße und -gewicht und Schlafdauer erkennbar (SIEGEL, 2005). Bei den meisten Tieren sind die Zyklen verhältnismäßig kurz, so auch beim Pferd (TOBLER, 1995).

Interessant ist, dass manche Vogelarten, im Gegensatz zu den meisten Säugetieren, manchmal mit nur einer Gehirnhälfte schlafen (USWS = Unihemispheric Slow Wave Sleep) und mit der Anderen wach sind. Währenddessen ist das kontralaterale, mit der wachen Hemisphäre neurologisch verbundene, Auge offen und beobachtet die Umwelt. USWS ist vielleicht ein Vögeln und Säugetieren vererbtes Merkmal, das in Säugetieren schrittweise verloren gegangen ist und heute nur noch teilweise in Meersäugetern vorhanden ist (RATTENBORG et al., 2000). Ob USWS heute bei gar keinem Säugetier mehr existiert, kann aber nicht mit absoluter Sicherheit behauptet werden.

Auf den Schlaf bei verschiedenen Tierarten, sowie auf Sonderformen wie Winterschlaf und krankhafte Formen wie Schlaflosigkeit (Insomnia) wird im Folgenden nicht näher eingegangen. Im Rahmen der Arbeit erwähnenswerte und interessante Details im Vergleich zu den Huftieren werden in der Diskussion aufgeführt.

1.1.2. Zirkadianer Rhythmus

Der Schlaf folgt, wie viele andere Verhaltensweisen und physiologische Aktivitäten, einem zirkadianen Rhythmus. Er ist somit körpereigen (endogen reguliert) und kann ohne Umweltauslöser bestehen

(RECHTSCHAFFEN & SIEGEL, 2000). Verschiedene Umwelteinflüsse funktionieren hierarchisch als Synchronizer von biologischen Rhythmen. Hierbei ist der Stärkste die Hell-Dunkel-Wechselfolge (PICCIONE & GIANNETTO, 2011). Unter normalen Umständen wird auch der Schlaf vom externen Zeitgeber Licht beeinflusst, und ermöglicht dem Organismus eine Adaptation an rhythmische Umweltveränderungen (z.B. Druck durch Fressfeinde, Umgebungstemperatur o.ä.), indem sich die körperliche und physiologische Verfassung an der am besten geeigneten Zeit des Sonnentages orientiert.

1.1.3. Synchronisation durch Zeitgeber

Der einzige interne Schrittmacher der Säugetiere (die „innere Uhr“), der Nucleus Suprachiasmaticus (SCN), liegt im vorderen Hypothalamus und ist für Empfang und Umwandlung der von der Retina kommenden Lichtsignale zuständig (RECHTSCHAFFEN & SIEGEL, 2000). Diese Signale beeinflussen in fast allen Geweben des Körpers lokalisierte periphere Oszillatoren (DUNLAP, 1999). Das zirkadiane Steuerungssystem von Säugetieren besteht somit aus fast so vielen individuellen Uhren (sog. peripheren oder sekundären Zeitgebern), wie es Zellen gibt (SCHIBLER & SASSONE-CORSI, 2002; DIBNER et al., 2010). Diese zahllosen Oszillatoren müssen von einem zentralen Zeitgeber synchronisiert werden, um Physiologie und Verhalten zu koordinieren. Die Synchronisation durch den Haupttaktgeber im Nucleus Suprachiasmaticus stellt sicher, dass jedes Gewebe seine spezielle Funktion, durch gewebsspezifische zirkadiane Regulation der Transkription, an die korrekte Tageszeit anpassen kann (PICCIONE & GIANNETTO, 2011).

1.1.4. Hormonelle Mechanismen

Der Nucleus Suprachiasmaticus steuert den Schlaf-Wach-Rhythmus, ist aber nicht für den Schlaf selber verantwortlich (RECHTSCHAFFEN & SIEGEL, 2000; MURPHY, 2010). Vielmehr sind eine Vielzahl verschiedener chemischer Substanzen (Neurotransmitter) die tatsächlichen Auslöser (HARRIS, 2005).

Hier spielt das Melatonin, ein ubiquitär vorkommendes, zirkulierendes Neurohormon, das vor allem von der Zirbeldrüse (glandula pinealis) aus der Aminosäure Tryptophan und über die Zwischenstufe Serotonin produziert wird, eine wichtige Rolle. Die Melatoninsekretion folgt einem zirkadianen Rhythmus und findet vor allem in der Dunkelheit statt, wenn kein photoperiodischer Input durch Licht stattfindet (HARRIS, 2005; DIBNER et al., 2010). Daher wird es auch das „Hormon der Nacht“ genannt (PANDI-PERUMAL et al., 2006). Melatonin hat neben der Beeinflussung des Schlafes durch Stimulation des Nucleus suprachiasmaticus auch eine antioxidative und antikanzerogene Wirkung. Es beeinflusst auch die saisonale Fortpflanzung über Wirkung auf die Gonaden sowie das Immunsystem. Weitere Sekretionsquellen sind unter anderem die Retina und der Gastrointestinaltrakt (HARRIS, 2005; PANDI-PERUMAL et al., 2006).

Neueste Forschungsergebnisse stützen diese, als generell für alle Säugetiere zutreffend angesehene Funktion des Melatonins als zirkadianer Zeitgeber nicht. In einer 2011 durchgeführten Studie konnte die endogene Regulation der Melatoninsekretion für Pferde unerwarteterweise nicht bestätigt werden. Unter in verlängerter Dunkelheit gehaltenen Pferden zeigte keines der Tiere den nach 10-12 Stunden erwarteten Anstieg von Serummelatonin. Ein komplett kompetenter und selbstständiger zirkadianer Nucleus Suprachiasmaticus ist bei Pferden allerdings bewiesenermaßen vorhanden. Die Cortisolsekretion, die negativ an die des Melatonins gekoppelt ist (Serum-Spitzenwerte am Morgen mit einer konstanten Abnahme über den Tag und den niedrigsten Werten in der Nacht), zeigte auch während der verlängerten Dunkelperiode einen zirkadianen Rhythmus. Die Melatoninsynthese ist somit von der photoperiodischen Einwirkung abhängig und daher ist Melatonin nach dieser Studie beim Pferd kein geeigneter Marker für den zirkadianen Rhythmus (MURPHY et al., 2011).

1.1.5. Funktionen des Hypothalamus

Die Weichen für die Zuständigkeit des Hypothalamus als Hauptsteuerungselement für das Wach-Schlafverhalten wurden erst in

den späten 90er Jahren gestellt (SAPER et al., 2001).

Aufsteigende Systeme (Neuronengruppen in Hirnstamm, Hypothalamus und basalem Vorderhirn) sind wesentlich für die Erregung in Großhirnrinde und Thalamus und damit für die Wachheit verantwortlich. Diese werden während des Schlafes von einem GABA-haltigen (Gamma-Amino-Butter-Acid = γ -Aminobuttersäure) Neuronensystem unterdrückt, bei dem das ventrolaterale präoptische Areal (VLPO) eine Schlüsselrolle spielt (SAPER et al., 2005). Dies vermuteten kurz nach Ende des zweiten Weltkrieges, bereits MORUZZI & MAGOUN (1949), die in der ersten Ausgabe des irländischen Journals „Electroencephalography and clinical Neurophysiology“, heute unter dem Namen „Clinical Neurophysiology“, bei einer Stimulation der *Formatio reticularis* im Hirnstamm Veränderungen im EEG feststellen konnten und davon auf eine aufsteigende Leitungsbahn schlossen, die den Wach-Schlaf-Zustand steuert. Dieses „aufsteigende Aktivierungssystem der *Formatio reticularis*“ (ascending reticular activating system = ARAS) erregt den Thalamus zur Aufrechterhaltung des Wachzustandes direkt mittels des cholinergen Neurotransmitters Acetylcholin (ACh) und dem Katecholamin Noradrenalin (NA). Während des Non-REM-Schlafes nimmt die Acetylcholin-Konzentration ab und im REM-Schlaf wieder zu (HARRIS, 2005). Die *Formatio reticularis* übt somit eine Weckfunktion („arousal“) aus (AKERS & DENBOW, 2008; JONES, 2013). Zur Schlaf einleitung wird das noradrenerge System indirekt mittels der Neurotransmitter Serotonin (5HT, 5-Hydroxytryptamin) vom Nucleus raphe und durch GABA aus Kerngebieten des Hirnstammes, gehemmt (JONES, 1989).

In Abbildung 1 sind alle wichtigen, an der Schlafregulation beteiligten, Strukturen des Gehirns dargestellt.

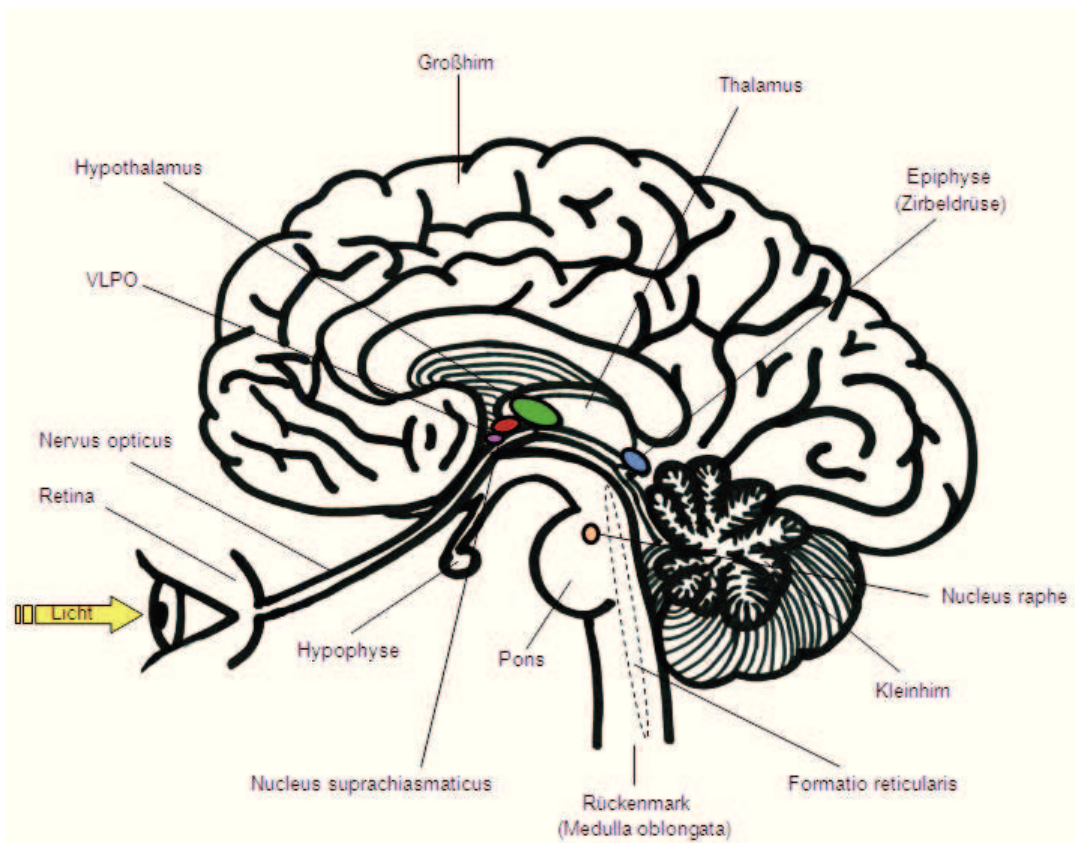


Abbildung 1: Strukturen des Gehirns mit Beteiligung an der Schlafregulation (VLPO=Ventrolaterales präoptisches Areal)

Neuere Forschungsprojekte zeigen, dass zwischen Schlaf und Wachheit ausgeprägte Unterschiede beim aktiv arbeitenden Gehirn und den beteiligten spezifischen neurochemischen Systemen bestehen. Die eigentlichen Erregungssysteme, die von schlaffördernden Neuronen unterdrückt werden, dienen auch der Unterbrechung genau dieser Schlafprozesse, um den Körper wieder in den Wachzustand zu versetzen (SCHWARTZ & ROTH, 2008).

1.1.6. Schlafregulation

Der Schlaf wird konventionell in REM-Schlaf (Rapid-Eye-Movement-Schlaf) und Non-REM-Schlaf unterteilt werden (HARRIS, 2005; STAUNTON, 2005). MANNI (2005) geht davon aus, dass diesen zwei Schlafarten zwei grundlegend verschiedene Prozesse zugrunde liegen. Dies würde auch die in den Schlafarten unterschiedlichen Traumqualitäten erklären, ist aber nach wie vor noch nicht abschließend geklärt. Diese

Hypothese eines „Zwei-Rollen-Modells“ der Schlafregulation wurde schon früher postuliert. Er sah einen schlaf-abhängigen Prozess S und einen schlaf-unabhängigen und zirkadianen Prozess C, an der Regulation des Schlafes beteiligt. Der SWS-Schlaf (Phasen 3 und 4 des Non-REM-Schlafes, mehr dazu s. Kapitel 1.4.1. Nomenklatur) nimmt im Verlauf des Schlafes ab und ist somit von vorangegangenem Wach-Sein oder Schlafen beeinflusst. Er entspricht dem Prozess S. Der REM-Schlaf ist nur sehr wenig von vorangegangenem Wach-Sein oder Schlafen beeinflusst, zeigt einen markanten zirkadianen Rhythmus und spiegelt Prozess C wieder. Er wird von einem zirkadianen Zeitgeber kontrolliert (BORBÉRLY, 1982).

Der Schlaf reguliert sich homöostatisch selbst und hält Menge und Tiefe des Schlafes im Gleichgewicht. Schlafverlust wird folglich durch längeren oder tieferen Schlaf ausgeglichen (ZEPELIN, 1989). HORNE teilte den Schlaf 1983 in fakultativen und obligatorischen Schlaf ein. Letzterer dient vielleicht der essentiellen Wiederherstellung des Cerebrums.

1.2. Funktionen des Schlafes

Der Schlaf, der bei allen Säugetieren zu finden ist, erfüllt viele verschiedene Funktionen. Er ist für diese Klasse der Wirbeltiere lebenswichtig. Schlafentzug wird ausgeglichen, auch wenn der folgende Erholungsschlaf den zuvor entgangenen Schlaf fast nie kompensieren kann. Die zentrale Rolle des Schlafes, die eine grundlegend Essentielle und Wichtige sein muss, ist allerdings bis heute noch nicht abschließend erforscht (ZEPELIN, 1989; RECHTSCHAFFEN, 1998; HELLER, 2013).

Eine Möglichkeit, sich dem Zweck des Schlafes zu nähern, ist die physiologischen und Verhaltensänderungen zu betrachten, die bei einem Mangel auftreten (SIEGEL, 2003). Der Zweck könnte beim Menschen ein anderer sein, als bei Tieren und sich auch in der Tierwelt von Spezies zu Spezies unterscheiden (MEDDIS, 1977). Mutmaßungen über die Funktion des Schlafes bei Säugetieren gehen vom nicht-erholsamen Überbrücken unproduktiver Zeit, über das Bereitstellen von Sicherheit und Energiekonservierung, bis hin zu essentiellen und speziellen restaurativen

Prozessen (HORNE, 1983; RAMA & ZACHARIAH, 2013). Auch könnten diese und noch mehr Funktionen allesamt zutreffend sein (MEDDIS, 1983).

Der Schlaf ist gerade für Säugetiere gefährlich, zeitaufwendig und kompliziert, so dass man von einer wichtigen Funktion ausgeht. Unter anderem wurden in unterschiedlichen Studien die Funktionen Thermoregulation, Gedächtnisbildung, Wiedererlangung der Wachsamkeit, Energieeinsparung und Stärkung des Organismus, sowie die „Wiederherstellung der Ordnung des ZNS“ genannt (CARTMILL, 1996; RAABYMAGLE & LADEWIG, 2006; WÖHR & ERHARD, 2010).

1.2.1. Erholung, Regeneration und Wiederherstellung

Die meisten Autoren, die sich mit der Funktion des Schlafes beschäftigen, nehmen an, dass Schlaf einem Erholungszweck dient, bei dem lebenswichtige Prozesse involviert sind. Diese Idee ist bereits hunderte von Jahre alt (HELLER, 2013; SIEGEL, 2013a) und sobald daran gezweifelt wird, verweisen Sie auf den schwächenden Effekt von Schlafentzug (MEDDIS, 1975).

Laut dieser „Erholungstheorie“ dient Schlaf der Linderung körperlicher und/oder geistiger Defizite, die im Wachzustand entstanden sind (ZEPELIN, 1989; HELLER, 2013). Im Schlaf ist der Körper in einem anabolen Zustand und es kann eine deutlich höhere Mitoserate nachgewiesen werden, als im Wachzustand. Dort herrscht eine von Haus aus katabole Stoffwechsellage (OSWALD, 1980). Die Proteinsyntheserate, die für Reperaturvorgänge im Körper unabdingbar ist, ist in Ruhe und während des Schlafes am höchsten und besonders der SWS-Schlaf spielt eine Rolle bei der physischen Stärkung (ADAM, 1980). Folglich würde man einen erhöhten SWS-Schlafbedarf nach körperlicher Anstrengung vermuten (TORSVALL et al., 1984). Dies konnte aber bisher kaum, und wenn dann nur bei fitten und trainierten Individuen festgestellt werden (BAEKELAND & LASKY, 1966). TORSVALL et al. (1984) vermuten, dass dies eventuell mit der höheren Metabolismusrate und dem damit verbundenen erhöhten Erholungsbedarfes zusammenhängt.

Trainierte Individuen zeigen andere EEG-Basiswerte als Untrainierte, was mit deren erhöhter Körpertemperatur und anderen, durch das Training hervorgerufenen Stressfaktoren zusammenhängen könnte. Der Einfluss der Körpertemperatur erscheint vor allem wahrscheinlich, weil eine Erhitzung des Körpers ohne sportliche Belastung dieselben Veränderungen im EEG hervorruft (HORNE, 1981).

Ein wichtiger Punkt, der diese „Wiederherstellungs-Theorie“ des Schlafes unterstützt, ist die vermehrte Ausschüttung von anabol wirksamen Hormonen während des Schlafes. So ist beim Menschen vor allem in den Schlafstadien 3 und 4 eine erhöhte Freisetzung des Wachstumshormons (hGH = human Growth Hormone) zu verzeichnen, welche aber bei vielen anderen Säugern nicht nachgewiesen werden konnte (MEDDIS, 1977).

Die Restitution des Körpers, nicht aber unbedingt die des Gehirnes, hängt vor allem von der Nahrungsaufnahme ab. Da der Körper im Schlaf fastet, ist der Schlaf ein Stadium von verminderter Restitution des Körpers und eher von Gewebeabbau. Auch die im EEG auftretenden Veränderungen nach körperlicher Belastung sind kein Zeichen für eine gesteigerte Körperrestitution (HORNE, 1983). Schlaf und das Bedürfnis nach Ruhe und Erholung sind folglich nicht unvermeidlich miteinander verbunden (MEDDIS, 1977).

1.2.2. Energieerhaltung

Die „Theorie der Energieerhaltung“, wird aus zwei verschiedenen Perspektiven angegangen. Zum einen geht man davon aus, dass im Schlaf weniger Energie und Wasser benötigt wird, als im ruhigen Wachzustand. (MEDDIS, 1977) So ist der physiologische Prozess des Schlafes mit dem des Winterschlafes vergleichbar (WALKER & BERGER, 1980). Diese Theorie kann sich als alleinige Funktion des Schlafes aufgrund ihrer Ineffizienz allerdings kaum halten. Zum anderen geht man davon aus, dass Schlaf dazu da ist, Ruhepausen zu erzwingen und so den Energieaufwand tragbar zu halten. So könnte der Schlafdruck bei größeren Tieren aufgrund deren größerer Energiereserven geringer sein (ZEPELIN, 1989).

Auch laut CARTMILL (1996) ist die gesparte Energie so gering, dass diese nicht rechtfertigen kann, sich ein Drittel seines Lebens in diesem von der Welt abgeschnittenen Zustand zu befinden. Tiere würden sich nicht in diesen Zustand begeben, wenn sie nicht müssten. Wir sind also zum Schlafen gezwungen und Schlafentzug endet bei langer Dauer tödlich.

1.2.3. Lernen und Gedächtnisbildung

In den letzten Jahren konzentrierten sich viele Forschungsprojekte der Neurowissenschaften auf den Zusammenhang zwischen Schlaf und den verschiedenen Arten des Lernens und der Gedächtnisbildung. Dieser ist bereits auf molekularer und zellulärer Basis gesichert. Schlaf spielt offensichtlich eine wichtige Rolle beim Lernen und der Gedächtnisbildung. Der Wachzustand fördert dies hingegen nicht (WALKER, 2005). Alle Schlafstadien, außer Phase 1, spielen unabdingbare, wenngleich verschiedene, Rollen bei der Entstehung von Erinnerungen und bei Lernprozessen (STICKGOLD & WALKER, 2005). Der Mechanismus, der dahinter steckt, ist allerdings unklar (HELLER, 2013).

SMITH evaluierte bereits 1985 den Zusammenhang zwischen Schlafstadien und Lernen anhand eines Überblicks über die damals aktuelle Literatur. REM-Schlaf (paradoxe Schlaf) ist höchstwahrscheinlich am Lernprozess beteiligt. Die meisten von ihm überarbeiteten Studien zeigten eine Verlängerung der REM-Schlafphase in einem gewissen Zeitfenster nach einer Lerneinheit oder nach dem Aufhalten in sogenanntem „enriched environment“.

Dennoch gibt es unter manchen Forschern nach wie vor den Standpunkt, dass die Verknüpfung von Schlaf und Lernen nicht nachgewiesen ist, oder dass Schlaf sogar kontraproduktiv für den Lernprozess ist (CRICK & MITCHISON, 1983; SIEGEL, 2003). Auch neueste Erkenntnisse lassen keine essentielle Rolle bei der Gedächtnisbildung und keinen positiven Effekt auf das Erinnerungsvermögen erkennen (SIEGEL, 2013a).

1.2.4. Immobilisierung und Wachposten-Funktion

Nach Schlafentzug kann oft eine Kompensation in Form von einem anschließend längeren oder tieferen Schlaf beobachtet werden (MEDDIS, 1977; RECHTSCHAFFEN, 1998). Dieser sogenannte „Rebound-Effekt“ lässt sich laut LIMA et al. (2005) mit der „Immobilisierungstheorie“ von MEDDIS (1975) nicht vereinbaren. Sie spekulierten, dass große Pflanzenfresser ein geringeres Schlafbedürfnis entwickelt haben als kleine, weil sie gegenüber Angriffen durch Fressfeinde verwundbarer sind.

MEDDIS (1975) schlägt eine Theorie vor, nach der Schlaf der Funktion dient, Tiere unbeweglich verharren zu lassen, wenn Immobilität in diesem Moment die optimale Verhaltensweise ist. Schlaf hat somit eine schützende Rolle, da gerade Fluchttiere in Ruhe die Aufmerksamkeit ihrer Jäger nicht so sehr auf sich ziehen, wie in Bewegung. Sonst bringt der Schlaf keine spezifischen Vorteile mit sich und sollte nicht über den Status einer Nebensache gehoben werden. Dies können LIMA et al. (2005) nicht bestätigen, die davon ausgehen, dass ein ruhiges, aber waches Tier besser auf einen Angriff reagieren kann, als ein Schlafendes. Laut MEDDIS (1977) ist der Schlaf eine Überlebensstrategie, dessen wichtigste, wenn nicht einzige, Funktion die Einteilung des Verhaltens in aktive und inaktive Perioden ist, bei der die Tiere zudem vor anderen äußeren Einflüssen wie Hitze und Kälte Schutz suchen.

SNYDER (1966) hingegen behauptete in einem frühen Paper „Toward an evolutionary theory of dreaming“ vor, dass REM-Schlaf als eine Art „Wachposten“ dient. Die Tiere erwachen schnell aus diesem Stadium erhöhter neuronaler Aktivität, sowie aus dem den REM-Phasen vorausgehenden und folgenden kurzen leichten Wach-Schlafphasen, und können so schnell flüchten. 1978 wurde nachgewiesen, dass Säugetiere im REM-Schlaf deutlich besser auf den Wachzustand vorbereitet sind, als solche im SWS-Schlaf (TOLAAS, 1978). Allerdings kann diese Theorie, ebenso wie die der Immobilisierung, bis heute nicht als etabliert angesehen werden (LIMA et al., 2005).

1.2.5. Sonstige Funktionen

Laut CRICK & MITCHISON (1983) löscht der Schlaf Erinnerungen mittels eines „reversiblen Lernmechanismus“ aus. Diese „Ausradierungstheorie“ steht im Gegensatz zur allgemein anerkannten Funktion der Unterstützung des Lernprozesses und der Gedächtnisbildung und ist bisher nur wenig erforscht.

Neuere Forschungsprojekte vermuten zudem eine generelle Rolle des Schlafes bei der Neurogenese (SIEGEL, 2005). Auch diese Funktion ist jedoch noch nicht hinreichend untersucht und bedarf weiterer Ausführungen.

1.3. Entstehung und Erfassung des Schlafes

Seit der Liverpoolscher Arzt Richard Caton 1875 erstmals bei Säugetieren Gehirnströme von der Hirnrinde mithilfe eines Galvanometers ableitete, hat sich die Aufzeichnungstechnik von elektrischer Gehirnaktivität enorm entwickelt. Die Entdeckung des Elektroenzephalogramms (EEG) durch den deutschen Neurologen und Professor Hans Berger folgte knapp 50 Jahre später und liegt heute schon fast wieder 90 Jahre zurück. Er publizierte seine Entdeckungen aber erst 1929 unter dem Titel „Über das Elektroencephalogramm des Menschen“. Trotz andauernder intensiver Forschung auf diesem Gebiet sind die Entstehungsmechanismen des EEG bis heute nicht abschließend geklärt (NEUNDÖRFER, 2002).

1.3.1. Entstehungsmechanismen des EEG

Fest steht, dass die an der Kopfhaut abgeleiteten Potentialdifferenzen oder Spannungen im EEG an der Hirnrinde (Cortex) entstehen (HARRIS, 2005). Potentialdifferenzen von tiefer im Gehirn gelegenen Strukturen gelangen nicht bis an die Oberfläche. Die gemessenen Potentialdifferenzen entstehen durch die Synchronisation von Aktionspotentialen (Spikes) an Nerven- und Potentialschwankungen von Gliazellen, sowie von postsynaptischen Potentialen in verschiedenen Gehirnregionen (NEUNDÖRFER, 2002; ZSCHOCKE, 2002; WITTE et al.,

2006) (s. Abb. 2).

1.3.1.1. Aktionspotentiale

Jede Zellmembran besitzt ein Ruhemembranpotential mit einer Spannungsdifferenz von ca. -70 mV zwischen der Innen- und der Außenseite. Das Innere der Zelle ist negativ geladen, das Äußere positiv. Bei Reizeinwirkung kommt es zu einer Aktivierung der Zelle und zu einer temporären Permeabilitätserhöhung der Zellmembran. Positiv geladene Ionen fließen in das Innere der Zelle und das bestehende Membranpotential bricht zusammen. Diese Spannungsschwankung bezeichnet man als Aktionspotential. Aktionspotentiale von Ganglienzellen haben zwar sehr hohe Spannungsschwankungen, die davon ausgehenden Feldpotentiale sind allerdings wesentlich schwächer und die Dauer mit 0,5-2 msec im Vergleich zu den gemessenen EEG-Potentialen (20-300 msec) deutlich kürzer (NEUNDÖRFER, 2002; ZSCHOCKE, 2002; WITTE et al., 2006).

1.3.1.2. Postsynaptische Potentiale

Heute geht man davon aus, dass die ableitbaren Potentialschwankungen im EEG vor allem von postsynaptischen Potentialen herrühren. Einzelne Nervenzellen sind nicht direkt miteinander verbunden, sondern kommunizieren über die dazwischen liegenden Spalträume mithilfe von chemischen Botenstoffen. Je nachdem, wo der synaptische Kontakt zu der Zelle besteht, unterscheidet man zwischen axosomatischen (am Axon = am Zelleib) oder axodendritischen (am Dendrit = am längeren Zellfortsatz) Synapsen. Es gibt exzitatorisch (erregend) und inhibitorisch (hemmend) wirkende Synapsen mit verschiedenen Transmittern. Am häufigsten kommen hier Glutamat (meist erregend), GABA und Glycin (meist hemmend) und Acetylcholin vor. Kommt an einer Synapse ein Aktionspotential an, kommt es hier ebenfalls zu einer Änderung des Membranpotentials. Dies führt wiederum zu Potentialdifferenzen an der der Synapse nachgeschalteten Nervenzelle, es kommt zu einem sogenannten „postsynaptischen Potential“. Diese postsynaptischen

Potentiale dauern mit 5-80 msec deutlich länger als Aktionspotentiale und werden aktuell als Hauptausgangspunkt der Potentialfelder gesehen, die im EEG gemessen werden können (NEUNDÖRFER, 2002; ZSCHOCKE, 2002; WITTE et al., 2006).

1.3.1.3. Potentialschwankungen von Gliazellen

Sekundär zu den direkten Potentialgeneratoren gehen auch von Gliazellen, welche lange Zeit als elektrisch inaktive Elemente des Gehirns angesehen wurden, Potentialschwankungen aus, die an der Generierung des EEG teilhaben. Die Fortsätze von Nervenzellen sind über sogenannte „gap junctions“ miteinander verbunden, über die sich Membranpotentialschwankungen nahezu ungehindert ausbreiten können (NEUNDÖRFER, 2002; ZSCHOCKE, 2002; WITTE et al., 2006).

1.3.1.4. Kortikale Feldpotentiale

Die von einem Neuron ausgehende Potentialdifferenz verteilt sich über extrazelluläre Ionenverschiebungen weiträumig. Somit kann in Bezug auf nur eine einzige Nervenzelle ein ganzes Feld von Potentialschwankungen gemessen werden, dies nennt sich kortikales Feldpotential. Kortikale Feldpotentiale, die bis zur Ableitung an der Kopfoberfläche noch durch den Widerstand von zwischen Cortex und Kopfhaut gelegenen Strukturen wie Liquor, Hirnhäute und Schädelknochen beeinflusst werden, sind die Grundlage für die Messungen im EEG. Zudem kann es durch die elektrotonische Wirkung der Feldpotentiale auch zur Erregung umliegender, nicht direkt an der Signalübertragung beteiligter, Neuronen kommen. Diese nichtsynaptische Erregungsübertragung erfolgt, im Gegensatz zur normalen chemischen Synapsenübertragung mittels Neurotransmittern, rein elektrisch (NEUNDÖRFER, 2002; ZSCHOCKE, 2002; WITTE et al., 2006).

Das EEG wird in erster Linie durch rhythmische, unspezifische Änderungen der kortikalen Feldpotentiale generiert. Diese Potentiale kommen aus subkortikalen Kernstrukturen und führen zu einer Aktivierung des Cortex. Bei reduzierter Sinnesbelastung mit geschlossenen Augen

führt diese Spontanaktivität zu dem als Grundrhythmus des EEG im Ruhezustand charakterisierten α -Wellenmuster (s. Kapitel 1.4. Einteilung in Schlafstadien). Bei Sinnesreizen kommt es zu einer großen Zahl von exzitatorischen postsynaptischen Potentialen, welche in Summe zu einer ausgeprägten Negativität der Hirnoberfläche führen. Auf die verschiedenen EEG-Rhythmen wird im Folgenden noch vermehrt eingegangen (NEUNDÖRFER, 2002; ZSCHOCKE, 2002; WITTE et al., 2006).

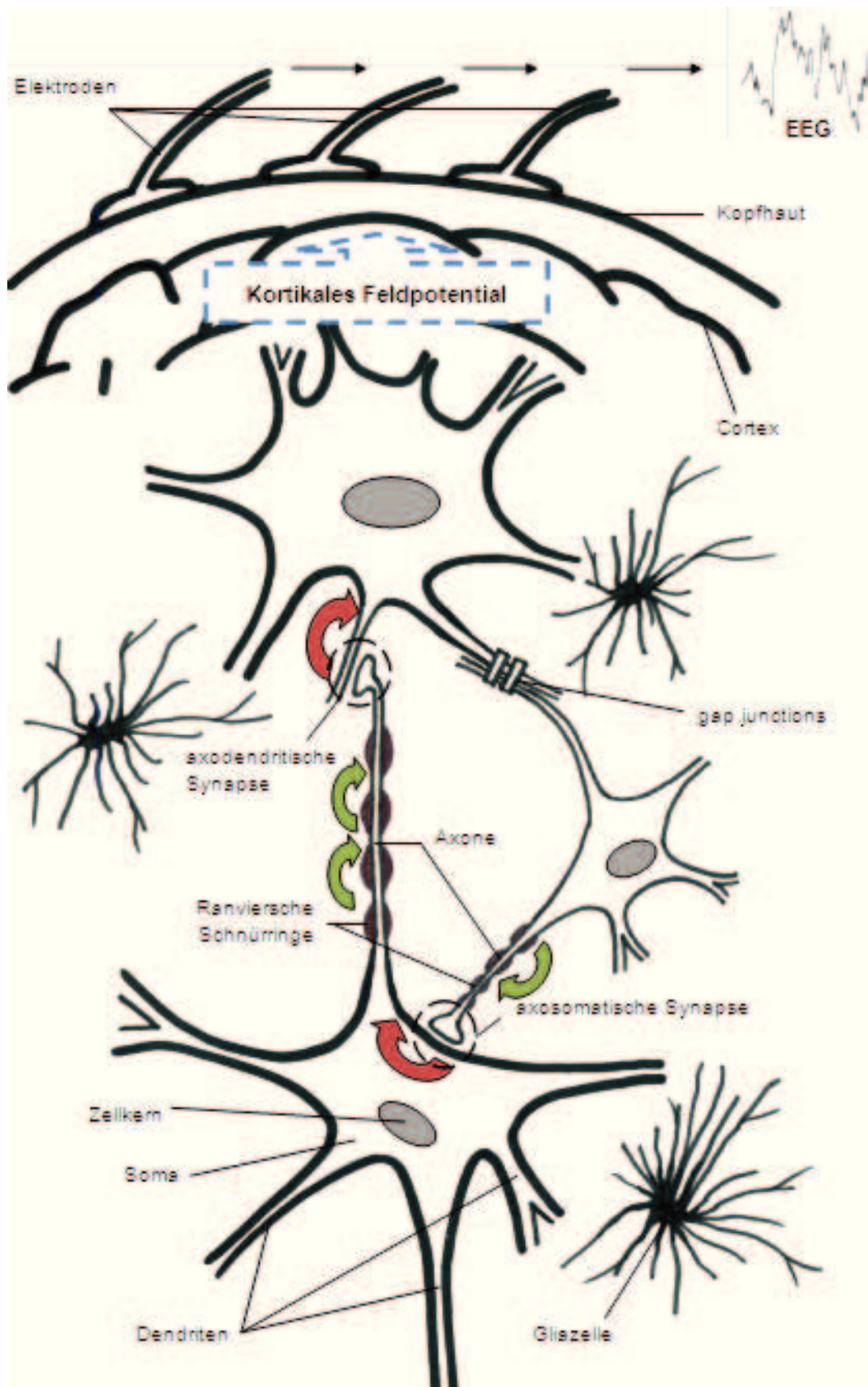


Abbildung 2: Entstehungsmechanismen des EEG
(grüne Pfeile=Aktionspotentiale,
rote Pfeile=postsynaptische Potentiale)

1.3.2. Schlaferfassung mittels Polysomnographie

Als Polysomnographie (PSG) wird die kontinuierliche und zeitgleiche Aufzeichnung des EEG (Elektroenzephalogramm), des EMG (Elektromyogramm) und des EOG (Elektrookulogramm), sowie eventuell weiterer Parameter wie Atem- und Herzfrequenz, bezeichnet. Auf Basis dessen erfolgt heutzutage die Abgrenzung von Schlaf und Wachsamkeit sowie die Bestimmung der Schlaftiefe und -qualität (O'CONNOR & YOUNGSTEDT, 1995; KEENAN et al., 2013b; SMOLLEY & RAMIREZ, 2013). Die drei Hauptparameter zur Beschreibung der EEG-Wellenformen sind Frequenz, Amplitude und Morphologie (HARRIS, 2005).

1.3.2.1. EEG-Ableitung und Registrierung

Beim Menschen ist durch die Lage des Gehirns schon nur rund ein Drittel des Cortex nahe der Schädeloberfläche gelegen und damit der EEG-Ableitung zugänglich. Zur Ableitung der Hirnstromwellen verwendet man Elektroden, die entweder nichtinvasiv auf der Haut angebracht werden (mittels Elektrodenhalterungsmaske, Klebeelektroden o.ä.) oder mehr oder weniger tief in die Haut und/oder Schädeloberfläche implantiert werden (subkutane Nadelelektroden unter die Haut, subdurale Elektroden o.ä.). Bei Ableitungen, die besonderer mechanischer Belastung ausgesetzt sind, wie zum Beispiel über Nacht, verwendet man üblicherweise Klebeelektroden, die nach dem Aufkleben auf die Haut durch ein Loch mit Kollodium, einer elektrolythaltigen Paste zur besseren Leitfähigkeit, befüllt werden. Die Elektrodenimpedanz, der Widerstand von Haut und Elektrode, ist der kritische Punkt bei der EEG-Ableitung und kann durch gute Reinigung der Haut sehr niedrig ($<5 \text{ KOhm}$) gehalten werden (NEUNDÖRFER, 2002; ZSCHOCKE, 2002; WITTE et al., 2006; SMOLLEY & RAMIREZ, 2013). Die beim Menschen international immer noch gängigste Elektrodenpositionierung ist das auf dem 4. Kongress der Internationalen Federation für Elektroenzephalographie und klinische Neurophysiologie festgelegte 10-20-System (sog. „ten-twenty-system“), auf welches hier allerdings nicht näher eingegangen wird (JASPER, 1958; ZSCHOCKE, 2002; KEENAN et al., 2013b).

In Deutschland ist die papierlose EEG-Registrierung (PL-EEG) mittlerweile Standard und hat sich gegenüber der Aufzeichnung auf Endlospapier durchgesetzt. Auch wenn diese immer noch in vielen Laboren im Einsatz ist, werden solche analog arbeitenden Geräte kaum mehr im Verkauf angeboten. Die digital erfassten EEG-Signale bieten durch die beliebige Vervielfältigung und beliebig häufige Bearbeitung, kostengünstige Speicherung und automatische elektronische Auswertung viele Vorteile (NEUNDÖRFER, 2002; ZSCHOCKE, 2002; WITTE et al., 2006).

1.3.2.2. EMG und EOG

Beim EOG werden durch Elektroden, die nahe dem äußeren Augenwinkel (ca. 1 cm Abstand) angebracht werden, Augenbewegungen aufgezeichnet, die auf der Potentialdifferenz zwischen Retina und Kornea beruhen (KEENAN et al., 2013b). Dies ist vor allem zur Erkennung des REM-Schlafes wichtig, welcher durch schnelle konjugierte Augenbewegungen gekennzeichnet ist. Beim Übergang vom Wachzustand in den Leichtschlaf lassen sich dagegen langsame rollende Augenbewegungen erkennen (SMOLLEY & RAMIREZ, 2013).

Das EMG zeichnet mittels Elektroden, meist am Unterkiefer angebracht, den vom Wachzustand über die einzelnen Schlafphasen hinweg abnehmenden Muskeltonus auf. Im REM-Schlaf findet sich, bedingt durch die für die exakte Bestimmung des Zustandes besonders wichtige Erschlaffung der Muskeln, ein minimalster Tonus (SMOLLEY & RAMIREZ, 2013).

1.4. Einteilung in Schlafstadien

Seit BERGER 1929 seine Ergebnisse über die Gehirnstromableitungen beim Menschen publizierte, ist das EEG die Basis zur Bestimmung von Schlafstadien und damit für die Unterteilung des Schlafes (CARSKADON & DEMENT, 1989).

Vor genau 60 Jahren konnten ASERINSKY & KLEITMAN (1953) zwei verschiedene Typen von Augenbewegungen während des Schlafes

feststellen. 1955 folgte die Unterteilung in REM-Schlaf (Rapid-Eye-Movement-Schlaf, mit beidseitig synchronen und schnellen, ca. 20 Minuten anhaltenden Augenbewegungen) und Non-REM-Schlaf (mit langsamen, rollenden Augenbewegungen). Diese Unterteilung des Schlafes hat sich seitdem konventionell durchgesetzt (ASERINSKY & KLEITMAN, 1955; STAUNTON, 2005). Der Non-REM Schlaf wird zudem wiederum in vier Stadien (Stadium 1–4) eingeteilt, die ansteigend grob die „Tiefe des Schlafes“ widerspiegeln (CARSKADON & DEMENT, 1989). DEMENT & KLEITMAN konnten 1957 zyklische Regelmäßigkeiten im EEG und EOG feststellen und stellten Kriterien zur Schlafstadienbestimmung auf. Auf Basis dieser Kriterien publizierten RECHTSCHAFFEN & KALES 1968 im „Manual of standardized terminology, techniques and scoring for sleep stages of human subjects“ eine bis heute geltende Einteilung der Schlafstadien (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Einteilung der Schlafstadien beim Menschen anhand des EEG (nach RECHTSCHAFFEN & KALES 1968)

Stadium	Auftreten	EEG-Charakteristik
W	Wachzustand	Individueller Grundrhythmus, meist α -Aktivität (8-13 Hz), auch β -Aktivität (>13-32 Hz), im EOG langsame bis schnelle Augenbewegungen, wechselndes meist hochgespanntes EMG
1	Einschlafen, im Schlaf nach Körperbewegungen, niedrige Weckschwelle	Flacher, unregelmäßiger Rhythmus mit vorwiegend θ -Aktivität (4-7 Hz), niedrigere Amplitude als Stadium W, bis zu 75 μ V, α -Aktivität < 50 %, keine K-Komplexe und/oder Schlafspindeln, im EOG langsame gegensätzlich rollende Augenbewegungen, wechselndes EMG mit abnehmender Amplitude
2	Leichter Schlaf	Relativ niedergespannter, gemischtfrequenter Rhythmus, Auftreten von K-Komplexen (Zweikomponenten-Wellenform mit negativer Welle gefolgt von positiver Welle, mind. 0,5 sec Dauer) und/oder Schlafspindeln (12-14 Hz für mind. 0,5 sec Dauer) in max. 3-minütigem Abstand ohne Arousal oder Muskeltonuserhöhung, keine δ -Aktivität, im EOG keine Augenbewegungen, wechselndes EMG mit abnehmender Amplitude
3	Mitteltiefer Schlaf	20-50 % δ -Wellen mit 0,5-4 Hz, hochamplitudiger, langsamwelliger Rhythmus mit Amplituden > 75 μ V, evtl. Schlafspindeln, im EOG keine Augenbewegungen, wechselndes EMG mit abnehmender Amplitude
4	Tiefschlaf	>50 % δ -Wellen aus Stadium 3, evtl. Schlafspindeln, im EOG keine Augenbewegungen, wechselndes EMG mit niedriger Amplitude
REM	Traumschlaf, hohe Weckschwelle, Gliedmaßen-Zuckungen	Relativ flache, unregelmäßige und gemischtfrequente Aktivität mit θ -Wellen (Grundaktivität oft ähnlich W oder 1, mit α -Rhythmus), oft sog. „Sägezahnwellen“, zudem schnelle konjugierte Augenbewegungen (REMs), niedrigste EMG-Amplitude
M	Bewegung	>50 % Bewegungsartefakte

Im Jahre 2007 veröffentlichte die American Academy of Sleep Medicine im "The AASM Standards Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications" eine überarbeitete Form dieser ubiquitär gültigen Stadien (s. Tabelle 2) (IBER et al., 2007).

Tabelle 2: Neuerungen des AASM im Vergleich mit der traditionellen Schlafstadieneinteilung (nach KEENAN et al. 2013)

	Klassifikation nach RECHTSCHAFFEN & KALES	Klassifikation nach der AASM
Epochenlänge	20 oder 30 Sekunden	30 Sekunden
Nomenklatur	Einteilung in die Stadien Wach, 1, 2, 3, 4, REM und M (Bewegung)	Einteilung in die Stadien Wach, N1, N2, N3 und REM
SWS-Schlaf	langsamwellige Aktivität im EEG \geq 50 % der Epoche (für Stadium 4) oder \geq 20 % der Epoche (für Stadium 3)	wie RECHTSCHAFFEN & KALES, nur das Stadium 3 und 4 zu N3 zusammengefasst sind
M (Bewegung)	EEG aufgrund Überlagerungen >50 % der Epoche nicht auswertbar, folgende Epoche ist Stadium 1-4 oder REM	nicht vorhanden

Als Neuerungen werden die Stadien 3 und 4 zum Stadium N3 zusammengefasst und die Klassifikation M als Bewegungsphase wurde eliminiert. Zudem wurde die Epochenlänge auf 30 Sekunden festgesetzt (IBER et al., 2007; KEENAN et al., 2013b). Diese in den USA mittlerweile etablierten Richtlinien wurden bisher nur wenig kritisiert. Auffallend ist, dass auf Basis der neuen Kriterien ein erhöhter Anteil an Stadium 1 und N3 (vormals Stadium 3 & 4) und dementsprechend weniger Stadium 2 dokumentiert wird (GRIGG-DAMBERGER, 2009, 2012). Ob sich das System der AASM weltweit als neuer Goldstandard für die EEG-Auswertung durchsetzen wird, bleibt abzuwarten.

1.4.1. Frequenzbereiche und Amplitude

Typischerweise rangieren die im normalen EEG abgeleiteten Frequenzen von 0,5-35 Hz und werden in die in Abbildung 3 dargestellten vier Frequenzbereiche (Bandbreiten) eingeteilt (HARRIS, 2005; KEENAN et al., 2013a). Die gemessenen Amplituden im EEG haben normalerweise eine Spannung von 25-250 μV .

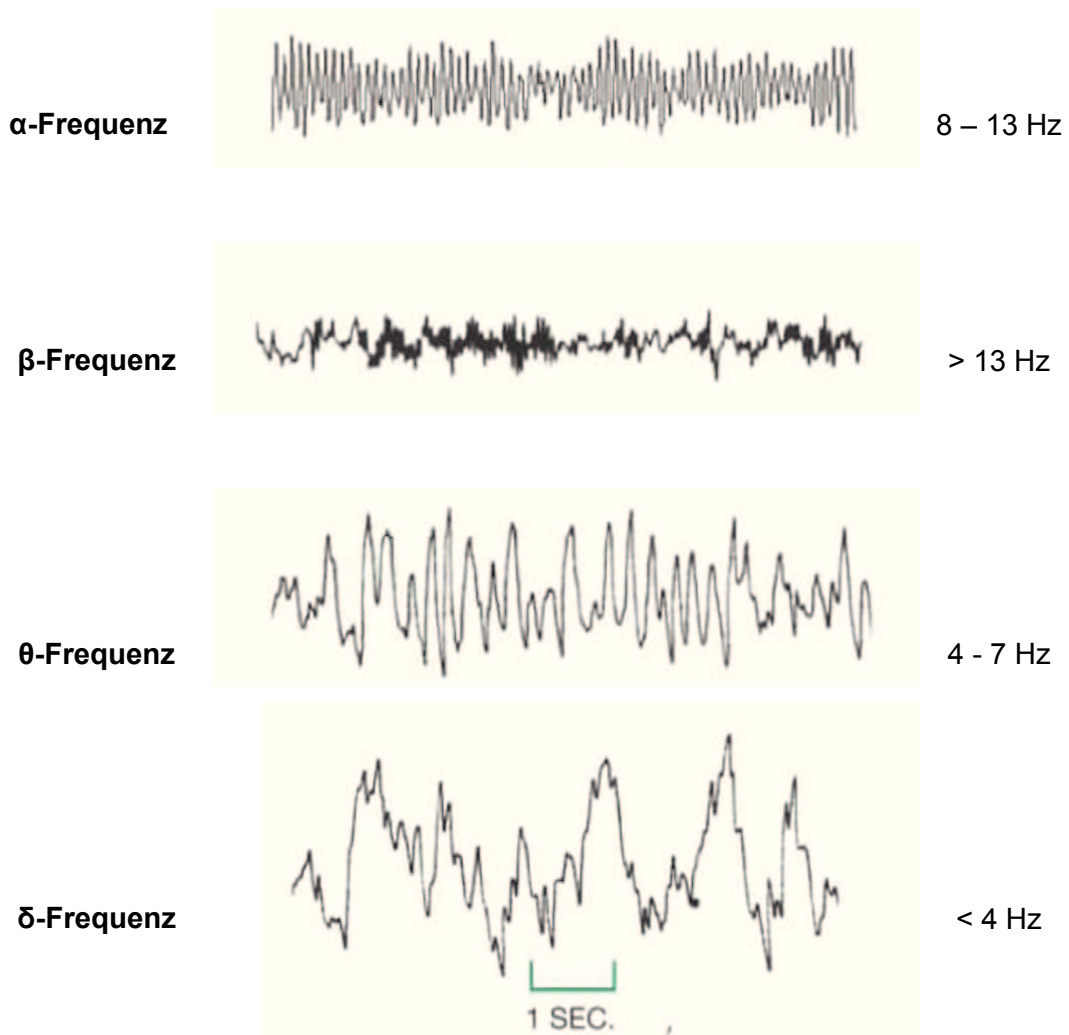


Abbildung 3: EEG-Frequenzen und deren Bandbreite (nach BUTKOV, 2010)

1.4.1.1. Grundrhythmus

Der α -Grundrhythmus (8-13 Hz) ist die mit Abstand häufigste Form des Grundrhythmus und tritt bei optimaler physischer und psychischer Entspannung, geschlossenen Augen und gleichzeitiger Aufrechterhaltung

der Vigilanz (Wachsamkeit, Bewusstseinsheit) auf. (BERGER, 1929; NEUNDÖRFER, 2002). Bei geöffneten Augen wird das EEG diffuser mit relativ niedergespannter gemischtfrequenter Aktivität und teilweise eingestreuten höherfrequenten β -Phasen. Während des Schlafes verändert sich der Rhythmus dann je nach Stadium (HARRIS, 2005)

1.4.1.2. Slow Waves

Die am unteren Ende des Frequenzspektrums befindlichen langsamen δ -Wellen (0,5-4 Hz) haben eine Amplitude von über 75 μ V und werden „slow-waves“ genannt (KEENAN et al., 2013b). Die Stadien 3 und 4 werden aufgrund der Anwesenheit dieser Wellen in der Regel als SWS-Schlaf (Slow-Wave-Sleep) zusammengefasst. Mittlerweile hat sich die langsamwellige Aktivität im EEG als Maßstab für die Schlaftiefe- und Intensität etabliert (TOBLER, 1995).

1.4.1.3. REM-Phase

Das relativ niedergespannte und gemischtfrequente Muster im EEG, das während der REM-Phase abgeleitet werden kann, kommt in dieser Erscheinung signifikant eigentlich sonst nur zu Anfang des Schlafes vor. Es ist dem der Phase 1 zum Verwechseln ähnlich (HARRIS, 2005; KEENAN et al., 2013a), wobei in Phase 1 allerdings nie schnelle Augenbewegungen vorkommen und die akustische Weckschwelle viel niedriger ist (ASERINSKY & KLEITMAN, 1955). Phasenweise treten gleichzeitig mit den REMs sogenannte „Sägezahnwellen“ auf, die nach ihrer scharfkantigen Morphologie bei einem 2-4 Hz-Rhythmus benannt sind oder auch kurze Strecken von langsamer α -Aktivität mit 1-1,5 Hz. Ausschlaggebend für die REM-Phase ist zudem die Abwesenheit eines Muskeltonus (HARRIS, 2005).

1.4.2. Hypnogramm des Menschen

Jedes Tier hat ein seiner Spezies eigenes, spezielles Hypnogramm (RUCKEBUSCH, 1975a). In diesem wird die Architektur bzw. das Muster

des Schlafes dargestellt. Es zeigt die Aufteilung des Schlafes in verschiedene Phasen und Stadien und deren Verteilung über die Zeit (HARRIS, 2005). Das typische Schlafmuster des Menschen ist monophasisch, das heißt der Schlaf findet in der Regel in einer zusammenhängenden, langen nächtlichen Schlafphase statt, wobei alle Schlafstadien mehrmals durchlaufen werden (s. Abb. 4).

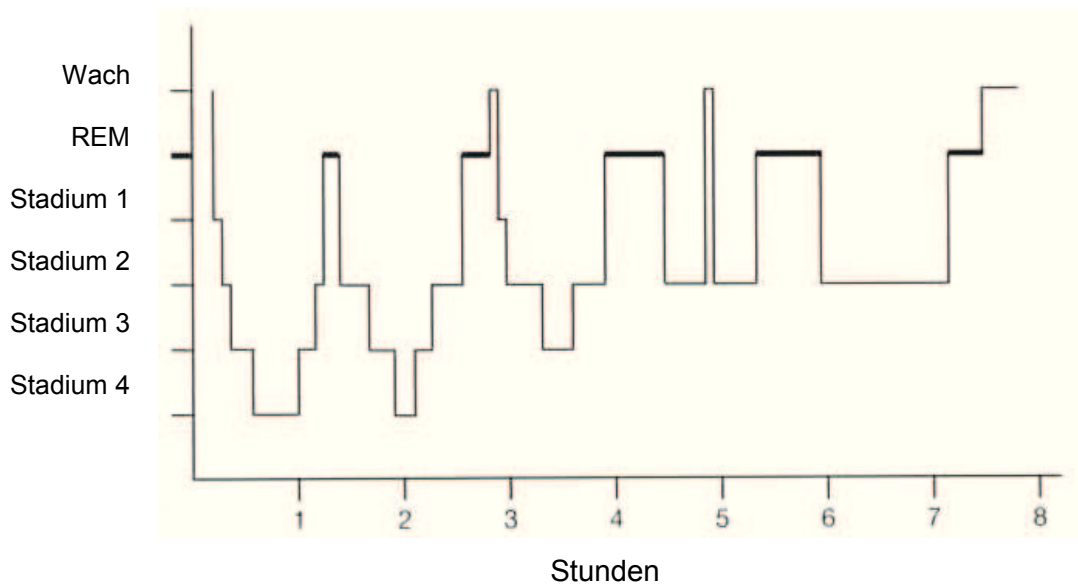


Abbildung 4: Idealisiertes Hypnogramm des jungen, gesunden Menschen (nach RAMA & ZACHARIAH 2013)

Der Mensch durchläuft pro Nacht 4-6 Zyklen aus REM- und Non-REM-Schlaf von ca. 90-110 Minuten. Bevor er in die REM-Phase übergeht, kehrt er von Stadium 4 kurz in Stadium 2 oder 3 zurück. Im Laufe der Zyklen nimmt die Länge des REM-Schlafes zu und die der Stadien 3 und 4 ab. Die Schlafzeit verteilt sich auf 75-80% Non-REM-Schlaf und 20-25% REM-Schlaf (TOBLER, 1995; RECHTSCHAFFEN & SIEGEL, 2000; HARRIS, 2005). Phase 1 umfasst 3-8%, Phase 2 45-55% und Phase 3 und 4 15-20% der Gesamtschlafdauer (RAMA & ZACHARIAH, 2013).

AKERS & DENBOW unterteilten 2008 den Non-REM-Schlaf von domestizierten Tieren analog dem des Menschen in 4 Non-REM-Stadien und orientieren sich dabei an der Einteilung beim Menschen. Allerdings halten Sie sich hier sehr allgemein und es wird nicht näher auf die verschiedenen Tierarten eingegangen (RECHTSCHAFFEN & KALES,

1968).

1.4.3. Nomenklatur

JOUVET wies bereits 1967 auf die zahlreichen, zum Teil verwirrenden und nur für einen Teil der existierenden Spezies gebrauchten Begriffe zur Charakterisierung der einzelnen Schlafstadien hin.

Der durch langsame Wellen im EEG charakterisierte SWS-Schlaf hat zum Beispiel die Synonyme Non-REM-Schlaf, ruhiger oder synchronisierter Schlaf. Es werden aber auch gegenläufige Begrifflichkeiten wie Tiefschlaf und leichter Schlaf verwendet. Der Terminus SWS-Schlaf wird beim Menschen eigentlich seit langem aber nur noch für die Stadien 3 und 4 des Non-REM-Schlafes benutzt (HORNE, 1988), bei den meisten Tieren hingegen oft für alle Stadien des Non-REM-Schlafes (TOBLER, 1995). Viele Autoren bezeichnen als Tiefschlaf allerdings nach Beobachtungen die intensivste Form des Ausruhens, bei der Pferde kaum Umwelteinflüsse wahrnehmen, und scheinen hier wohl auch den elektrophysiologischen Zustand des REM-Schlafes einzubeziehen (STEINHART, 1937; SCHÄFER, 1978; IHLE, 1984).

Die Schlafphase mit schneller kortikaler Aktivität und reduziertem Muskeltonus im Halsbereich wurde bisher unter anderem mit den Worten REM-Schlaf, aktiver Schlaf, paradoxer Schlaf („paradoxical sleep“), rhombencephalischer Schlaf, „fast-wave-sleep“ (FWS-Sleep) oder tiefer Schlaf bezeichnet (JOUVET, 1967; MEDDIS, 1977; PARMEGGIANI et al., 1985). Im Vergleich zum Non-REM-Schlaf, der in der neuronalen Aktivität im Vergleich zum Wachzustand sehr niedrig ist, ist das EEG während des REM-Schlafes fast nicht von dem im Wachzustand zu unterscheiden. Es zeigt ebenfalls niedergespannte Schwankungen, daher wird diese Phase auch paradoxer Schlaf („paradoxical sleep“) genannt (AKERS & DENBOW, 2008).

1.4.4. Systemische Eigenschaften

1.4.4.1. REM-Schlaf

Als Einige der systemischen Eigenschaften des REM-Schlafes sind eine unregelmäßige Herz- und Atemfrequenz, unregelmäßiger Blutdruck sowie erhöhter Gehirnmotabolismus, erhöhter cerebraler Blutfluss, sowie erhöhte Gehirntemperatur und erhöhter intrakranialer Druck zu nennen. Der Tonus des Parasympathikus ist niedrig und der des Sympathikus schwankend. Da die Atemmuskulatur atonisch ist, übernimmt das Diaphragma den kompletten Atmungsvorgang (RECHTSCHAFFEN, 1998; HARRIS, 2005).

1.4.4.2. Non-REM-Schlaf

Über die neuronale Kontrolle des Non-REM-Schlafes ist, im Gegensatz zu der des REM-Schlafes, sogar zu Beginn dieses Jahrtausends nur wenig bekannt (MCGINTY & SZYMUSIAK, 2000).

Im Non-Rem-Schlaf ist die neuronale Aktivität gering und der Parasympathikus überwiegt deutlich (RECHTSCHAFFEN, 1998; HARRIS, 2005; RAMA & ZACHARIAH, 2013). Alle systemischen Eigenschaften des Non-REM-Schlafes zeigen eine Aktivitätssenkung. So kommt es zu einer Senkung der Stoffwechselrate, der Herz- und Atemfrequenz, des Muskeltonus, des Blutdruckes und der Körpertemperatur und im Gegensatz zur REM-Phase auch der Gehirntemperatur. Es treten kaum Bewegungen auf, auch wenn diese generell möglich sind (AKERS & DENBOW, 2008). Manche Hormone werden vermindert ausgeschüttet (z.B. Cortisol), aber das Hormonsystem ist nicht komplett ausgeschaltet. So werden Wachstumshormone und Prolactin ebenso wie Aldosteron und Testosteron vermehrt sezerniert (RECHTSCHAFFEN, 1998). Die niedrigere metabolische Rate und Gehirntemperatur im Non-REM-Schlaf scheinen dem Körper eine Möglichkeit zu bieten, im Wachzustand durch freie Radikale entstandene Zellschäden zu beheben (SIEGEL, 2003).

1.4.5. Besondere Bedeutung des REM-Schlafes

1.4.5.1. Lernen und Erinnerung

Zur Funktion des REM-Schlafes gibt es viele, zum Teil gegensätzliche Theorien. Manche Autoren behaupten der REM-Schlaf fördere das Erinnerungsvermögen (SMITH, 1985) und nach Anderen löscht er Erinnerungen aus (CRICK & MITCHISON, 1983).

Das Bedürfnis nach REM-Schlaf nimmt mit dem Alter ab. Juvenile Tiere verbringen über 80% ihres Schlafes im REM-Stadium, wohingegen Adulte nur noch ca. 20% darin verbringen. Ein Grund hierfür könnte die Gewöhnung an das Leben im Allgemeinen und ein reduzierter Lerninput sein (CARTMILL, 1996).

1.4.5.2. Aufwach-Hypothese

KLEMM (2011) regte an, dass das Gehirn den REM-Schlaf nutzt, um sich selber aufzuwecken, nachdem es genug Schlaf hatte. Dieser „Aufwach-Hypothese“ liegt zu Grunde, dass das Gehirn beim Übergang vom Tiefschlaf (SWS) zum Wachzustand im REM-Schlaf auf diese Änderung des Bewusstseinszustandes vorbereitet wird. Dies wird unter anderem dadurch bestätigt, dass zu Beginn des Schlafes das tiefe Stadium 3 überwiegt und im Verlauf der Nacht dann die REM-Episoden bis zum Morgen hin zunehmen. Diese REM-Phasen können beim Menschen gegen Ende der Nacht hin bis zu 25 Minuten lang sein (SIEGEL, 2005). Hierzu passt, dass Tiere, die spontan erwachen, dies typischerweise aus dem REM-Schlaf tun (SNYDER, 1966). Auch Menschen sind aus dem REM-Schlaf leichter zu wecken als aus den Non-REM-Phasen (RECHTSCHAFFEN & SIEGEL, 2000).

1.4.5.3. Träumen

„Mankind has always been fascinated by dreams“ – das war schon CRICK & MITCHISON 1983 bewusst, als sie ihre Abhandlung über die Funktion des Traumschlafes schrieben. Dem REM-Schlaf, indem die anschaulichsten Träume auftreten, wurden im Laufe der Zeit viele

Funktionen zugrunde gelegt (SIEGEL, 2005) und man glaubte schon früh an die Verbindung von REM-Schlaf und Traumschlaf (ASERINSKY & KLEITMAN, 1955). Allerdings ist REM-Schlaf nicht gleich Träumen, da Träume auch im Non-REM-Schlaf auftreten (STAUNTON, 2005).

In einem frühen Versuch am Menschen wurde in 126 Nächten ausnahmslos jede Nacht REM-Phasen festgestellt. Alle Probanden bestätigten ein vorangegangenes Träumen nach Erwachen aus dem REM-Schlaf, welches beim Erwachen zu einem anderen Zeitpunkt nicht der Fall war (DEMENT & KLEITMAN, 1957). Dem widersprachen RECHTSCHAFFEN & SIEGEL (2000) mit der Aussage, dass in fast allen neueren Studien (z.B. in der von SUZUKI et al. 2004) das Träumen nicht nur im REM-Schlaf, sondern auch, oder sogar meistens, in anderen Stadien des Schlafes auftritt. Die längeren und bildhaften Träume finden aber wohl am verlässlichsten in der REM-Phase statt (RECHTSCHAFFEN & SIEGEL, 2000; SUZUKI et al., 2004).

2. Das Liegeverhalten des Pferdes

Das Liegeverhalten von domestizierten Tieren kann als ein Indikator für deren Wohlbefinden herangezogen werden (CHAPLIN & GRETGRIX, 2010). Ein Ablegen setzt in gewissem Maße voraus, dass sich das Tier sicher fühlt und ein halbwegs komfortabler Untergrund zur Verfügung steht (SAIKIN, 1911). Mehr Zeit im Liegen bedeutet eventuell auch mehr Zeit im Schlaf und mehr Schlaf könnte sich positiv auf stark gestresste Tiere, wie zum Beispiel Turnierpferde, auswirken (BELLING, 1990). Im Liegen sind die Tiere nämlich nur selten hellwach (SCHÄFER, 1978), sondern schlafen in der Regel.

2.1.1. Typische Bewegungsabläufe

2.1.1.1. Ablegen

Vor dem Ablegen suchen Pferde zuerst mehr oder weniger lange, mit teilweise bis auf den Boden abgesenktem Kopf, nach dem in diesem Moment offensichtlich komfortabelsten Untergrund bzw. der besten Stelle. Oft drehen sie sich dann auf der Stelle, wobei sie ihre Beine immer weiter unter der Körpermitte zusammenführen und die Gelenke dabei langsam vermehrt beugen. Zuerst knicken sie in den Vorderbeinen ein, treten mit den Hinterbeinen etwas vor und knicken dann, mit gestrecktem Hals und Kopf, auch mit den Hinterbeinen ein. Daraufhin lassen sie sich auf eine Seite fallen und kommen somit in der Brustlage zum Liegen (LITTLEJOHN & MUNRO, 1972; FRASER, 1978; SCHÄFER, 1978; SAMBRAUS, 1991; BOHNET, 2011).

2.1.1.2. Liegen

In der Bauch-Brust-Lage sind die Vorderbeine unter oder vor der Brust angezogen und die Hinterbeine zu einer Seite ausgestreckt oder ebenfalls an den Körper angezogen. Der Kopf kann frei getragen, mit dem Maul aufgestützt oder mehr oder weniger abgelegt werden. Manchmal wird er auch an den Körper in Richtung Schulter angezogen und das Pferd scheint „eingerollt“. In der Seitenlage legt das Pferd Kopf und Hals

komplett ab, mit mehr oder weniger gestreckten oder angewinkelten Extremitäten. (FRASER, 1978; SCHÄFER, 1978; SAMBRAUS, 1991; BOHNET, 2011). Die Sternallage wird häufiger eingenommen als die Seitenlage, möglicherweise um ein schnelles Aufstehen bei Gefahr zu ermöglichen (BOYD et al., 1988). Bis Pferde sich in einer neuen Umgebung hinlegen, kann es einige Tage dauern (RUCKEBUSCH, 1972, 1975b).

2.1.1.3. Aufstehen

Beim Aufstehen streckt das Pferd aus vorangegangener Bauch-Brust-Lage erst die Vorderbeine nach vorne aus und „setzt“ sich seitlich mit aufgerichtetem Vorderkörper auf die Hinterhand. Dann holt es Schwung und steht durch abruptes Strecken der Hinterbeine auf. Dieser Vorgang kostet viel Kraft. Oft kann anschließend ein Schütteln des Kopfes oder öfters auch des ganzen Körpers festgestellt werden, wobei die Pferde scheinbar hängengebliebenes Einstreu abschütteln und final zu Bewusstsein kommen (LITTLEJOHN & MUNRO, 1972; FRASER, 1978; SCHÄFER, 1978; SAMBRAUS, 1991; BOHNET, 2011).

2.1.2. Bevorzugter Zeitraum

Pferde ruhen und liegen über die vollen 24 Stunden des Tages verteilt. Die meiste Zeit allerdings nachweislich zwischen Mitternacht und frühem Morgen bzw. Sonnenaufgang. In diesem Zeitraum finden dementsprechend auch die Tiefschlafphasen statt. Vor Mitternacht liegen Pferde eher selten (DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b; SCHÄFER, 1978; IHLE, 1984; PEDERSEN et al., 2004; TILGER, 2005). Konkreter wird die Zeit von 0-4 Uhr (KEIPER & KEENAN, 1980; BOYD et al., 1988), bzw. 0-6 Uhr (BAUMGARTNER, 2012) zum Liegen bevorzugt. Der Großteil des Liegens findet in 5-6 Phasen nach Mitternacht statt, aber auch tagsüber können Liegephasen beobachtet werden (STEINHART, 1937; DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b). 1975 dokumentierte RUCKEBUSCH 3-4 Liegephasen, laut LITTLEJOHN & MUNRO (1972) liegen 95 % der Pferde mindestens zweimal am Tag. In Boxen liegen

Pferde mit im Schnitt $4,8 \pm 2,5$ Liegephasen/Tag deutlich häufiger als im Laufstall mit $2,6 \pm 1,2$ Liegephasen (FADER, 2002).

Während des Tages liegen Pferde vor allem am Vormittag und Mittag und sehr selten am Nachmittag und Abend (STEIDELE, 2011).

2.1.3. Beeinflussung des Liegeverhaltens

Die Gesamtliegedauer des Pferdes wird in der Literatur mit unterschiedlichen Zahlen angegeben, die aber mit 2 bis 3,5 Stunden dicht beieinander liegen. Die meisten Angaben hierzu beziehen sich auf einen Zeitraum von 24 Stunden und nicht nur auf die nächtliche Liegedauer. Pferde verbringen ca. 10 % des Tages, also 2,4 Stunden (144 Minuten), im Liegen (REES, 1986; GEISER, 2001). LITTLEJOHN & MUNRO (1972) geben 2,5 Stunden an, wovon sich die Tiere 120 Minuten in Brust- und selten mehr als 30 Minuten pro Tag in kompletter Seitenlage befinden. Nach den Beobachtungen von BAUMGARTNER (2012) liegen Pferde im Mittel knapp 55 min/Tag in Brustlage mit aufgestütztem Kopf, etwa 45 min/Tag in Brustlage mit getragenem Kopf und ca. 27,5 min/Tag in Seitenlage. RUCKEBUSCH (1972) dokumentierte eine Liegedauer von knapp 2 Stunden (118 Minuten), also 8,2 % des Tages. KILEY-WORTHINGTON (1990) gibt als mittlere Gesamtliegedauer für freilebende und aufgestallte Pferde unter verschiedenen Haltungssystemen 2,5-3,5 Stunden an. In der Regel verbringen Pferde aber selten mehr als 30 Minuten (CARSON & WOOD-GUSH, 1983), nach LITTLEJOHN & MUNRO (1972) 23 Minuten und nach SCHÄFER (1978) sogar nie mehr als 15 Minuten am Stück in kompletter Seitenlage und nach den Beobachtungen von BAUMGARTNER (2012) überhaupt generell selten mehr als 20 Minuten im Liegen. HOUP (2005) sieht die Liegedauer von etwa einer Stunde am Tag als relativ feststehend an. Fressen die Pferde für eine längere Zeit, nimmt die Ruhezeit im Stehen, nicht aber die im Liegen, ab. Bei kranken Tieren ist auffallend, dass sie sich gar nicht mehr, oder nur selten, hinlegen (REES, 1986).

Das Pferde auch im Stehen schlafen können, ist allgemein bekannt (BOYD et al., 1988). NICKEL et al. (2003) sieht es als eine alte

Erfahrungstatsache, dass das Pferd sich im Stehen zwar weitestgehend ausruhen kann, dabei aber von einem tiefen Schlaf nicht die Rede sein kann und sich die Tiere nicht wirklich von den Strapazen der Arbeit erholen können. Bei hartem Untergrund vermeiden sie das Ablegen und Schlafen vermehrt im Stehen, dann aber weniger tief. Für einen tiefen Schlaf ist das Ablegen essentiell (SAIKIN, 1911; STEINHART, 1937). Somit steht die Erholung des Pferdes in direkter Abhängigkeit von der Liegedauer (STEINHART, 1937; IHLE, 1984). Manche gehen sogar so weit zu behaupten, dass selbst in Bauchlage noch kein Tiefschlaf auftritt (DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b). Laut GEISER (2001) legen sich Pferde für den Tiefschlaf mit leicht ausgestreckten Beinen auf die Seite. Den größten Teil des Halbschlafes verbringen Pferde allerdings im Stehen (CARSON & WOOD-GUSH, 1983).

Dabei ist die tatsächliche Liegezeit allerdings nur bedingt ein Maß für das Ruhebedürfnis des Pferdes. Dies wird unter anderem durch den Einfluss des Haltungssystems deutlich. So liegen Tiere in Offenstallhaltung im Vergleich zu aufgestallten Tieren zum Beispiel deutlich weniger (FADERER & SAMBRAUS, 2004).

2.1.3.1. Durch die Haltungform

Die Haltungform ist laut IHLE (1984) die signifikanteste Einflussgröße auf die Liegedauer. So liegen Tiere in Boxenhaltung fast zwanzig Mal so viel wie solche in Weidehaltung. Die Paddock- und Laufstallhaltung liegt in etwa dazwischen.

Der Überblick in Tabelle 3 über die Literatur zum Liegeverhalten des Pferdes unter verschiedenen Haltungsbedingungen lässt einen signifikanten Einfluss der Haltungform auf den Schlaf vermuten.

Tabelle 3: Liegeverhalten in Abhängigkeit von der Haltungform

Haltungsform	Zeitraum	Mittlere Liegedauer (in min)			Quelle
		Brustlage	Seitenlage	ges.	
Freilebend					
Wilde Ponies auf Assateague Island	19-5 Uhr	-	-	159,6	(KEIPER & KEENAN, 1980)
Polnische Wildpferde	-	-	-	<120	(JAWOROWSKA, 1976)
Freilebende Camargue-Pferde	-	8,6	50,4	59	(DUNCAN, 1985)
Gruppenhaltung					
Laufstall		72,3 ± 25,6	14,1 ± 9,3	89,5 ± 27,8	(FADER, 2002)
mit mind. 40m²/Pferd	Okt.-Dez., 24 h	42-66,8	3,1-27,5	72	(ZEITLER-FEICHT & PRANTNER, 2000)
Przewalski-Pferde, große Sommerweide	-	59 ± 43,2	17,3 ± 7,2	-	(BOYD et al., 1988)
Offenlaufstall	-	74,2	15,2	89,5	(FADERER & SAMBRAUS, 2004)
Offenlaufstall unabhängig von Untergrund	24 h.	99,9	27,5	-	(BAUMGARTNER, 2012)
Offenlaufstall im Sandauslauf	24 h	-	-	26,7 ± 2,9	(BAUMGARTNER, 2012)
Offenlaufstall in Liegehallen mit Gummimatten	24 h	-	-	91,1 ± 2,9	(BAUMGARTNER, 2012)
Offenlaufstall unter Sandunterstand	24 h	-	-	43 ± 2,3	(BAUMGARTNER, 2012)
Stuten im Freigehege	24 h	-	-	51,8	(KOWNACKI et al., 1978)
Boxenhaltung					
Box	-	84,8 ± 49,4	20,4 ± 25,7	105,1 ± 67,3	(FADER, 2002)
Sportpferde	14-6 Uhr	-	-	126-150	(WERHAHN et al., 2012a)
große Boxen (>13m²)	22-7 Uhr	-	-	140	(RAABYMAGLE & LADEWIG, 2006)
kleine Boxen (<7m²)	22-7 Uhr	-	-	135	(RAABYMAGLE & LADEWIG, 2006)
Box (3x3m) mit Stroh	22-5:30 Uhr	-	57,5	166,8	(PEDERSEN et al., 2004)
Box (3x3m) mit Spänen	22-5:30 Uhr	-	19,3	133,8	(PEDERSEN et al., 2004)
Box mit Stroh	19-7 Uhr	148	45	193	(GREENING et al., 2013)
Box mit Spänen	19-7 Uhr	113	6	119	(GREENING et al., 2013)
Pottock Ponies in Stallhaltung (Heufütterung)	-	-	51,7-55	196,2-255,1	(DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b)
Pottock Ponies in Stallhaltung (Haferfütterung)	-	-	53,8-57,8	233,7-311,3	(DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b)
Warmblutpferde	nachts	-	0-10	35-40	(GÜNTNER, 2010)
Anbindehaltung					
Armeepferde	-	-	-	168	(STEINHART, 1937)
Pottock-Ponies im Stall	-	-	-	238 ± 71	(RUCKEBUSCH, 1975a)
Pottock-Ponies im Freien	-	-	-	142-174 ± 55-77	(RUCKEBUSCH, 1975a)

Die nächtlichen Verhaltensmuster von aufgestallten Pferden in

Einzelboxen wurden bisher nur sehr wenig untersucht, obwohl die Boxenhaltung heutzutage die in Deutschland für Sport-, sowie auch für die meisten Freizeitpferde, üblichste Haltungsform darstellt. In einer Studie von 2003 wurden ca. 85 % der Pferde so gehalten, wobei etwa zwei Drittel der Tiere täglich Zugang zu einem Paddock hatten (BREDENBRÖKER, 2003). In großen Boxen liegen Pferde länger in Brust-, aber vor allem länger in Seitenlage, als in Kleinen (RAABYMAGLE & LADEWIG, 2006). Pferde in Boxenhaltung legen sich mehr hin, haben also ein gesteigertes Ausruhedürfnis, wenn man ihnen Zugang zu freier, selbstbestimmter, Bewegung ermöglicht und bei Reitpferden kann eine durchschnittliche tägliche Gesamtliegedauer von 2,1-2,5 Stunden beobachtet werden (WERHAHN et al., 2012a).

Freilebende Pferde in der Wildnis verbringen weniger Zeit im Liegen (2-9 % der Nacht) (DUNCAN, 1980), als Stallpferde (5-15 %) (PEDERSEN et al., 2004). Auch schläft ein im Freien angebundenes Pferd deutlich weniger, wie wenn es im Stall angebunden ist (RUCKEBUSCH, 1975a). Laut IHLE (1984) wird das liegende Ausruhverhalten auf der Weide nur selten beobachtet und in Gruppenauslaufhaltung legen sich Tiere nur ab, wenn sie genügend Platz haben (ZEITLER-FEICHT & PRANTNER, 2000).

2.1.3.2. Durch Einstreu und Fütterung

Zum Effekt verschiedener Einstreutypen auf das Schlafverhalten des Pferdes gibt es bisher sehr verschiedene und widersprüchliche Angaben (GREENING et al., 2013). PEDERSEN et al. stellten 2004 fest, dass die Liegedauer durch die Art der Einstreu nicht signifikant verkürzt oder verlängert wird. Laut FADER (2002) ergibt sich im Laufstall zwar keine Veränderung in der Gesamtliegezeit, aber auf Sägemehl nimmt die Brustlagedauer zu und die Seitenlagedauer ab. In Boxen verkürzt sich die Gesamtliegezeit gegenüber Stroh etwas. In einer aktuelleren Studie wurden Stroh und Späne verglichen und die auf Stroh stehenden Pferde lagen in 24 Stunden deutlich länger (29,3 %) als die auf Spänen (12,2 %). Zudem gab es ausgeprägte Unterschiede in der Dauer der kompletten Seitenlage. Die Tiere auf Stroh lagen im Mittel 7,5 Mal so lange in Seitenlage, wie die auf Spänen (GREENING et al., 2013).

BAUMGARTNER (2012) beobachtete bei Tieren im Offenlaufstall das Liegeverhalten auf verschiedenen Untergründen. In Liegehallen mit Gummimatten und Spänen lagen die Pferde deutlich länger als auf einem Sandplatz oder einem mit Sand aufgeschütteten Unterstand. Auch zeigten die Tiere in den Liegehallen die längsten Liegephasen, wobei die mittlere Gesamtliegedauer auf Spänen gegenüber der von Gummimatten signifikant länger war.

Auch die Fütterung hat einen signifikanten Einfluss auf die Liegedauer. Wird anstatt einer reinen Heufütterung mit Kraftfutter zugefüttert, oder die Tiere fasten für einige Tage, steigt die Gesamtliegezeit (Brust- und Bauchlage) um 20 %. Die Dauer in Seitenlage bleibt allerdings unverändert (DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b).

2.1.3.3. Durch Rangordnung und Leistung

Der Einfluss der Rangordnung auf die Liegedauer von Pferden in einer Herde ist bemerkenswert. So liegen ranghohe Tiere deutlich mehr in Brust- und Seitenlage als Rangniedere (FADER, 2002; BAUMGARTNER, 2012). Dies geht sogar soweit, dass sich manche rangniederen Tiere in fünf Tagen gar nicht ablegen und deutlich erschöpft sind, weil Sie ihr Ruhebedürfnis nicht in ausreichendem Maße stillen können (FADERER & SAMBRAUS, 2004). Rangniedere Tiere können so enorme Schlafdefizite entwickeln. Ranghöhere Tiere liegen sogar doppelt bis dreimal so viel wie Rangniedere (ZEITLER-FEICHT & PRANTNER, 2000; BAUMGARTNER, 2012). Diesen Autoren widersprechen allerdings die Beobachtungen von IHLE (1984), nach denen rangniedere Tiere länger liegen, als Ranghohe.

2.1.3.4. Durch Alter, Geschlecht und Temperatur

IHLE (1984) sieht das Dösen im Stehen als altersabhängige Verhaltensweise an. Ältere Pferde dösen vermehrt im Stehen und ruhen sich weniger im Liegen aus. Diese Beobachtungen gehen einher mit denen von FADER (2002), die durchweg eine Abnahme der Liegedauer mit zunehmendem Alter feststellte. Unter Umständen legen sich ältere Tiere kaum oder sogar gar nicht mehr hin und schlafen immer im Stehen

(SAMBRAUS, 1991; NICKEL et al., 2003). Jüngere Pferde sind leichter zu ermüden und liegen nach Belastung mehr (STEINHART, 1937) und generell deutlich länger als Ältere (JAWOROWSKA, 1976). Fohlen nehmen eine Sonderstellung ein. Sie dösen kaum im Stehen und liegen bis zum 3. Lebensmonat 80-90 % der Ruhezeit in Seitenlage. Ab dem 4. Lebensmonat dösen und schlafen sie dann auch im Stehen (IHLE, 1984; SAMBRAUS, 1991; BOHNET, 2011).

Zum Einfluss des Geschlechtes auf den equinen Schlaf existieren kaum Angaben. Hochleistungspferde und Hengste liegen mehr als Jungpferde bzw. Wallache und Stuten (IHLE, 1984). Mutterstuten ruhen nur sehr wenig im Liegen (IHLE, 1984) und generell liegen Stuten signifikant weniger in Brustlage als Wallache (FADER, 2002).

Bei hohen Temperaturen liegen Pferde deutlich seltener als bei Niedrigeren (WERHAHN et al., 2012a). Dem widerspricht BAUMGARTNER (2012), die behauptet, dass das Liegen in der kalten Jahreszeit deutlich seltener ist, als in der Warmen. Mit Anstieg der Tagestemperatur erhöht sich auch die Liegedauer. Auch STEIDELE (2011) beobachtete bei einer semiwild-lebenden Przewalski-Herde das Liegen fast nur im Sommer und Frühjahr, kaum im Herbst und im kalten Winter gar nicht.

3. Das Ruhe- und Schlafverhalten des Pferdes

3.1. Grundlagen

3.1.1. Geschichtlicher Hintergrund

Die erste Dokumentation von Beobachtungen und Überlegungen zum Schlaf des Pferdes stammt aus dem Jahre 1911. SAIKIN untersuchte damals in seiner Arbeit mit dem Titel „Schlaf und Erholung des Pferdes“ Militärpferde der russischen Armee und verwendete dabei als Erster die Bezeichnung „polyphasisch“ für das Schlafmuster des Pferdes. Im Rahmen einer Dissertationsschrift des deutschen Doktoranden Peter Steinhart an der Ludwig-Maximilians-Universität München wurde 1937 weiterführend auf Erholung und Schlaf des Pferdes eingegangen. Der Einsatz eines elektrodiagnostischen Mittels, der Electrocorticographie (ECoG = intrakraniales Elektroenzephalogramm = iEEG), wurde erstmals im Jahre 1970 beim Pferd dokumentiert. Damals wurden auch bereits die Schlaf-Wachzustände genauer charakterisiert (RUCKEBUSCH et al., 1970). Zum Schlafverhalten des Pferdes gibt es auch heute noch, trotz einer schon seit über 100 Jahren andauernden Forschung, nur wenige Studien (RAABYMAGLE & LADEWIG, 2006). IHLE (1984) sieht es als feststehend an, dass es aufgrund der heute teilweise sehr intensiven Haltung der Tiere, im Vergleich zu wildlebenden Tieren wesentliche Unterschiede in deren Ruhe- und Schlafverhalten gibt.

3.1.2. Spanssägenkonstruktion

Das Beute- und Fluchttier Pferd ist mit einer speziellen Struktur in den Muskeln und Sehnen der Beine ausgestattet, die ein Schlafen im Stehen und damit auch ein schnelles Flüchten ermöglicht (GILL, 1991). Dieser passive Stehapparat wird „Spanssägenkonstruktion“ genannt und ermöglicht dem Pferd ein ermüdungsfreies Stehen ohne, oder mit nur geringem Energieaufwand. Die Tiere belasten nur ein Hinterbein voll und ruhen mit dem Anderen auf der Hufspitze. Diese Körperhaltung wird auch „Schildern“ genannt (s. Kapitel Einteilung nach visuellen Gesichtspunkten) (SAMBRAUS, 1991; SCHÄFER, 1991; NICKEL et al., 2003). Manche sehen nicht etwa das Liegen, sondern das Stehen beim Pferd als die

Position mit minimalstem Energiebedarf an (WINCHESTER, 1943).

Nach SCHUURMAN et al. (2003) ist eine komplett passive Stabilisation der Patella allerdings weder in vivo noch in vitro nachzuweisen und dadurch die Annahme des Stehens nur mittels eines passiven Stehapparates unhaltbar (SCHUURMAN et al., 2003).

Eine klare Aussage, ob passives Stehen nun möglich ist, oder nicht, lässt sich auf Basis der verfügbaren Literatur nicht hundertprozentig treffen. Allerdings ist die Spannsägenkonstruktion in der Mehrzahl der Anatomielehrbücher beschrieben und allgemein anerkannt (NICKEL et al., 2003; KÖNIG et al., 2009).

3.1.3. Einteilung nach visuellen Gesichtspunkten

Das Ruheverhalten des Pferdes kann in das Ruhen im Stehen und das Ruhen im Liegen unterteilt werden (HOUP, 2005). Zumeist werden die drei Phasen Dösen (Ruhen im Stehen bzw. oberflächlicher Stehschlaf), Schlummern (Liegen in Bauchlage) und Tiefschlaf (Liegen in Seitenlage) unterschieden (SCHÄFER, 1974; IHLE, 1984). Andere unterscheiden die Stadien Dösen, Leichtschlaf und Tiefschlaf (BOGNER & GRAUVOGL, 1984) und im „Practical Field Guide To Equine Behavior“ wird das Schlaf- und Ruheverhalten in Ruhen im Stehen, Schlafen im Stehen und Ruhen oder Schlafen im Liegen, unterteilt (MCDONNEL, 2003).

Bei rein visueller Beobachtung kann selbstverständlich keine verlässliche Aussage zum tatsächlichen elektrophysiologischen Zustand des Gehirns gemacht werden. Daher muss mit Begrifflichkeiten wie Dösen, Tiefschlaf und Schläfrigkeit sehr vorsichtig umgegangen werden. Eine sichere Abgrenzung von Schlafen und Ruhen ist nach visuellen Gesichtspunkten nicht möglich (HASSENBERG, 1971; WÖHR & ERHARD, 2006). Gerade im Stehen ist eine Klassifizierung von Wach- und Schlafzustand schwierig, wobei die Kopf-Halshaltung im Schlaf in der Regel tiefer ist als im entspannten Wachzustand (JAWOROWSKA, 1976; MCDONNEL, 2003).

3.1.3.1. Dösen

Der Zustand der Schläfrigkeit („drowsiness“) ist durch ein für gewöhnlich immobiles, für äußere Einflüsse relativ unempfindliches, „dösendes“ bzw. schläfriges Tier mit zumindest teilweise geöffneten Augen gekennzeichnet (MEDDIS, 1983). MC DONNEL (2003) ordnet diesen Zustand dem Ruhen im Stehen zu und sieht ihn als Übergangszustand zwischen Wachsamkeit und Schlaf. Nutztiere, die gut an ihre Umwelt gewöhnt sind, verbringen einen bemerkenswerten Teil ihrer Wachperiode dösend, wobei sie dabei laut RUCKEBUSCH (1972) weder schlafen, noch aktiv nach Nahrung suchen oder diese zu sich nehmen.

Beim Dösen (s. Abb. 5) stehen die Pferde weitestgehend entspannt auf beiden Vorder- und einem Hinterbein, die zweite Hintergliedmaße wird auf der Hufspitze aufgesetzt entlastet, und der Kopf wird auf Widerristhöhe getragen. Die Augen sind teilweise oder ganz geschlossen und die Unterlippe kann herabhängen (SCHÄFER, 1974; SAMBRAUS, 1991; WILLIAMS et al., 2008).

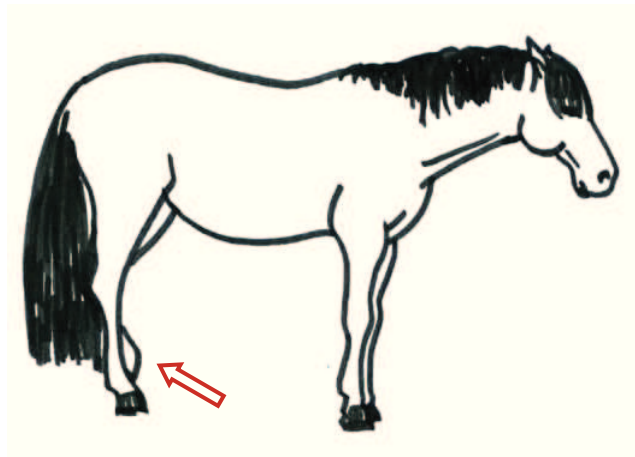


Abbildung 5: Dösen im Stehen
(Pfeil: geschilderte Hintergliedmaße)

Dieser Zustand des „Schilderns“ wird von der überwiegenden Anzahl der Forscher nicht als eine Schlaf-, sondern als ein Wachzustand bewertet. RUCKEBUSCH (1972) unterteilt den Wachzustand noch einmal in die zwei Zustände Schläfrigkeit und alarmbereiter Wachzustand („alert wakefulness“). Dennoch ist es laut LIMA et al. (2005) nach wie vor

umstritten, ob es sich nicht doch um eine Form von „aufmerksamem Schlaf“ handelt.

3.1.3.2. Schlummern

Das Schlummern findet im Liegen in Kauerstellung statt, wobei sich das Pferd in Brust-Bauchlage mit nahe an den Körper herangezogenen Gliedmaßen und teilweise abgelegtem Kopf (s. Kapitel Liegen) in einem tieferen Schlaf als im Dösen befindet (s. Abb. 6) (SCHÄFER, 1978).

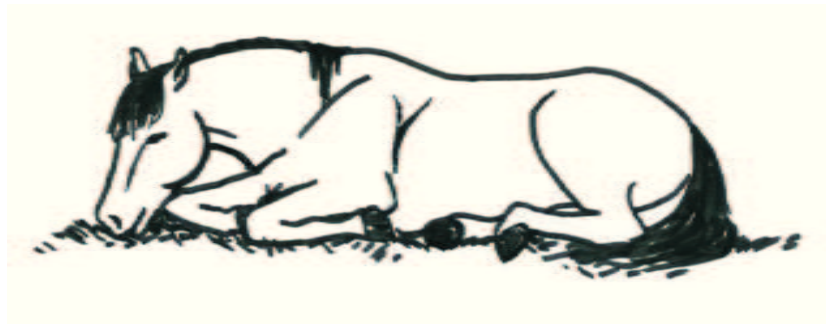


Abbildung 6: Schlummern in Brustlage

3.1.3.3. Tiefschlaf

Im Tiefschlaf liegen Pferde flach ausgetreckt auf dem Boden und nehmen keine Sinneseindrücke mehr wahr. Oft stöhnen sie laut und träumen dabei (s. Abb. 7) (SCHÄFER, 1974, 1978).



Abbildung 7: Tiefschlaf im Liegen

3.1.3.4. Dehnungen und Streckungen

Nach dem Aufwachen dehnen Pferde oft deutlich einzelne Körperteile.

Diese sogenannten „pandiculations“ sind Teil des equinen Komfortverhaltens, die vermutlich zur Erhöhung von Muskeltonus und Durchblutung dienen. Die Hinterbeine werden nach seitlich-hinten gestreckt und zur Dehnung der Vorderbeine lehnt sich das Pferd deutlich nach hinten und verlagert sein Gewicht auf den Ballenbereich der Vorderbeine. Auch ein Aufwölben des Halses, das mit dem Maul tief unter der Brust beginnt und dann langsam und rigide in eine Aufrichtung übergeht, wird beobachtet, sowie ein Wegdrücken des Rückens (REES, 1986; MCDONNEL, 2003). Oft werden solche Streckungen auch bei plötzlichem Erschrecken aus dem Dösen beobachtet. Das beim Schildern angewinkelte Hinterbein wird, wie in Vorbereitung zum Austreten, unter dem Körper angezogen und dann aber nach hinten weggestreckt (WILLIAMS et al., 2008).

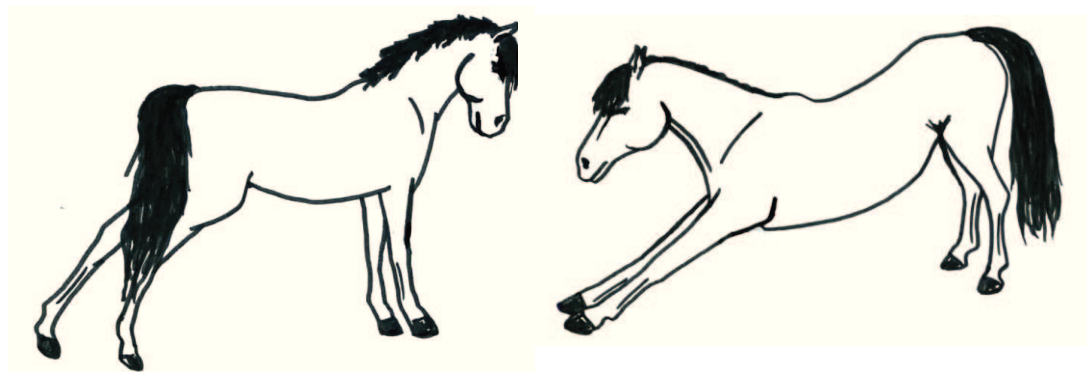


Abbildung 8: Beispiele für Dehnung und Streckung

3.1.4. Bevorzugter Zeitraum

Nachts ist der Zeitraum, in dem Pferde gegenüber ungewohnten Einflüssen am sensibelsten sind (GILL, 1991). Dies bestätigten BERGER et al. 1999, der beobachtete, dass in einer Herde die Tiere nachts näher beieinander stehen und reaktionsfähiger auf Umwelteinflüsse sind, als tagsüber. Der Haupteinflussfaktor auf das Ruheverhalten ist die Tageszeit. Ein Teil der Ruheperiode findet tagsüber statt, wenn es hell ist (FRASER, 1978) und wird bei Stallpferden durch den exogenen Zeitgeber Fütterung entscheidend beeinflusst (IHLE, 1984). Pferde ruhen zwar tagsüber auch, schlafen aber nur nachts (RUCKEBUSCH, 1972). Sie verteilen ihren

täglichen Schlaf auf mehrere kürzere Abschnitte von 2 bis 15 Minuten Länge (DALLAIRE, 1986; MORRIS, 1998; PICCIONE et al., 2008). Dies liegt in der evolutionsbiologischen Geschichte des Pferdes als Beute- und Fluchttiere begründet. Sie können sich lange Schlafphasen, in denen sie Angreifern schutzlos ausgesetzt sind, nicht leisten. So ruhen sie häufig, ohne dabei vollends einzuschlafen (MORRIS, 1998). Manche Schlafstadien sind für das Pferd zudem „sicherer“ als andere (LIMA et al., 2005). Damit ist das Schlafverhalten des Pferdes dem des Menschen nur in Teilen ähnlich. Was Schlaf und Wachzustand betrifft, ähneln sie sich zwar (BELL, 1972), allerdings schlafen Tiere nicht wie Menschen in einem einzelnen durchgehenden Block (O'CONNOR & YOUNGSTEDT, 1995).

SAMBRAUS stellte zwei zum Ruhen bevorzugte Tagesabschnitte dar. Am späten Vormittag bis in den späten Nachmittag und von Mitternacht bis in die frühen Morgenstunden (SAMBRAUS, 1991). Nach SCHÄFER (1974 und 1991) ruhen Pferde bevorzugt zwischen Mitternacht und Morgengrauen, genauer zwischen 1 und 5 Uhr (SAIKIN, 1911). RUCKEBUSCH (1975) beobachtete 3-5 Schlafphasen ab 22 Uhr, die meist mit den Liegeperioden korrelierten und in Zusammenarbeit mit DALLAIRE (1974) wies er Schlafepochen vor allem zwischen 21 und 23, sowie 2 und 4 Uhr nach (DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974a). Wilde Pferde schlafen 40 % der Nachtstunden, mit zunehmender Intensität von 19-5 Uhr zum Morgen hin (KEIPER & KEENAN, 1980).

In den warmen Sommermonaten ruhen Pferde mehr als in der kalten Jahreszeit (SCHÄFER, 1974; SAMBRAUS, 1991). Dies dokumentierte auch IHLE (1984) mit einer deutlich erhöhten Ruhe- und Dösdauer in den wärmeren Monaten Februar bis September, Ab einer Temperatur von ca. 21°C (Dösen) und 23°C (Ruhe) verbringen die Tiere mehr Zeit in den jeweiligen Stadien. Allerdings verringert starke Hitze in Kombination mit einer hohen Fliegenbelastung die Mittagsruhezeit (SCHÄFER, 1974).

3.1.5. Beeinflussung des Ruhe- und Schlafverhaltens

Obwohl Pferde mehrere Tage wach bleiben können, ohne sich hinzulegen oder einzuschlafen, ruhen und schlafen sie typischerweise mehrmals am

Tag sowohl im Stehen, als auch im Liegen (ZEPELIN, 1989; MCDONNEL, 2003). Die durchschnittliche Schlafdauer des Pferdes wurde bisher meist nur auf Grundlage von visuellen Beobachtungen bestimmt. Korrekterweise handelt es sich hierbei aber eigentlich eher um die Ruhedauer der Tiere, welche sowohl den entspannten Wachzustand, Dösen und REM-Schlaf beinhalten kann, als um die tatsächliche Schlafdauer (HASSENBERG, 1971; WÖHR & ERHARD, 2006, 2009). Auf die tatsächlichen, durch elektrophysiologische Messungen bestätigte, Schlafzeiten wird später noch näher eingegangen (s. Kapitel 4. Beurteilung des Pferdeschlafes mittels EEG).

Die Gesamtruhedauer des Pferdes wird in der Literatur unabhängig von der Haltungsform mit unterschiedlichen Zahlen angegeben, bewegt sich aber grob zwischen 5 und 9 Stunden. Nach FRASER (1978) ruhen Pferde insgesamt 6-7 Stunden am Tag, wobei hier keine weiteren Angaben gemacht werden, ob die Tiere nun wirklich schlafen. Nach IHLE (1984) ruhen Pferde täglich im Schnitt 5,9 Stunden, also 24,6 % des Tages, wovon sie 3,8 Stunden stehend Dösen und 0,5 Stunden liegend im Tiefschlaf verbringen. SCHÄFER (1974 und 1991) gibt die Gesamtruhezeit erwachsener Pferde mit 7-9 Stunden an, wobei nur 2-3 Stunden davon im Tiefschlaf verbracht werden. Laut ZEITLER-FEICHT 2001 ruhen erwachsene Pferde etwa 5-9 Stunden, laut REES (1986) 7 Stunden.

3.1.5.1. Durch die Haltungsform

Betrachtet man die unter verschiedenen Haltungsformen dokumentierten Ruhe- und Schlafdauern der Pferde, wird der entscheidende Einfluss dieses Managementfaktors deutlich. Je intensiver die Haltungsform, desto mehr unterscheiden sich die Verhaltensweisen von denen freilebender Tiere. Hier beeinflussen bzw. „stören“ exogene Zeitgeber wie Stallarbeiten, Geräusche und die Nutzung als Reit- oder Zuchtpferd den natürlichen Tagesablauf (IHLE, 1984). Pferde haben ein sehr gutes Zeitempfinden und richten ihre Schlafzeiten, und somit auch ihre Aufmerksamkeit gegenüber äußeren Reizen, enorm nach exogenen Zeitgebern (STEINHART, 1937).

Man findet teils widersprüchliche Angaben zum Ruhen und Schlafen unter verschiedenen Haltungsbedingungen. Laut IHLE (1984) ruhen Pferde in Boxenhaltung signifikant mehr als solche in Weidehaltung. PICCIONE et al. (2008) stellen bei der heute üblichen Sportpferdehaltung in Einzelboxen dagegen eine wesentlich kürzere Schlafdauer als bei Weidetieren fest.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über das Ruhe des Pferdes unter verschiedenen Haltungsbedingungen.

Tabelle 4: Ruheverhalten in Abhängigkeit von der Haltungsform

Haltungsform	Mittlere Gesamtruhezeit in 24 Stunden (in h)	Quelle
Freilebend		
Polnische Wildpferde	0,5-2	(JAWOROWSKA, 1976)
Natürlich gehaltene Pferde	7-9	(SCHÄFER, 1991)
Weidehaltung		
Pferde auf der Weide mit Zufütterung	ca. 8	(SAMBRAUS, 1991)
Boxenhaltung		
Boxenhaltung	bis zu 10	(SAMBRAUS, 1991)
Pferde ohne Weidegang	2,5	(PICCIONE et al., 2008)
Pottock Ponies in Stallhaltung (Haferfütterung)	ca. 5	(DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b)
Pottock Ponies in Stallhaltung (Heufütterung)	4,2	(DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b)
Boxenhaltung (6-8 h Beobachtungsdauer)	ca. 7,2	(IHLE, 1984)
Anbindehaltung		
Armeepferde	3,3	(STEINHART, 1937)

Bei der heute üblichsten Form der Boxenhaltung fällt auf, dass, die Tiere bestimmte Ecken der Boxen zum Dösen vorziehen (WILLIAMS et al., 2008). Dabei hat die Größe der zugänglichen Fläche einen deutlichen Einfluss auf die Dauer des Dösens. In Laufstallhaltung dösen Tiere auch deutlich länger, wenn sie mehr Platz haben (FADER, 2002).

3.1.5.2. Durch Einstreu und Fütterung

SAMBRAUS (1991) sieht die Liegedauer in Abhängigkeit vom Futterangebot. Bei rauen Verhältnissen müssen die Tiere viel Zeit mit der Futtersuche und -Aufnahme verbringen und es bleibt oft nur wenig Zeit zum Liegen. Bei Zufütterung auf der Weide ruhen die Tiere etwa 8, in der Box bis zu 10 Stunden. IHLE (1984) sieht die Fütterungszeiten sogar als den exogenen Zeitgeber mit dem größten Einfluss auf das Ruheverhalten an.

Untersuchungen zur Abhängigkeit des Schlafes von der Fütterung führten DALLAIRE & RUCKEBUSCH bereits 1974 aus. Wurde mit Hafer supplementiert oder die Tiere fasteten für einige Tage, erhöhten sich die Gesamtschlaf- und Liegezeit signifikant um 20 %. Die Dauer in Seitenlage blieb allerdings unverändert. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Tiere zur Kraftfutteraufnahme wesentlich weniger Zeit benötigen als bei einer ad libitum Heufütterung. Auch nach einer aktuellen Studie schlafen Tiere bevorzugt direkt nach der Nahrungsaufnahme (postprandiale Müdigkeit), vor allem wenn sie hochenergetisches Futter fressen (BAROT & BAROT, 2013). Freilebende Tiere schliefen im Frühjahr mehr, wenn ihre Nahrung einen hohen Proteinanteil enthielt (DUNCAN, 1985).

3.1.5.3. Durch Alter, Geschlecht, Temperatur, Rangordnung und Leistung

Fohlen schlafen sehr lange und zu jeder Tages- und Nachtzeit. Mit zunehmendem Alter nimmt die Schlafdauer deutlich ab, wobei sie bei Dreijährigen immer noch merklich länger ist, als bei ausgewachsenen Tieren (SCHÄFER, 1991). Bei adulten Tieren hat das Alter dann aber keinen Einfluss mehr auf die Schlafdauer (STEINHART, 1937) und auch das Dösen ist nicht mehr signifikant vom Alter abhängig (FADER, 2002).

Trächtige Stuten dösen und schlummern länger als Nichtträchtige (IHLE, 1984) und Wallache schlafen im Durchschnitt eine Stunde mehr am Tag als Stuten und anscheinend auch tiefer (STEINHART, 1937). Diesen Angaben widerspricht eine andere hochaktuelle Studie, nach der Stuten

ein größeres Schlafbedürfnis als Hengste und Wallache (BAKER, 2013)

Im Frühjahr und Herbst ruhen freilebende Pferde tagsüber deutlich weniger als im Sommer und Winter. Am meisten ruhen sie in den Monaten Juli und Februar (STEIDELE, 2011; WÖHR et al., 2011). In freilebenden Gruppen kann zudem ein Einfluss der Rangordnung auf das Ruhen beobachtet werden. Ranghohe Tiere ruhen weniger als Rangniedere (FADER, 2002; STEIDELE, 2011). In Gruppenauslaufhaltung legen sich ranghohe Tiere sogar ca. 10-30 Minuten vor den Anderen. Das Aufstehen erfolgt in der Regel gemeinsam (RUCKEBUSCH, 1975a). In einer Gruppe neigen die Tiere aber generell dazu gemeinsam im selben Zeitraum zu ruhen, wobei immer ein oder mehrere Tiere als „Wachposten“ wach bleiben (MCDONNEL, 2003).

Schulpferde dösen mehr als doppelt so viel wie Hochleistungspferde (IHLE, 1984).

4. Beurteilung des Pferdeschlafes mittels EEG

4.1. Geschichtliche Grundlagen

Das Gebiet der Schlafmedizin ist ein sehr junges Feld und die Entdeckung des EEG liegt noch nicht einmal 100 Jahre zurück (WILLIAMS et al., 2008). Die ersten electrocorticographischen Untersuchungen bei Einhufern wurden 1970 dokumentiert (RUCKEBUSCH, 1970). Im Anschluss folgten mehrere Versuche mit implantierten Tiefenelektroden analog der Technik beim Menschen (GRABOW et al., 1969; GARNER et al., 1972; DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974a). Man konnte einen ähnlichen Schlaf wie beim Menschen feststellen, mit Non-Rem-Phasen („slow-wave-sleep“) und REM-Phasen („paradoxical sleep“) mit komplettem Verlust des Haltungstonus. Daraus entstanden die vier Vigilanzstadien „(alert) wakefulness“ (WK), „drowsiness“ (DR), „slow-wave-sleep“ (SWS) und „paradoxical sleep“ oder REM-Schlaf (REM) (RUCKEBUSCH, 1970, 1972; HOUP, 1980; WILLIAMS et al., 2008; WILLIAMS et al., 2012). MYSINGER et al. versuchten bereits 1985 eine klinisch praktikable Methode für die nicht-invasive EEG-Ableitung am Pferd zu finden und elektroenzephalographische Untersuchungen mithilfe einer Elektrodenhalterungsmaske bei Pferden wurden erstmals von LEWIN 1998 bei wachen stehenden Pferden dokumentiert. Er zeichnete aber nur sehr kurze Abschnitte von vier Sekunden Dauer auf und es wurden Empfehlungen zur Positionierung der Elektroden gegeben.

Bis vor fünf Jahren wurde der Schlaf des Pferdes auf Basis polysomnographischer Ableitungen noch nicht eingehend untersucht. WILLIAMS et al. zeichneten 2008 Übernacht-EEG- und Videoaufnahmen von fünf klinisch gesunden Pferden außerhalb ihrer normalen Haltungsbedingungen auf und charakterisierten die einzelnen Vigilanzstadien genauer. Sie unterteilten ihre Messergebnisse ebenfalls, orientiert an RUCKEBUSCH (1972) in die vier Wachsamkeitsstadien Wachzustand, Schläfrigkeit (entspannte Wachheit, vom Verhalten gekennzeichnet durch ruhiges Stehen oder Liegen, dem Wachzustand folgend), SWS-Schlaf und REM-Schlaf.

Zuletzt untersuchte GÜNTNER 2010 sieben unsedierte Pferde über

insgesamt 16 Nächte und lies die aufgezeichneten Daten von einem für die Polysomnographie beim Menschen programmierten Analyseprogramm auswerten.

4.2. Gesamtschlafzeit

Pferde schlafen verglichen mit anderen Säugetieren sehr wenig (WILLIAMS et al., 2008). RUCKEBUSCH (1972) dokumentierte, dass Pferde 2,9 Stunden schlafen, davon etwa 125 Minuten im SWS- und 47 Minuten im REM-Schlaf. Diese Schlafdauer wurde so von vielen Autoren als Referenz herangezogen (CARSON & WOOD-GUSH, 1983; DALLAIRE, 1986; ZEPELIN, 1989; WILLIAMS et al., 2012).

4.3. Schlafstadien beim Pferd

Alle Ergebnisse der bisherigen EEG-Untersuchungen beim Pferd basieren auf der Schlafstadieneinteilung beim Menschen, da sich die Übernahme humanmedizinischer Bandgrenzen in die Veterinärmedizin universal durchgesetzt hat (KLEMM & HALL, 1974). Laut LIMA et al. (2005) kann das EEG aber nur bei manchen Tierarten zur Differenzierung mehrerer Stadien von Non-REM-Schlaf genutzt werden. Eine eigene Einteilung oder Definition von „pferdespezifischen“ Stadien existiert bisher nicht, aber Tabelle 5 zeigt die beim Pferd zu unterscheidenden Frequenzbanden. Auch WILLIAMS et al. (2008 und 2012) sehen eine Einteilung des Pferde-EEG in Stadien als schwierig an. Ein mit dem α -Rhythmus, der beim Menschen als Basis für die Schlafstadienklassifizierung dient, vergleichbares EEG-Muster konnte beim Pferd bisher nicht nachgewiesen werden.

Tabelle 5: EEG-Frequenzen beim Pferd (nach WILLIAMS et al. 2008)

Bandbereich	Frequenz (in Hertz)
δ	0 - < 4
θ	4 - < 8
α	8 - < 13
β	13 - < 30
γ	> 30

DALLAIRE & RUCKEBUSCH (1974) unterteilen den Schlaf beim Pferd in die zwei Stadien SWS- und REM-Schlaf. Die Ableitung im SWS-Schlaf (hochgespannt und niederfrequent) unterscheidet sich dabei deutlich von der des REM-Schlafes und der im schläfrigen Zustand. Das EEG des REM-Schlafes ist dem des schläfrigen Zustandes hingegen zum Verwechseln ähnlich (niedriggespannt und hochfrequent) (WILLIAMS et al., 2008).

4.3.1. Wachzustand

Erwachsene unsedierte Pferde zeigen im Stehen eine dominierende schnelle Aktivität von 25-40 Hz und 5-40 μ V, die eine langsamere Aktivität von 0,5-4 Hz und 10-40 μ V überlagert. Bei manchen Tieren tritt gelegentlich eine Spindelaktivität mit 10-14 Hz und 10-40 μ V auf (GRABOW et al., 1969; PUROHIT et al., 1981; MYSINGER et al., 1985). Die Ergebnisse späterer Untersuchungen decken sich nahezu mit denen der früheren Studien. Wache, entspannte Pferde zeigten eine instabile Grundtätigkeit von 15-35 Hz und eine mittlere wechselnde Spannungshöhe von 10-40 μ V (LEWIN, 1998). WILLIAMS et al. beobachteten in einer aktuelleren Studie 2008 ebenfalls physiologische Normwerte von 20-30 Hz und 50 μ V im entspannten Wachzustand.

4.3.2. REM-Phase

4.3.2.1. Charakteristik

Das EEG in der REM-Phase ist dem EEG des entspannt wachen und/oder schläfrigen Pferdes sehr ähnlich. Es zeichnet sich durch eine Aktivität von

20-30 Hz und 5-10 μ V, gemischt mit einem 4 Hz-Rhythmus zwischen 30 und 40 μ V, aus. Dabei treten schnelle konjugierte Augenbewegungen (REMs) auf und bei manchen Pferden auch Zuckungen der Ohren oder Gliedmaßen. Die EMG-Aktivität ist im Vergleich mit den anderen Schlafstadien am niedrigsten und ein Muskeltonus kann kaum mehr nachgewiesen werden (WILLIAMS et al., 2008).

4.3.2.2. Dauer

Pferde verbringen 7 % des zirkadianen Zyklus im REM-Schlaf (DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b), was etwa 100 Minuten (knapp 1,7 Stunden) entspricht. Laut BELL (1972) verbringen Pferde 10-15 % der Gesamtschlafzeit im REM-Schlaf. Dabei dauert eine REM-Periode nur 3-10 Minuten (HOUPPT, 2005). Die tatsächlich gemessenen Werte liegen zwischen 0 und 88 Minuten in Boxenhaltung (GÜNTNER, 2010). Ein plötzlicher Wechsel der Umgebung reduziert die tägliche Menge an paradoxem Schlaf beim Pferd deutlich (DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974a).

4.3.2.3. Auftreten

Der Übergang zum REM-Schlaf erfolgt nach dem Ablegen oft sehr schnell, oder nach einer kurzen SWS-Episode (WILLIAMS et al., 2008). Oft geht das Pferd nach dem REM-Schlaf dann auch wieder in den SWS-Schlaf über (HOUPPT, 2005).

Nicht jedes Pferd zeigt jede Nacht REM-Schlaf. GÜNTNER (2010) konnte ihn zum Beispiel nur bei fünf von sieben Pferden nachweisen. Laut der meisten Autoren tritt REM-Schlaf nur im Liegen auf (RUCKEBUSCH et al., 1970; RUCKEBUSCH, 1972; HALE & HUGGINS, 1980; HOUPPT, 1980, 2005; ALEMAN et al., 2008), andere gehen davon aus, dass die Tiere auch im Stehen in diese Phase kommen (CARSON & WOOD-GUSH, 1983; BELLING, 1990). In den Fällen, in denen im stehenden EEG ein Übergang in eine REM-ähnliche Phase beobachtet werden konnte, kollabierten die Tiere aber vorher (ALEMAN et al., 2008) oder zeigten keine REMs (GÜNTNER, 2010).

4.3.3. SWS-Schlaf / Stadium 3 und 4

4.3.3.1. Charakteristik

Die Ableitung im SWS-Schlaf ist eindeutig zu identifizieren. Sie unterscheidet sich deutlich von der im REM-Schlaf und von der im schläfrigen Zustand (WILLIAMS et al., 2008).

Der SWS-Schlaf zeigt eine EEG-Aktivität von 3-8 Hz und 90-150 μ V. Die Augen sind meist geschlossen mit wenigen Augenbewegungen (DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b). Laut WILLIAMS et al. (2008) liegt die Hintergrundaktivität bei 1-4 Hz und 60-80 μ V. Die beim Menschen in diesem Zustand vorkommenden kurzen Ereignisse wie Schlafspindeln (mit 10-14 Hz und 30-40 μ V), K-Komplexe (hochgespannte, langsame Negativwellen mit folgenden kleineren Positivwellen, oft gefolgt von Schlafspindeln) und Scheitelwellen (Vertex-Wellen mit deutlicher Potentialspitze am Scheitelpunkt, meist mit 8 Hz und 40-90 μ V), können so auch beim Pferd beobachtet werden. EMG-Aktivität ist vorhanden und flüchtige Entladungen können vorkommen und Augenbewegungen treten häufig auf (GÜNTNER, 2010).

4.3.3.2. Dauer

Die Literaturangaben zur Dauer des SWS-Schlafes rangieren von 125 (RUCKEBUSCH, 1972) bis 203 min/Nacht (DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b). In den Untersuchungen von GÜNTNER (2010) betrug der Tiefschlaf zwischen 0 und 72,6 % der Gesamtschlafzeit und variierte damit sehr stark. RUCKEBUSCH (1975) konnte 18 SWS-Epochen à 9 Minuten dokumentieren.

4.3.3.3. Auftreten

Beim Übergang zum SWS-Schlaf aus den Stadien 1 und 2 wird der Kopf gesenkt und die Ohren werden seitlich hängen gelassen (WILLIAMS et al., 2008). Die SWS-Phasen enden in der Regel nicht abrupt im REM-Schlaf, sondern gehen mit langsamen EEG-Veränderungen, manchmal unter Rückkehr in die Stadien 1 und 2, in die REM-Phase über (DALLAIRE &

RUCKEBUSCH, 1974b).

Die Haltung im SWS-Schlaf ist mit der in der Schläfrigkeit identisch. In Brustlage wird der Kopf kurz über der Einstreu gehalten (WILLIAMS et al., 2008) oder das Pferd steht mit gesenktem Kopf (ALEMAN et al., 2008). Der SWS-Schlaf findet zudem auch im Stehen statt (RUCKEBUSCH, 1975a; HOUPPT, 2005; WÖHR & ERHARD, 2006; GÜNTNER, 2010). Allerdings legen sich Pferde in einer gewohnten Umwelt für den SWS-Schlaf meistens ab (RUCKEBUSCH et al., 1970).

4.3.4. Stadium 1 und 2

GÜNTNER (2010) sieht die Trennung der humanmedizinisch definierten Stadien 1 und 2 beim Pferd anhand polysomnographischer Ableitungen als schwierig an. Auch der Übergang vom Wach- in den schläfrigen Zustand ist schwierig eindeutig auszumachen, da die Pferde dabei ein geringes Maß an Wachsamkeit behalten (ALEMAN et al., 2008).

WILLIAMS et al. (2008) fassen EEG-Muster mit einer Aktivität von 20 Hz und 10-20 μ V, gemischt mit intermittierenden Rhythmen von ca. 4 Hz und mit bis zu 30-40 μ V, als „Drowsiness“ (Schläfrigkeit) zusammen. Auch beobachteten sie bei zwei der von ihnen untersuchten Pferden mehrere kurze Entladungen von langsamen 70-110 μ V-Wellen (einzelne Wellendauer >200 ms), Spitzen von unter 70 ms und multiple spitze Wellen von 70-200 ms. Das EMG im Musculus splenius ist in diesem Stadium vorhanden.

4.3.5. Schlafarchitektur

Als Schlafzyklus wird die Dauer vom Ende einer REM-Phase bis zum Ende der nächsten REM-Phase bezeichnet. Diese beträgt beim Pferd nach Literaturangaben zwischen 13,5 (DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974a) und 15 Minuten (ZEPELIN, 1989). Die mittlere Dauer einer Schlafepoche, dem Zeitraum zwischen zwei Wachphasen, liegt bei 41 Minuten. Einzelne Tiere schlafen allerdings bis zu 90 Minuten ohne aufzuwachen (DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974a).

Des Weiteren konnte bei Pferden bisher kein einheitliches Schlafmuster und kein regelmäßiger Schlafzyklus ausgemacht werden. Es bestehen sowohl intra- als auch interindividuell große Unterschiede im nächtlichen Schlafverhalten (GÜNTNER, 2010).

4.4. Beeinflussung des EEG

4.4.1. Durch die Haltungsform

Wie das Liegeverhalten, wird auch das Schlafverhalten signifikant von den Haltungsbedingungen beeinflusst.

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die bisher erhobenen EEG-Befunde des Pferdeschlafes unter verschiedenen Haltungsbedingungen. Ein Einfluss der Haltungsform auf das EEG kann auf den ersten Blick nicht ausgemacht werden, allerdings wurden längere EEG-Ableitungen beim Pferd bisher auch nur in Anbinde- und Boxenhaltung durchgeführt. In beiden Fällen befinden sich die Pferde in einer sicheren Unterbringung und sind gegen Witterungseinflüsse, ranghöhere Tiere und andere externe Einflüsse weitestgehend geschützt. Die Zeiten in Gruppenauslaufhaltung oder von wildlebenden Pferden würden sicher deutliche Unterschiede zeigen, da das Ruheverhalten von Pferden stark durch exogene Einflüsse bestimmt wird (STEINHART, 1937; IHLE, 1984). Dies wird bereits bei der Anbindehaltung im Freien sichtbar, bei der insgesamt etwas weniger Zeit schlafend verbracht wird, als in Stallhaltung (RUCKEBUSCH, 1975a) (s. Tabelle 6).

Tabelle 6: EEG-Befunde in Abhängigkeit von der Haltungsform

Haltungsform	Mittlere Dauer (in min)			Quelle
	Gesamtschlafzeit	SWS	REM	
Einzelhaltung				
Potttock Ponies in Stallhaltung (Heufütterung)	-	135,6-194,3	31,3-53,6	(DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b)
Potttock Ponies in Stallhaltung (Haferfütterung)	-	188-203	38,6-88	(DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b)
Potttock Ponies in Stallhaltung (20-8 Uhr)	178-237	-	-	(DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974a)
Boxenhaltung	47-249	-	7,3 ± 6,6	(GÜNTNER, 2010)
Anbindehaltung				
Potttock Ponies im Freien	101-156	-	10-25 ± 3-11	(RUCKEBUSCH, 1975a)
Potttock Ponies in Stallhaltung	218 ± 26	-	37 ± 3	(RUCKEBUSCH, 1975a)
Unspezifisch				
	172,8	125	47	(RUCKEBUSCH, 1972)
	ca. 180	-	30	(WILLIAMS et al., 2008)

4.4.2. Durch das Alter

Im EEG zeigt sich ein deutlicher Unterschied vom Fohlen zum adulten Tier. Fohlen zeigen wachsam eine langsamere Aktivität von 2-6 Hz und 20-90 μ V, die von einer schnelleren Aktivität mit 20-30 Hz und 5-25 μ V überlagert wird. Mit dem Erwachsenwerden wird die schnelle Aktivität dann zunehmend dominanter. Im entspannten Zustand liegt ein irreguläreres EEG-Muster mit Frequenzen von 1-10 Hz und 10-200 μ V vor (MYSINGER et al., 1985). LEWIN (1998) stellte bei Fohlen unter vier Monaten vorrangig eine δ - und θ -Aktivität mit 2-7 Hz und einer sehr hohen Spannung von 50-140 μ V, bei stark diskontinuierlichem Ableitungsmuster fest. Fohlen schlafen zudem, wie allgemein bekannt, mehr als Adulte. Polysomnographische Untersuchungen zur genauen Bestimmung der Gesamtschlafzeit fehlen hier allerdings bisher. Bei adulten Reitpferden ist dann kein statistischer Zusammenhang mehr zwischen Lebensalter und Gesamtschlafzeit erkennbar, tendenziell nehmen Schlafstadium 3 und 4 im Alter aber zu, REM, 1 und 2 ab (GÜNTNER, 2010).

5. Das Bewegungsverhalten des Pferdes

5.1. Grundlagen

Freilebende und ausgewilderte Pferde leben in stabilen sozialen Gruppen, die die meiste Zeit des Tages (ca. 16-20 Stunden) mit der Suche und Aufnahme nach Nahrung verbringen (DUNCAN, 1980; BOYD & BANDI, 2002). Hierbei bewegen sie sich auf großen Territorien fort und nehmen vor allem Raufutter von schlechter bis mittlerer Qualität zu sich. Im Gegensatz dazu leben Sportpferde heutzutage, nach etwa 6000 Jahre andauernder Domestikation, meist in relativ kleinen Boxen in relativ großer sozialer Isolation und fressen weniger, aber dafür energiereichere Nahrung (HENDERSON, 2007). Auch in Deutschland ist die Einzelboxenhaltung vor allem bei Turnierpferden die verbreitetste Haltungsform (WERHAHN et al., 2012b).

In den meisten Fällen ist den Pferden, aus Angst vor Verletzungen, der Zugang zu freier Bewegung verwehrt. Zudem denken manche Pferdehalter, dass das Bedürfnis des Pferdes nach Bewegung durch das tägliche Training befriedigt ist, oder dass sich freie Bewegung sogar negativ auf die Leistungsfähigkeit unter dem Sattel auswirkt. Dies konnte bis heute nicht nachweislich bestätigt werden (WERHAHN et al., 2011). Pferde haben einen Bedarf an mehrstündiger Bewegung, für die unter jeder Haltungsform gesorgt werden muss (ZEEB, 1997). Der Gebrauch durch den Menschen verschafft dem Pferd zwar auch Bewegung, doch nur die freie und selbstbestimmte Bewegung erfüllt die Bedürfnisse des Pferdes vollständig. Daher empfiehlt das Bundesamt für Veterinärwesen (BVET) der Schweiz für reiterlich oder anderweitig genutzte Pferde an mindestens 13 Tagen im Monat Zugang zu freier Bewegung (GEISER, 2001).

5.2. Natürliches Bewegungsverhalten

Tägliche Rhythmen der Bewegungsaktivität wurden bereits für eine große Anzahl von Säugetierarten dokumentiert. Über das Pferd wurde in diesem Bereich aber bisher relativ wenig geforscht (GILL, 1991; BERTOLUCCI et al., 2008). Die meisten Dokumentationen zum Bewegungsverhalten von

Pferden basieren auf Beobachtungen. Eine gängige Methode zum genaueren Monitoring des Bewegungsverhaltens ist zudem die Nutzung eines Pedometers (FRENTZEN, 1994).

In der freien Natur bewegen sich Pferde auf der Suche nach Futter und Wasser sowie geeigneten Ruheplätzen täglich viele Kilometer fort (GEISER, 2001). Beim Grasens bewegen sich die Tiere zwischen der Aufnahme kleiner Bissen dauernd im Schritt fort. Sonst gehen die Tiere 3-10 % Schritt und traben und galoppieren weniger als 1 % der gesamten Zeit (DUNCAN, 1980; BOYD & BANDI, 2002). Neben diesen, von Umweltgegebenheiten abhängigen, täglichen Ortsveränderungen kommen zum Teil jahreszeitliche Wanderungen von Hunderten von Kilometern, die wie die Futtersuche ebenfalls vor allem in der Gangart Schritt erfolgen (SCHÄFER, 1991). Pferde sind somit ihrer Natur nach Lauftiere und legen täglich große Entfernungen von bis zu 55 km zurück (HAMPSON et al., 2010).

5.3. Bevorzugter Zeitraum

Die Beobachtung von freilebenden Pferden zeigt, im Gegensatz zu denen an Boxenpferden, nicht nur zirkadiane, sondern auch ultradiane Rhythmen (Perioden über 24 Stunden) (BERGER et al., 1999). Um dies zu erklären, untersuchten MARTIN et al. 2010 das equine Bewegungsverhalten unter natürlichen Haltungsbedingungen. Sie zeigten als Erste, dass das Pferd unter konstanten Umweltbedingungen (unter Abwesenheit von vermuteten externen 24-Stunden-Zeitgebern, wie zum Beispiel Licht) einen schwach endogenen zirkadianen Rhythmus im Bewegungsverhalten aufweist. Allerdings zeigten die von ihnen untersuchten Tiere auch deutliche ultradiane Verhaltensweisen. BERGER et al. beobachtete 1999 als Erster eine Gruppe von halb-wildlebenden Przewalski-Pferden unter weitestgehend natürlichen Haltungsbedingungen auf einem 44 ha großen Territorium (Semi-Reservat zur Auswilderung, das keine Zufütterung über das Jahr benötigte). Die Bewegungsaktivität der Tiere war tagsüber am größten, nur während einiger weniger heißer Tage waren die Pferde nachts aktiver als tagsüber.

5.4. Beeinflussung des Bewegungsverhaltens

5.4.1. Durch die Haltungform

Das Herden- und Fluchttier Pferd lebt in der heutigen Zeit meist unter Bedingungen, die den evolutionsbiologischen Verhaltensweisen, die das Überleben des Pferdes in der Vergangenheit gesichert haben, widersprechen oder mit diesen schwer zu vereinbaren sind. Je intensiver die Haltungsbedingungen, desto mehr ist die Bewegung der Tiere von der vom Menschen zugelassenen bzw. geforderten Bewegung abhängig. Sport-, Arbeits- und Freizeitpferde leben zumeist in Einzelboxenhaltung (GOODWIN, 1999), welche die Pferde sehr lange Zeiten in ihrer Bewegung einschränkt und keine oder nur selten Möglichkeit zu freier und selbstbestimmter Bewegung bietet. Dies kann mit erhöhter Ruhelosigkeit und Aggressionen verbunden sein (WERHAHN et al., 2011). Trotzdem ist diese Haltungform aufgrund der Nutzung des Pferdes in der heutigen Zeit notwendig (HENDERSON, 2007). „Gefangenschaft“ hat oft einen dramatischen Effekt auf die tägliche Bewegung des Pferdes und damit auf sein Wohlbefinden (HAMPSON et al., 2010).

Ein zusätzliches freies Bewegungsangebot führt bei Pferden zu einer signifikant erhöhten Bewegungsaktivität und zu einer Abnahme der Stressbelastung (HOFFMANN et al., 2009). Auch die Bewegungsaktivität kann nämlich als Indikator für das Wohlbefinden von domestizierten Tieren herangezogen werden und wird durch verschiedene Haltungsbedingungen enorm beeinflusst (KLINGLER, 1988; CHAPLIN & GRETGRIX, 2010). HOFFMANN führte 2008 ausgiebige Untersuchungen zum Liegeverhalten in verschiedenen Haltungsformen an Jungpferden durch, wobei die Tiere in Einzelhaltung die geringste Bewegungsaktivität zeigten (HOFFMANN, 2008).

Bei der Bewertung des Bewegungsverhaltens von Pferden muss berücksichtigt werden, dass Tiere generell individuelle Unterschiede in der Bewegungsaktivität aufweisen können. So kann es auch bei Pferden eher „faule“ Individuen geben und solche, die sich gerne bewegen. Tabelle 7 gibt eine Übersicht über die Literaturangaben zur täglichen Bewegungsaktivität von Pferden unter verschiedenen Haltungsbedingungen.

Tabelle 7: Bewegungsverhalten in Abhängigkeit von der Haltungsform (modifiziert nach HOFFMANN 2008)

Haltungsform	Täglich zurückgelegte Distanz (in km)	Quelle
Freilebend und halbwild		
Stuten und Fohlen im Freigehege	2-2,5 (0,3-4,5)	(KOWNACKI et al., 1978)
Halbwilde New-Forest-Ponies	7-10	(SCHÄFER, 1991)
Freilebende Pferde auf der Hochebene Namib	20-30	(BENDER, 1999)
Steppenzebras der Serengeti	<26	(SCHÄFER, 1991)
Freilebende New Forest Ponies, Camarguepferde und Mustangs	6-11	(ZEITLER-FEICHT, 2001a)
Freilebende Fjordpferde	ca. 4-7	(BENDER, 1999)
Wildpferde in der Prärie Nordamerikas	<16	(GEISER, 2001)
Camargue-Pferde	ca. 6	(SCHÄFER, 1991)
Wildpferde	<20	(HENNING, 2004)
Pferde unter naturnahen Bedingungen	<8	(MARTEN, 1996)
Wildpferde im australischen Outback	<55	(HAMPSON et al., 2010)
Weidehaltung		
Weidehaltung	<6	(ZEEB, 1995)
Haflinger in Weidehaltung	8,4	(FRENTZEN, 1994)
Gruppenauslaufhaltung		
Haflinger	ca. 3	(SCHÄFER, 1991)
Haflinger im Auslaufsystem mit hoher Fütterungsfrequenz	4,8	(FRENTZEN, 1994)
Gruppenauslauf	ca. 1,8	(ZEEB, 1995)
Mehrraum-Pferdeauslaufhaltungssystem mit tierindividueller Vorratsfütterung	<3	(PIOTROWSKI, 1992)
Einzelhaltung		
Box mit tgl. halbstündiger Bewegung	<0,2	(ZEEB, 1995)
Box 6x6 m	ca. 1,1	(HAMPSON et al., 2010)
Privatpferde	4,9 (>1,6)	(RODEWALD, 1989)
Schulpferde	9,9 (<16,1)	(RODEWALD, 1989)

Halbwild gehaltene Pferde haben zwar wesentlich mehr Platz als intensiver gehaltene Artkollegen, aber eben doch nur ein begrenztes Areal zur Verfügung. Die von ihnen zurückgelegten Distanzen sind deutlich geringer als die wirklich wilder Tiere (SCHÄFER, 1991).

Die Bewegung bei domestizierten Tieren muss selbst bei Gruppen-Auslaufhaltung, bei der die Tiere genug Platz zur selbstbestimmten Bewegung hätten, durch Anreize forciert werden. Haben die Tiere keinen Grund (z.B. Futtersuche, Aufsuchen von Schatten oder Windschutz) sich zu bewegen, sind sie eher bequem und laufen weniger als Tiere in freier Wildbahn (FRENTZEN, 1994; HOFFMANN, 2008). So bewegen sich Pferde in Gruppen-Auslaufhaltung bei Verdoppelung der zugänglichen Auslauffläche unwesentlich länger (HOFFMANN, 2008).

PICCIONE et al. untersuchten 2008 den Tagesablauf von zwei Pferdegruppen in reiner Boxenhaltung und Boxenhaltung mit Paddock. Die Bewegung der Boxenpferde fand größtenteils tagsüber statt, wohingegen die Tiere in den Paddocks auch nachts deutlich aktiver waren. In beiden Gruppen zeigten die Tiere nachts kürzere Aktivitätsperioden mit geringerer Intensität als am Tage, welche immer wieder von Schlafphasen unterbrochen wurden.

5.4.2. Durch Geschlecht, Rasse, Fütterung und Saison

Zu Auswirkungen von Geschlecht, Rasse, Fütterung und Saison beim Pferd gibt es bisher nur spärliche Angaben.

Männliche Tiere zeigen im Gegensatz zu Weiblichen eine signifikant erhöhte Bewegungsaktivität (VOSWINKEL, 2009). Manche Rassen sind bewegungsfreudiger, als Andere. So legen Araber, Vollblüter und andere hoch im Blut stehende Rassen wahrscheinlich unter denselben Haltungsbedingungen höhere Wegstrecken zurück (SCHÄFER, 1991; BOHNET, 2011). Die Fütterung wirkt sich nur gering auf die totale Bewegungsaktivität aus (PICCIONE et al., 2008). Dem widerspricht SCHÄFER (1991), nach dem Tiere die energetisch hochwertiges, konserviertes Futter erhalten, ein geringeres Laufbedürfnis haben.

Der saisonale Einfluss auf das Bewegungsverhalten von Nutztieren wurde bisher kaum untersucht, wobei Wissen in diesem Bereich wichtige Aspekte zu der Erstellung von Trainings- und Wettkampfplänen für Pferde liefern könnte. Die equine Bewegungsaktivität ist am Tag unabhängig von der Jahreszeit immer in der Mitte der Photoperiode am höchsten. Somit

besteht kein Zusammenhang mit der Zeit des Sonnenaufganges, die sich im Laufe des Jahres stark verändert. Auf das Jahr gesehen zeigen Pferde im Frühling und Sommer die höchste, im Winter (November-Februar) die niedrigste Bewegungsaktivität. Im Winter ruhen die Tiere deutlich mehr, wobei jedes Einzeltier dabei ein relativ konstantes Bewegungsmuster zeigt (BERGER et al., 1999; BERTOLUCCI et al., 2008; VOSWINKEL, 2009).

5.5. Veränderungen durch menschlichen Gebrauch

Der Pferdesport, der sich in den letzten Jahren zum Volkssport entwickelt hat, sichert heute das Überleben des Pferdes, wohingegen der Einsatz des Pferdes als Arbeitstier im Zeitalter voranschreitender technischer Mobilität nahezu überflüssig geworden ist. Dabei ist der Leistungsgedanke, egal in welcher Disziplin, zentraler Punkt des Turniersports (KLIMKE, 1997). Die Leistungsfähigkeit hat sich so zum Schlüsselindikator für die psychologische Gesundheit des Pferdes entwickelt. Pferde, die Leistung bringen, müssen sich gut fühlen (HENDERSON, 2007).

Das Pferd wird heutzutage aber nicht nur im klassischen Turniersport, sondern in vielen, zum Teil sehr verschiedenen Disziplinen, eingesetzt, wobei die stetig wachsende Anzahl an Freizeitpferden in Deutschland nicht genau bekannt ist. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die verschiedenen Nutzungsrichtungen von Pferden.

Tabelle 8: Nutzungsrichtungen des Pferdes am Beispiel einer Umfrage in 186 Betrieben in Berlin/Brandenburg (modifiziert nach BREDENBRÖKER 2003)

Nutzungsrichtung	Nutzungsart	Anzahl Betriebe in % (Mehrfachnennungen möglich)
Sport	Dressur	67,2
	Springen	65,5
	Vielseitigkeit/Military	1,6
	Voltigieren	4,8
	Fahren	23,1
	Western	7
	Trabrennen	8,1
	Galopprennen	1,1
	Jagd	0,5
	Gangreiten	
	Distanzreiten	2,7
	Polo u.a. Ballspiele	1,1
Arbeit	Zug- und Lasttiere	k.A.
	Therapeutisches Reiten	k.A.
	Stock Horses	k.A.
	Zirkus	k.A.
Freizeit (Breitensport)	Hobby	72
	Orientierungs- & Wanderreiten	5,4
	Geschicklichkeitsreiten	0,5
	„Gandenbrotpferde“	0,5
Zucht		27,9
Schulpferde	aller Nutzungsrichtungen	39,2

Die tägliche Arbeitszeit der Tiere variiert sehr stark mit deren Einsatzgebiet. Privatpferde werden meist weniger bewegt als Pferde im Schulbetrieb, die mehrmals täglich laufen müssen. Pferde in Beritt werden kürzer, dafür aber intensiver bewegt. Die tägliche Arbeitszeit von Reitpferden liegt zwischen 9 und 258 Minuten und im Mittel bei 41 Minuten/Tag. Die kürzeste Bewegungsdauer wird während des sogenannten „Freilaufens“ beobachtet, bei der die Tiere nur kurz, aber in schneller Gangart, ohne Reiter angetrieben werden. Schulpferde laufen etwa doppelt so lange wie Privatpferde, im Extremfall sogar zehnmal so

lange (RODEWALD, 1989). Das Vorkommen und auch die Art von Stereotypen hängt dabei stark von der sportlichen Nutzungsrichtung des Pferdes ab. Eine Stunde Arbeit am Tag wirkt sich offensichtlich nachhaltig auf das Verhalten in den restlichen 23 Stunden in der Box aus. Dressurpferde zeigten die höchste Inzidenz von Stereotypen und noch dazu die „schwerwiegendsten“ (Koppen, „head shaking“ etc.) (HAUSBERGER et al., 2009).

Die meisten Pferde werden nur einmal am Tag ca. eine Stunde, vornehmlich durch Reiten oder Longieren, bewegt und stehen sonst in der Box (BOHNET, 2011). Dies entspricht einer täglichen Nutzungsdauer von ca. 4,2 % des gesamten Tages. RODEWALD (1989) beobachtete in seinen Untersuchungen sogar nur eine tägliche Nutzungsdauer von 3 % und bei zusätzlichem Koppelgang noch eine selbstbestimmte Bewegungsdauer von 3 %. Im Extremfall (kein Koppelgang) standen die Pferde 97 % des Tages im Stall. Nur 72 % der Großpferde und 52 % der Ponies werden überhaupt täglich bewegt (REICHERT, 1990).

Lässt man ihnen die Wahl, entscheiden sich Pferde definitiv gegen schnelle, anstrengende Bewegung und für Stallruhe mit der Möglichkeit zu kurzer, selbstbestimmter freier Bewegung (LEE et al., 2011). Im Schnitt werden Privatpferde am Tag 18 Minuten lang Schritt, 15 Minuten Galopp und 8 Minuten im Trab bewegt (RODEWALD, 1989). Hierbei müssen die Tiere wesentlich länger und schneller laufen als sie es unter natürlichen Bedingungen in der Herde tun würden (KLINGLER, 1988). Durch den Menschen bestimmtes Training kann das Bedürfnis des Pferdes nach Bewegung dennoch nur teilweise erfüllen (WERHAHN et al., 2011), da sie nicht die gleichen Bewegungsabläufe beinhaltet, wie freie Bewegung. Allen Pferden ist daher so oft wie möglich freie Bewegung zu ermöglichen (ZEITLER-FEICHT et al., 2009).

5.5.1. Folgen mangelnder Bewegung

Pferde bewegen sich ca. 60% des Tages auf der Suche nach Nahrung fort (DUNCAN, 1980). Unter modernen Haltungsbedingungen, bei denen die Tiere oft 23 Stunden am Tag im Stall stehen, muss daher ein Ausgleich für

den Bewegungsmangel geschaffen werden. Der Bewegungsapparat des Pferdes, Sehnen, Bänder und Gelenke, werden unzureichend durchblutet und bußen an Elastizität ein. Eine nachfolgende Belastung kann zu Verletzungen führen. Der Selbstreinigungsmechanismus der Atemwege ist zudem eingeschränkt und auch der Hufmechanismus kann geschädigt werden (MARTEN, 1996; ZEEB, 1997; BOHNET, 2011).

All das hat negative Auswirkungen auf das Wohlbefinden des Pferdes. Die Tiere sind ruheloser und zeigen häufiger Stereotypien wie Weben, Koppen und Kreislaufen (SCHÄFER, 1991; WERHAHN et al., 2011). Manche Pferdehalter, vor allem im Dressursport, lehnen eine freie und selbstbestimmte Bewegung des Pferdes im Auslauf und sogar ein Freilaufen in der Halle kategorisch ab. Als Grund wird hierfür meist das Verletzungsrisiko beim unkontrollierten Herumtoben genannt. Sinnvolle Bewegung ist aber für die Gesunderhaltung des Pferdes dringend notwendig (MARTEN, 1996). Gerade für Fohlen und Jungtiere ist ausreichend Bewegung wichtig, um ein geregeltes Wachstum und einen gesunden Körperbau zu garantieren (BOHNET, 2011).

In vielen Betrieben ist es, trotz eines allmählichen „Umdenkens“ in der Welt der Pferdebesitzer, nach wie vor Gang und Gebe, den Pferden einen Tag Pause vom Reiten und der allgemeinen Arbeit zu geben. Nach einer 2003 stattgefundenen Studie ist dies sogar noch bei 67 % der Pferdebesitzer üblich (BREDENBRÖKER, 2003). Diese „Ruhe- oder Stehtage“ verbringen die Pferde dann oft ohne irgendeine Möglichkeit zur Bewegung (RODEWALD, 1989), was sich negativ auf deren Wohlbefinden und auch auf den Trainingserfolg auswirken kann (FREIRE et al., 2009).

5.5.2. Folgen von Übertraining

Stagniert die Leistung trotz fortgeführtem oder sogar intensiviertem Training, oder fällt diese sogar ab, spricht man beim Menschen vom sogenannten Übertrainingssyndrom (ÜTS) oder von „sportlichem Burnout“ („overtraining“). Sogar nach mehrwöchiger Regenerationsphase sind die Auswirkungen immer noch bemerkbar. Athleten zeigen teilweise eine enorme Abneigung gegenüber Sport, sind depressiv und haben in einigen

Fällen auch Schlafstörungen. In diesem Falle ist Sport nicht mehr förderlich für das psychische Wohlbefinden, sondern unter Umständen sogar schädlich (SCHULZ et al., 2012). Sind die Folgen nur von kurzer Dauer, spricht man eher von einem Überlastungszustand (overreaching oder overloading) (HÖLZLER, 2009).

Auch Pferde verweigern manchmal die Arbeit und oft ist kein augenscheinlicher Grund erkennbar. Die Tiere sind oft chronischem Stress durch tägliche, teils monotone, Arbeit ausgesetzt. Dies kann zu Verhaltensanomalien, Apathie und Depressionen wie beim Menschen führen (FUREIX et al., 2012). Grundsätzlich sollte es selbstverständlich sein, jedes Pferd nur im Rahmen seiner naturgegebenen Leistungsgrenzen zu trainieren (KLIMKE, 1997). Im Rahmen der Conference on Equine Sports and Science 2008 in den Niederlanden erschienenen Buch „The Acute Poorly Performing Sport Horse“ werden die Ursachen für eine verminderte Leistungsfähigkeit beim Sportpferd diskutiert (LINDNER, 2008). Es wird detailliert auf die verschiedenen Organsysteme und den Bewegungsapparat eingegangen, aber die Auswirkungen „schlechten“ Schlafes auf die sportliche Performance werden nicht erwähnt. In der Vielzahl der zum Thema Overtraining beim Pferd vorhandenen Publikationen konnte zudem nicht eine einzige Arbeit gefunden werden, die im Zusammenhang mit dem equinen Schlaf steht.

6. Auswirkungen körperlicher Belastung auf den Schlaf

Sportliche Betätigung hat einen komplexen Einfluss auf den Körper und führt sowohl zu dauerhaften, als auch zu vorübergehenden Effekten. Dies ist auf endokrine, somatische und nervliche Veränderungen zurückzuführen (UCHIDA et al., 2012). Wie bereits oben erwähnt, gibt es beim Pferd bisher nur wenig Literatur zum Thema Auswirkungen körperlicher Belastung auf den Schlaf. Daher wird im Folgenden ein kurzer Überblick über die Veränderungen des Schlafverhaltens beim Menschen nach sportlicher Betätigung gegeben. Im Anschluss folgen einige Angaben zum Pferd. Auf die Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die neurokognitiven Fähigkeiten und die psychische Gesundheit wird nicht näher eingegangen.

6.1. Probleme bei der Beurteilung

Viele Variablen wie Trainingszustand, Umgebungstemperatur, Bewegungsdauer und Tageszeit, sowie Lichteinfluss und individueller Schlafrhythmus können einen Einfluss auf den Schlaf haben (YOUNGSTEDT et al., 1997). Diese sogenannten „masking effects“ machen eine korrekte Interpretation von Studien und auch die des chronophysiologischen Effektes von Training auf Athleten schwierig. Sie sollten so konstant sein wie möglich und verlangen eine strenge Kontrolle (ATKINSON et al., 2007; PICCIONE & GIANNETTO, 2011).

Es ist wichtig den Trainingszustand der Probanden zu kennen, da diese Faktoren unter Umständen einen Einfluss auf die Wirkung des Trainings haben können. So kann Sport bei aktiven und körperlich fitten Probanden eine positive Wirkung auf den Schlaf haben (HORNE, 1981), für Inaktive, Unsportliche aber ein Stressfaktor sein. Leider wurde die Bewegungshistorie der Testpersonen bei den meisten bisher durchgeführten Studien nur unzureichend oder gar nicht dokumentiert (O'CONNOR & YOUNGSTEDT, 1995).

Auch hat die Intensität und Wiederholung des Trainings einen entscheidenden Einfluss auf die Auswirkungen auf den Organismus. So

lässt leichtes bis moderates Training subjektiv einen geringeren Einfluss vermuten, als überdurchschnittlich starke, ungewohnte Belastung. Die meisten der bis heute durchgeführten Versuche konzentrieren sich auf eine einmalige, akute Trainingseinheit und deren Folgen für die anschließende Schlafereinheit (O'CONNOR & YOUNGSTEDT, 1995; KLINE & YOUNGSTEDT, 2013). Mehrere aufeinanderfolgende Tage dauernde Untersuchungen wurden bisher nur selten durchgeführt.

6.2. Beeinflussung des Schlafes durch körperliches Training

Es wird weitläufig angenommen, dass sportliche Betätigung nicht nur einen enormen Einfluss auf den Schlaf hat (TRINDER et al., 1985; O'CONNOR & YOUNGSTEDT, 1995), sondern auch dessen Qualität verbessert. So empfiehlt die National Sleep Foundation regelmäßigen Sport als einen von zehn Tipps für besseren Schlaf. Diese Verbesserung der Schlafqualität ist allerdings laut YOUNGSTEDT et al. (1997) nicht bewiesen (YOUNGSTEDT et al., 1997). Dies deckt sich auch mit der Zusammenfassung von HORNE (1981), der bei Betrachtung der doch relativ umfangreichen Literatur zum Thema „Auswirkung von Bewegung auf den Schlaf“ schon auf Basis der 1981 existierenden Literatur nur sehr leichte oder keine Auswirkungen bei Menschen mit durchschnittlicher Fitness feststellen konnte, auch nicht unter hohen Trainingsbedingungen (HORNE & MINARD, 1985). In der Literatur gibt es also verschiedene, zum Teil widersprüchliche Aussagen zum positiven Effekt des Sports. Umfragen deuten auf jeden Fall daraufhin, dass wenige Verhaltensweisen so eng mit verbessertem Schlaf verbunden sind, wie Sport (VUORI et al., 1988).

6.2.1. Potentielle positive Mechanismen

Körperliche Bewegung könnte sich über verschiedene Mechanismen positiv auf die Schlafqualität auswirken. Zum Einen hat sie anxiolytische und antidepressive Effekte, die genau so effizient sind, wie eine medikamentöse Therapie, Zum Anderen kann zeitlich abgestimmte Bewegung zu Phasenverschiebungen im Wach-Schlaf-Rhythmus führen

und hat damit einen Einfluss auf das zirkadiane System (ATKINSON et al., 2007). Sie ist neben Licht und Fütterung ein bekannter Taktgeber der zirkadianen Uhr (TUREK, 1989; ATKINSON et al., 2007). Der optimale Zeitpunkt für Sport ist allerdings unbekannt. Unterschiedliche Dauer und Intensität kann durch Verzögerung des Beginns der Melatoninsekretion den menschlichen zirkadianen Rhythmus unabhängig von Dunkelheit sowie Alter und Fitnesslevel beeinflussen (ATKINSON et al., 2007).

Über die Erhöhung der Körpertemperatur und eine periphere Vasodilatation direkt nach dem Training kommt es zudem zu einem schnelleren Einschlafen. Eine generell verbesserte Thermoregulation durch regelmäßigen Sport wirkt sich ebenfalls positiv aus. Zuletzt führt ein erhöhter extrazellulärer Adenosinspiegel über die Beeinflussung homöostatischer Prozesse zu einem besseren Schlaf (KLINE & YOUNGSTEDT, 2013).

6.2.2. Gesamtschlafzeit und Einschlaf latenz

Ein Überblick über die verfügbare Literatur zeigt einen Anstieg der Gesamtschlafzeit nach körperlicher Belastung und eine gering bis moderat verbesserte Schlafqualität (O'CONNOR & YOUNGSTEDT, 1995; UCHIDA et al., 2012).

Epidemiologische Studien belegen, dass regelmäßige körperliche Aktivität einen positiven Effekt auf die Schlafqualität und die Müdigkeit am Tage haben kann. Ein Überblick über Studien zum Schlaf des Menschen zeigte, dass Probanden die am Tag Sport trieben, eine um 10 Minuten längere nächtliche Gesamtschlafzeit hatten. Dies stimmt mit der Theorie überein, dass Schlaf der Erholung dient. (O'CONNOR & YOUNGSTEDT, 1995) RECHTSCHAFFEN (1998) sieht diesen Effekt allerdings als so klein an, dass nicht geglaubt werden kann, dass der Großteil des Schlafes diesem Zweck dient. Nach RECHTSCHAFFEN & SIEGEL (2000) bleibt die Gesamtschlafzeit auch unter unterschiedlichen Bedingungen von Tag zu Tag ziemlich gleich und wird auch von körperlicher Belastung nicht merklich beeinflusst. Der einzige Faktor, der die Gesamtschlafzeit deutlich verlängert, ist vorangegangener Schlafentzug. Die Menge an verlorenem

Schlaf wird allerdings in den folgenden Schlafperioden nicht komplett nachgeholt (MEDDIS, 1977).

Nach UCHIDA et al. (2012) führt regelmäßiger Sport zudem zu wesentlich verkürzten Einschlafzeiten (UCHIDA et al., 2012). Andere Studien stellten, entgegen des volkstümlichen Glaubens dass körperliche Müdigkeit per se das Einschlafen begünstigt, fest, dass auch nach sechs Stunden anstrengenden körperlichen Trainings kein früherer oder späterer Schlaf Eintritt als normal eintrat (HAURI, 1968, 1969).

6.3. Einfluss von einmaliger Belastung

Die ersten wissenschaftlichen Arbeiten zum Einfluss von Bewegung auf den Schlaf und Veränderungen im EEG wurden in den 60er Jahren verfasst (UCHIDA et al., 2012). Seitdem ist die Nutzung des EEG auch in der Schlafdiagnostik bei Sportlern ein beliebtes Diagnosemittel.

Laut O'CONNOR & YOUNGSTEDT (1995) hat körperliche Belastung einen enormen Einfluss auf den Schlaf. HAURI (1968) konnte dagegen in den ersten 3,5 Stunden Schlaf selbst nach sechsstündiger anstrengender körperlicher Betätigung überhaupt keine Veränderungen irgendeiner Schlafvariablen feststellen. Der Schlafzyklus wies eine überraschende Stabilität gegenüber verschiedenen abendlichen Aktivitäten auf.

6.3.1. Auf den REM-Schlaf

Die Forschung zeigt generell, dass sowohl einmalige als auch kontinuierliche sportliche Betätigung zu längeren Perioden von Non-REM-Schlaf und kürzeren Perioden von REM-Schlaf führt (UCHIDA et al., 2012). Nach körperlicher Belastung kann eine Reduktion sowie ein verspätetes Einsetzen des REM-Schlafes festgestellt werden. Diese Feststellungen basieren allerdings auf der Basis von wenigen klinischen Probanden nach intensiver Belastung (O'CONNOR & YOUNGSTEDT, 1995). Andere Autoren sehen allerdings keinen Einfluss der Art des Trainings auf den REM-Schlaf (TRINDER et al., 1985).

6.3.2. Auf den SWS-Schlaf

Viele Studien, die meisten auf der Basis der Wiederherstellungstheorie des SWS-Schlafes, gehen von einer positiven Beeinflussung des SWS-Schlafes durch körperliches Training am Tage aus. So kann laut O'CONNOR & YOUNGSTEDT (1995) nach körperlicher Belastung ein Anstieg des SWS-Schlafes festgestellt werden. Hierbei muss allerdings berücksichtigt werden, ob die untersuchten Probanden körperlich fit oder untrainiert sind. Viele Autoren sehen einen Anstieg des SWS-Schlafes nach einmaligem Training am Tage bei fitten, nicht aber bei unfitten Menschen (ADAMSON et al., 1974; GRIFFIN & TRINDER, 1978). HAURI (1968) sieht dagegen keinen Unterschied zu anderen Betätigungen am Abend.

6.3.2.1. Untrainierte Individuen

Bisher konnte keine Studie einen Anstieg des SWS-Schlafes in der folgenden Nacht nach einmaligem Training am Tage bei untrainierten Individuen feststellen. Dies könnte auf den störenden Einfluss des Trainings und den ungewohnten Tagesablauf zurückzuführen sein. Sie haben nach Bewegung einen ruheloseren Schlaf (HAURI, 1969; ADAMSON et al., 1974; HORNE & PORTER, 1975; GRIFFIN & TRINDER, 1978; TRINDER et al., 1982). Dass bisher kein direkter Einfluss von körperlicher Belastung auf den SWS-Schlaf unfitter Individuen nachgewiesen werden konnte, lässt vermuten, dass dieser eher von chronischen Faktoren wie regelmäßigem Training und Körperkonstitution beeinflusst werden, als von täglichen Schwankungen im Aktivitätslevel. Dies unterstützt die Wiederherstellungstheorie, nach der sich die anabole Aktivität des Körpers an langfristigen physiologischen Bedürfnissen orientiert (TRINDER et al., 1982).

6.3.2.2. Trainierte Individuen

Bei trainierten Individuen sind die Angaben unterschiedlicher. Einige Studien sehen einen Anstieg des SWS-Schlafes nach einmaligem Training am Tage bei fitten Individuen (BAEKELAND & LASKY, 1966;

GRIFFIN & TRINDER, 1978). Andere konnten auch bei fitten Individuen keinen längeren SWS-Schlaf nach einmaligem Training in der folgenden Nacht erkennen. TRINDER et al. (1982) konnten darüber hinaus in keiner Schlafvariablen signifikante Unterschiede zwischen Athleten und Nicht-Athleten feststellen. Dass sich bei fitten Probanden, die den Großteil der Testpersonen in diesem Forschungsfeld ausmachen, nur sehr geringfügige Auswirkungen akuten Trainings auf den Schlaf zeigten, könnte vor allem dadurch begründet sein, dass diese lediglich schon nur noch wenig Raum für eine „Verbesserung“ des Schlafes haben (O'CONNOR & YOUNGSTEDT, 1995).

6.4. Einfluss von regelmäßigem Training

Wenige Studien haben sich bisher mit dem Effekt regelmäßigen Trainings auf den Schlaf beschäftigt.

Beim REM-Schlaf führt kontinuierliche sportliche Betätigung zu einer Verkürzung. Dafür erhöht sich der Anteil des Non-REM-Schlafes (UCHIDA et al., 2012). Regelmäßig trainierende, fitte Menschen haben auch an Tagen ohne Sport einen dauerhaft höheren Anteil an SWS-Schlaf als Unfitte (BAEKELAND & LASKY, 1966; HAURI, 1969; GRIFFIN & TRINDER, 1978; TRINDER et al., 1982). Ob dies auf einem durch regelmäßiges Training hervorgerufenen, für mehrere Tage anhaltenden, anabolen Effekt beruht, oder ein genereller Unterschied zwischen fitten und unfitten Individuen ist, ist noch unklar.

6.5. Abhängigkeit vom Alter

TRINDER et al. (1982) untersuchten, ob dieser Unterschied durch dauerhaften Einfluss des Trainings zustande kommt oder noch durch eine Restwirkung der letzten, bereits länger zurückliegenden, Trainingseinheit. Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Anstieg des SWS-Schlafes nach Training in der jüngeren Gruppe (um 22 Jahre), aber keinen in der Älteren. Hierbei scheint es sich um einen langwierigen Unterschied zwischen jungen fitten und unfitten Probanden zu handeln (TRINDER et al., 1982).

Erst seit Neuestem werden auch ältere Probanden in die Versuche miteinbezogen, da vor allem diese an Schlafproblemen leiden (KLINE & YOUNGSTEDT, 2013). Ein Blick auf den aktuellen Forschungsstand zeigt bei älteren Individuen meist keine oder nur eine minimale Verbesserung der Schlafqualität nach regelmäßigem Training (KLINE & YOUNGSTEDT, 2013). Körperliches Training scheint bei älteren Menschen eine enorme Müdigkeit auszulösen, die dann aber nicht in erholsamen und produktiven Schlaf umgewandelt werden kann (TRINDER et al., 1982). Inwiefern ältere Pferde ebenso wie ältere Menschen einen schlechteren Schlaf haben, ist bisher komplett unerforscht.

6.6. Abhängigkeit von der Tageszeit

Auch die Zeit, in der trainiert wird, hat einen Einfluss auf die Effekte von Sport auf den Schlaf. Zeitlich koordinierte nächtliche Trainingseinheiten können massive Phasenverschiebungen des zirkadianen Schrittmachers hervorrufen, die denen von Lichteinwirkung ähnlich sind (VAN REETH et al., 1994). Dies lässt vermuten, dass der Zeitpunkt der Trainingseinheit einen entscheidenden Einfluss auf zirkadian gesteuerte Schlafparameter wie Gesamtschlaf- und REM-Dauer hat (O'CONNOR & YOUNGSTEDT, 1995). So wird empfohlen, 4-6 Stunden vor dem Zu-Bett-gehen keinen Sport mehr zu treiben, da sich dies negativ auf den Schlaf auswirken könnte. Bewiesen wurde diese Hypothese allerdings noch nicht. Im Gegenteil könnte sich spätabendliche Bewegung durch eine verbesserte Gliedmaßendurchblutung und anxiolytisch-antidepressive Effekte sogar positiv auf den Schlaf auswirken. So berichteten Personen nach spätabendlichem Training von schnellerem Einschlafen, tieferem Schlaf und einem besseren Gefühl am Morgen. Diese Aussagen wurden in der Tat auch durch verschiedene Studien belegt, die einen deutlichen Anstieg der SWS-Schlafdauer bei Training zwei Stunden vor dem zu-Bett-gehen bestätigten (KLINE & YOUNGSTEDT, 2013). BAEKELAND & LASKY untersuchten 1966 bei fitten Athleten die zeitliche Abhängigkeit von Veränderungen des Schlafes nach sportlich anspruchsvoller Belastung. Sport am Nachmittag führte zu einem deutlich erhöhten Anteil an SWS-Schlaf. Sport kurz vor dem Zu-Bett-Gehen kann als Stressfaktor den

SWS-Schlaf reduzieren

6.7. Abhängigkeit von der Intensität

Der Grad (leicht, moderat oder extrem), die Art (Ausdauer- oder Krafttraining) und die Dauer der körperlichen Belastung scheinen auch für das körperlich fitte Individuum von unabdingbarer Bedeutung für die Effekte von Sport auf den Schlaf.

Die Art der Bewegungsaktivität bzw. des Trainings hat wohl einen substantiellen Einfluss auf die Schlafarchitektur (TRINDER et al., 1985), den Schlafbeginn und die Dauer des SWS-Schlafes (O'CONNOR & YOUNGSTEDT, 1995). O'CONNOR & YOUNGSTEDT (1995) verglichen vier Gruppen trainierter Individuen, die unterschiedliche Arten von Sport (Grundausdauer im aeroben Bereich, Dauerläufer im anaeroben Bereich, Krafttraining, unfitte Kontrollgruppe) trieben. Auffallend war, dass die im aeroben Bereich trainierenden Grundausdauer-Probanden mehr SWS- und REM-Schlaf, eine längere Gesamtschlafzeit und eine kürzere Einschlafdauer hatten als die Probanden im Krafttraining. Dies widerspricht allerdings der Idee, dass die Menge an (SWS-) Schlaf mit der Gewebserneuerung in Zusammenhang steht (ADAM, 1980; OSWALD, 1980). Athleten im Krafttraining haben erwartungsgemäß kein niedrigeres Bedürfnis nach Wiederherstellung als Ausdauerathleten (TRINDER et al., 1985).

6.8. Veränderungen beim Pferd

Seit den 70er Jahren hat sich der Wissensstand zum Thema Auswirkung von Belastung auf den Organismus des Pferdes deutlich verbessert. Leider bekam der Bereich der pferdetypischen Verhaltensmuster wie zum Beispiel der Schlaf bisher nur wenig Aufmerksamkeit und wenn, dann wurden die Auswirkungen von körperlicher Belastung auf den Schlaf des Pferdes bisher nur mittels Beobachtungen untersucht.

6.8.1. Ruhe- und Schlafdauer

STEINHART (1937) konnte sowohl nach einer Stunde Reiten, als auch nach 10-stündiger schwerer Belastung der Pferde, nur eine geringgradige Erhöhung der Gesamtschlafzeit feststellen. Es zeigte sich auch in der Anzahl der Schlafperioden kein Unterschied (STEINHART, 1937). CAANITZ et al. untersuchten 1991 den Effekt von Laufband-Training auf das Verhalten des Pferdes. Die bewegten Tiere zeigten unmittelbar nach Belastung im Vergleich mit einer nicht-bewegten Kontrollgruppe deutlich weniger Zeit in Ruhe, aber mehr Zeit im Liegen. Nach 2-7 Stunden konnte allerdings keine Veränderungen mehr im Vergleich zur Kontrollgruppe festgestellt werden. Zusammenfassend beeinflusst Bewegung das Verhalten des Pferdes konkreterweise nur bis zu zwei Stunden danach (CAANITZ et al., 1991).

6.8.2. Stress durch Bewegung

Nach SNOW et al. (1979) könnten Pferde auf körperliche Belastung sowohl mit einem gesteigerten Ruhebedürfnis, um den Energieverbrauch zu reduzieren, reagieren, als auch durch eine gesteigerte Aktivität aufgrund der erhöhten Catecholaminausschüttung (SNOW et al., 1979). Laut CAYADO et al. (2006) führt Training bei Pferden als Stressor zu einer vermehrten Cortisolfreisetzung. Andere Forscher konnten nach einer 10-wöchigen Trainingsphase beim Anreiten von Junghengsten allerdings weder eine Erhöhung der basalen Cortisolsekretion, noch einen Cortisolpeak während der Belastung feststellen. Die Pferde reagierten bei vermehrter Belastung oder unter neuen Situationen also nicht mit vermehrtem Stress (SCHMIDT et al., 2009).

6.8.3. Zirkadianer Rhythmus

Bewegung fungiert als ein externer Zeitgeber und hat somit einen Einfluss auf den zirkadianen Rhythmus. Dies unterstützt die Hypothese, dass eine Abstimmung von Trainings- und Wettkampfzeiten zu einer verbesserten Leistung führt (HILL et al., 1989). Das ist zum Beispiel besonders relevant für das Training von Rennpferden, die meist am frühen Morgen trainiert,

ihre volle Leistung im Rennen dann aber am Abend abrufen müssen (MARTIN et al., 2010).

III. MATERIAL UND METHODEN

1. Untersuchte Pferde und deren Haltungsumfeld

Die Untersuchungen zur Schlafdiagnostik für die vorliegende Arbeit wurden an sieben Pferden unter möglichst standardisierten Bedingungen in einem Betrieb im Münchner Nordwesten in den Monaten April-August 2012 durchgeführt.

Bei den untersuchten Tieren handelt es sich um Warmblutwallache- und Stuten unterschiedlichen Alters (8-20 Jahre), die sich alle in regelmäßigem Training in verschiedenen Sparten des Reitsportes (Dressur, Springen oder beides) und ihrem Alter angemessenen Leistungsstand befanden. Alle Tiere waren seit mindestens einem Jahr in diesem Stall und in derselben Box untergebracht, in der die Messungen durchgeführt wurden. Sie waren somit in einem ihnen sehr vertrauten, für sie alltäglichen Haltungsumfeld, in dem die gegebenen Rahmenbedingungen von Tag zu Tag nur wenig differierten. Zudem befanden sich alle untersuchten Pferde seit mindestens einem Jahr im Besitz derselben Person und wurden während der Messperiode nur von deren Besitzern bewegt bzw. geritten.

Tabelle 9: Untersuchte Pferde

Pferd	Geschlecht	Alter	Abstammung	Größe	Farbe	Temperament
1	Wallach	8	Sachse	172	Brauner	aufgeweckt
2	Wallach	19	Bayer	164	Fuchs	ausgeglichen
3	Stute	16	Traber	156	Fuchs	ruhig und gelassen
4	Wallach	19	Pole	176	Rappe	ausgeglichen
5	Wallach	9	Pole	166	Fuchs	aufgeweckt
6	Stute	8	Bayer	158	Brauner	sehr ruhig, schläfrig
7	Wallach	20	Oldenburger	164	Brauner	ruhig und gelassen

Alle Pferde standen im selben Stall in Einzelboxen von 9-12 m² Größe und mit Sicht-, Hör- und Geruchskontakt zu den Artgenossen. Das Stallabteil umfasste insgesamt 24 Pferde und war nicht durch Wände unterteilt. Die Boxen waren vom Boden bis zu einer Höhe von 1,60 m mit Holzbrettern und darüber bis zur Decke mit Eisenstangen getrennt. Drei Seiten jeder

Box grenzten an andere bewohnte Boxen, welche aber keinen Körperkontakt zuließen.

Der Tagesablauf der Pferde wurde für den Versuch standardisiert. Die Pferde wurden jeden Morgen um ca. 6:00 Uhr gefüttert und um ca. 7:30 Uhr auf die Graskoppel gebracht, auf der sie sich den Tag über in Zweiergruppen auf ca. 120 m² frei bewegen konnten. Um 15 Uhr wurden die Pferde zurück in den Stall geholt, wo sie um ca. 16:30 Uhr erneut gefüttert wurden. Ab 23:00 Uhr herrschte Stallruhe.

Die Pferde wurden für die Untersuchungen fünf Tage lang nach einem festgelegten, für alle Pferde identischen, Bewegungsplan trainiert. Am ersten Tag wurden die Tiere über Nacht zur Gewöhnung bereits den Versuchsbedingungen ausgesetzt (Nacht 0). In den folgenden vier Nächten wurden dann die Messungen durchgeführt, wovon die Pferde die ersten zwei Tage nicht trainiert (Ruhemessungen Nacht 1 & 2) und die folgenden beiden Tage körperlich durch Reiten oder Longieren deutlich belastet wurden (Belastungsmessungen Nacht 3 & 4).

Tabelle 10: Standardisierter Trainingsplan

Nacht	Training	Messungs-Nr.
0	Belastung	-
1	Ruhe	1
2	Ruhe	2
3	Belastung	3
4	Belastung	4

Pferd Nr. 7 wurde aus technischen Gründen nur drei Nächte gemessen, eine nach einem Ruhetag und zwei nach Belastung.

Somit ergeben sich insgesamt 27 Messungen, die in die Analyse und Auswertung einfließen.

1.1. Ruhetage

An den Ruhetagen wurden die Pferde außer dem täglichen Weidegang nicht oder nur für kurze Zeit im Schritt bewegt.

1.2. Belastungstage

An den Belastungstagen wurden die Pferde zusätzlich abends zwischen 19 und 21 Uhr für ca. 60 Minuten geritten oder longiert, bis sie stark in der Flanken-, Brust- und Halsgegend schwitzten und eine über mindestens 15 Minuten anhaltende Herzfrequenz von 150 Schlägen pro Minute aufwiesen. Diese wurde in der Belastungsphase alle 10 Minuten auskultatorisch kontrolliert. Ebenso wurde jedes Pferd mindestens 10 Minuten beidhändig am Stück galoppiert und 20 Minuten beidhändig ununterbrochen getrabt. Es ging jeder Belastungsepisode eine zehnminütige Schrittphase zum Aufwärmen voraus und die Pferde wurden erst nach Normalisierung der Atem- und Herzfrequenz wieder in den Stall verbracht. Im Anschluss wurde zeitnah mit dem Anbringen der Elektroden begonnen. Die Aufzeichnungen wurden dann um 22:00 oder 22:30 Uhr gestartet.

2. Verwendete Gerätschaften und Durchführung der EEG-Messungen

2.1. Polysomnograph und technisches Equipment

Bei dem zur Durchführung der Messungen verwendeten Gerät handelte es sich um den tragbaren Polysomnographen "SomnoscreenTM plus" der Firma SOMNOmedics GmbH (D-97236 Randersacker).

Bei dem "SomnoscreenTM plus" handelt es sich um das derzeit kleinste portable PSG-System mit bis zu 33 Kanälen. Das Gerät konnte, dank seines leichten Gewichtes (220 g inkl. Batterie) und seiner handlichen Größe (140 x 70 x 28 mm), einfach mittels speziell angefertigten Gurten und einer Schutzhülle im vorderen Halsbereich der Pferde nahe der Ganaschen fixiert werden.



Abbildung 9: Somnoscreen™ plus

Die Headbox verfügt über 10 EEG/EOG- und einen EEG-Referenzkanal, 2 EMG Referenzielle, 1 EKG Differenziell und einen Impedanzkanal. Des Weiteren bietet der "Somnoscreen™ plus" über Anbringung von bis zu acht internen und bis zu zehn externen Sensoren, wie zum Beispiel EKG-Elektroden, Thermistor (zur Messung des nasalen/oralen Atemflusses), Mikrophon (zur Aufnahme von Schnarchgeräuschen) oder Drucksensor (zur Atemfluss- oder Druckmessung) u.v.a., noch zahlreiche weitere Aufzeichnungsmöglichkeiten für verschiedenste Parameter. Auch ein Anschluss für ein Pulsoximeter sowie ein Lage- und Lichtsensor sind vorhanden. Diese wurden für die durchgeführten Versuche jedoch nicht verwendet und werden deswegen hier nicht weiter ausgeführt. Für die Versuche wurden zehn Ableitungen benutzt, um EEG, EMG und EOG aufzuzeichnen.

Die Datenübertragung erfolgte mit einer Auflösung von 16 Bit und die Daten wurden sowohl temporär auf einer High Speed Kompakt-Flashkarte mit 2 GB Speicherplatz zwischengespeichert, als auch mittels eines an den Somnoscreen angebrachten Funkmoduls (Entfernung von bis zu 100 m möglich) direkt an den für die Versuche benutzten Computer übertragen, auf dem sie dauerhaft gespeichert werden. Zudem wurden drahtlos und synchron die Aufnahmen einer Infrarot-Videokamera übertragen. Bei dem für die Speicherung der Aufnahmen verwendeten PC handelte es sich um ein Notebook der Firma ASUS®, der während der

Messungen dauerhaft ans Stromnetz angeschlossen war, im Notfall aber auch im Akkubetrieb betrieben werden konnte.

2.2. Elektroden und Elektrodenkabel

Für die Messungen wurde von SOMNOmedics eine an die Besonderheiten der EEG-Ableitung beim Pferd angepasste Spezialanfertigung verwendet. Es handelte sich um zehn goldbeschichtete Napfelektroden mit einem kurzen Stiel und einem Durchmesser von 1 cm mit einer kleinen mittigen Öffnung, über die der Napf mit Elektrodenpaste befüllt werden konnte. Jede der Elektroden war über ein 1 m langes, farbspezifisches Kabel, mit der Anschlussbuxe verbunden.

2.3. Vorbereitung der Messungen

Die Pferde wurden einen Tag vor der ersten Messung an den entsprechenden Stellen rasiert und die Stellen mit Bepanthen® Wund- und Heilsalbe eingerieben, um eventuelle Reizungen durch die Rasur zu lindern.

Zur Gewöhnung wurde bereits am Tag vorher die Infrarot-Kamera im Stall installiert sowie eine dem Polysomnographen in Gewicht und Größe ähnliche Atrappe im kranialen Halsbereich fixiert und über Nacht am Pferd belassen. Auch wurden die Pferde bereits eine Nacht vor Beginn der Messungen mit einem Sleezy® der Firma Krämer eingedeckt, um einen sicheren Sitz der Gerätschaften zu gewährleisten. Hierbei handelt es sich um eine vor allem im Westernpferdebereich benutzte Halbdecke, die über Kopf, Hals und Schultern bis zum Widerrist reicht und hinter Widerrist und Ellbogen des Pferdes mit einem elastischen Bauchgurt fixiert wird. Der Sleezy besteht aus 80% Polyester und 20% Elasthan und liegt dadurch hauteng an.

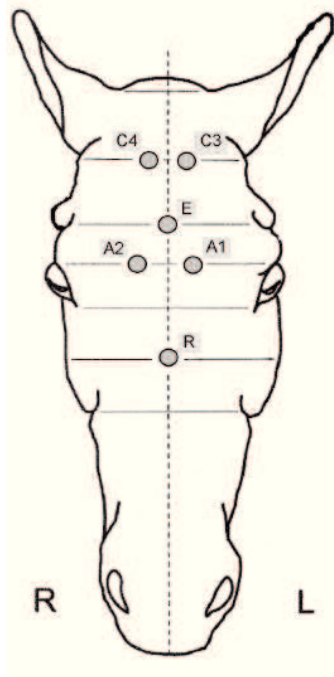
Zudem wurden alle Pferde am Tag vor der ersten Messung eingehend klinisch untersucht und es wurden keinerlei Besonderheiten festgestellt.

2.4. Durchführung der Messungen

Die Messungen wurden in der dem jeweiligen Pferd vertrauten Box durchgeführt, in der es sich seit mindestens einem Jahr ununterbrochen befand.

Um 21:00 Uhr wurde mit dem Anbringen der Elektroden begonnen. Vor jeder Messung wurden die rasierten Stellen mit NuPREP™ EEG Skin Prepping Gel behandelt, um durch Entfernung von Schmutz und Entfettung die Klebekraft und Leitfähigkeit zu verbessern. Anschließend wurden die Elektroden mittels EC2® Genuine Grass Electrode Cream, einer speziell für die Applikation von EEG-Elektroden hergestellten Creme, direkt auf die gereinigte Haut geklebt. Zur besseren Fixation wurde der Rand des Napfes dünn mit dem Sekundenkleber UHU Superflex Gel® bestrichen und zudem ein Tropfen auf den Stiel der Elektroden gegeben. Der spezielle Sekundenkleber erlaubt auch nach Aufeinandertreffen der Klebeflächen noch kurzzeitig eine Korrektur der Position, wodurch etwaige Abweichungen von der angestrebten Position korrigiert werden können. Dank des Sekundenklebers konnte die EC2® Paste aushärten, ohne dass die Elektrode manuell am Pferdekopf fixiert werden musste. Die extra langen, flexiblen und farblich unterschiedlichen Elektrodenkabel wurden über das Genick des Pferdes zusammenlaufend mittels Klebeband am Schopf fixiert und an den im kranialen Halsbereich angegurteten "Somnoscreen™ plus" angesteckt.

Die Elektroden wurden nach folgendem Lokalisationsschema am Pferdekopf angebracht:



Ableitung	Kabel- farbe	Lokalisation
E	orange	auf der Mittellinie des Os frontale, in Höhe des aboralen Randes des Jochbeinbogens
R	violett	auf der Mittellinie des Os nasale, in Höhe der Mitte der Crista facialis
C4	grau	3 cm rechts der Mittellinie des Os frontale, in Höhe der Ohrbasis
C3	beige	3 cm links der Mittellinie des Os frontale, in Höhe der Ohrbasis
A2	blau	3 cm rechts der Mittellinie des Os frontale, in Höhe des lateralen Augenwinkels
A1	rot	3 cm links der Mittellinie des Os frontale, in Höhe des lateralen Augenwinkels
EMG	weiß bzw. braun	links und rechts auf dem M. mentalis 3-4 cm oral des ersten Backenzahns (P2)
EOG L	grün	3 cm lateral des linken lateralen Augenwinkels
EOG R	gelb	3 cm lateral des rechten lateralen Augenwinkels

Abbildung 10: Lokalisationsschema der Elektroden
(nach GÜNTNER, 2010)

Nach Anschalten des Gerätes wurden die korrekte Signalübertragung, sowie eventuelle Fehlpositionen der Elektroden, mittels Impedanzkontrolle am Laptop geprüft. Zudem wurde die Kamera angeschaltet und so eingerichtet, dass möglichst die komplette Box im Aufnahmebereich lag. Die Synchronität des Videobildes wurde ebenfalls am Laptop überprüft. Die Pferde wurden abschließend, um den Sitz der Elektroden über Nacht zu fixieren und ein Hängenbleiben des Pferdes in den Elektrodenkabeln zu vermeiden, mit dem Slezzy® eingedeckt.

Start der Messungen war um 22:00 oder 22:30 Uhr. Die Pferde konnten sich während den Aufzeichnungen die ganze Nacht frei in der Box bewegen und bekamen noch eine Belohnung und etwas Stroh. Vor der Morgenfütterung um 5:45 Uhr wurden die Pferde ausgedeckt, entkabelt und der Polysomnograph abgebaut.

3. Auswertung der EEG-Messungen

3.1. Analysesoftware

Zur Analyse der Daten wurde die spezielle Polysomnographiesoftware DOMINO® verwendet. Diese Auswertungs- und Analysesoftware ermöglicht direkt nach dem Datentransfer eine komplette automatische Auswertung, zu der das aufgezeichnete Video nach Belieben synchronisiert werden kann. Ein sofortiges Editieren der Ergebnisse sowie ein Exportieren auf einen externen Datenträger ist ebenfalls problemlos möglich. Durch Drucken eines Reports bekommt man alle wesentlichen Eckdaten in komprimierter Form auf einer DIN-A4 Seite graphisch und tabellarisch dargestellt. Zudem lassen sich manuell Marker für bestimmte Vorkommnisse (z.B.: Zuckungen, Strecken etc.) setzen und Bereiche über einen längeren Zeitraum zum späteren ausführlicheren Bearbeiten markieren.

3.2. Manuelles Editieren der Messungen

Der für die polysomnographischen Aufzeichnungen verwendete „Somnoscreen™“ plus ist für den Einsatz beim Menschen konzipiert und teilt den eingehenden Signalen alle 250 mS automatisch eine Schlafphase (W=Wach, Schlafstadium 1-4, REM-Phase oder M=Movement) zu. Diese automatische Zuordnung erfolgt in drei Sicherheitskategorien (70-100 %, 40-70 % und <40 %), je nachdem wieviele der gemessenen Parameter mit den der jeweiligen Phase zugrundeliegenden Kriterien übereinstimmen.

Um nicht Messabschnitte mit niedrigen Sicherheiten aus der Auswertung ausschließen zu müssen und um in allen Abschnitten die korrekte Zuordnung der Stadien nach den beim Pferd definierten und den Auswertungen zugrundeliegenden Kriterien zu gewährleisten, wurden alle Messungen komplett manuell editiert und auf die automatische Analyse komplett verzichtet. Hierfür wurde jedem 30-Sekunden-Intervall eine Wach- bzw. Schlafphase zugeordnet und synchron dazu die Körperlage anhand des Videos editiert.

Konnte anhand der Rohdaten keine eindeutige Zuteilung eines Schlafstadiums mehr erfolgen, weil die Artefaktdichte (meist aufgrund

einer oder mehrerer loser Elektrode) zu groß war, wurde die Messung nur bis zu diesem Zeitpunkt editiert und in die statistische Auswertung einbezogen. Alle vier Messungen eines Pferdes wurden dann auf die Dauer der kürzesten verwertbaren Messung dieses Tieres zugeschnitten. So ist ein korrektes intraindividuelles Vergleichen dank zeitgleicher und gleichlanger Messzeiträume möglich. Die ausgewertete Messdauer variiert daher zwar interindividuell zwischen 5 und 7,5 Stunden, die Genauigkeit für das einzelne Tier konnte aber enorm verbessert werden.

Tabelle 11: Messzeitraum und -dauer

Pferd	Messzeitraum	Messdauer (h)	Gesamtmessdauer in vier Nächten (min)
1	22:30-3:30h	5	1200
2	22:30-4:30h	6	1440
3	22:30-5:30h	7	1680
4	22:00-5:30h	7,5	1800
5	22:30-5:30h	7	1680
6	22:30-5:30h	7	1680
7	22:30-5:00h	6,5	1170

Insgesamt wurden 10.650 Minuten Messdauer ausgewertet.

3.2.1. Schlafphasen

Auf die der Auswertung zugrundegelegten Schlafphasen wird im Ergebnisteil näher eingegangen.

3.2.2. Körperlage

Bei der Bestimmung der Körperlage anhand der Videoaufzeichnungen wurde zwischen Aufrecht (stehend), Brustlage und kompletter Seitenlage (mit komplett abgelegtem Kopf) unterschieden.

3.2.3. Statistische Methoden

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine Studie mit vornehmlich explorativem Charakter, daher wurden vor allem Methoden der deskriptiven Statistik verwendet.

Für die statistischen Berechnungen sowie für die Erstellung der Grafiken wurden MS Excel 2010 für Microsoft Windows und IBM SPSS Statistics 19 verwendet. Als Hypothesentest wurde der T-Test und zur Überprüfung von Signifikanzen der Mann-Whitney-Test, für die Untersuchung auf Gleichheit der Äquivalenztest nach Prof. Dr. phil. nat. Berthold Schneider vom Institut für Biometrie der Medizinischen Hochschule Hannover verwendet. Zur Überprüfung des gehäuften Auftretens von Parametern in bestimmten Zeiträumen wurde der Binomial-Test, für Mehrfachvergleiche die Adjustierung nach Bonferroni-Holm angewandt.

Die Betreuung der statistischen Auswertungen wurde von Herrn PD Dr. med. vet. Sven Reese vom Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie des Veterinärwissenschaftlichen Departements der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München übernommen.

IV. ERGEBNISSE

1. Zugrundeliegende Schlafstadien

Die manuelle Analyse der vom „Somnoscreen™ plus“ aufgezeichneten Daten erfolgte auf Basis der der EEG-Auswertung beim Menschen zugrunde liegenden Kriterien von RECHTSCHAFFEN & KALES 1968 und deren Neuerungen durch IBER 2007 sowie den Beobachtungen beim Pferd von LEWIN 1998, WILLIAMS et al. 2008 und GÜNTNER 2010 (s. Kapitel 1.4. Einteilung der Schlafstadien). Zur Klassifizierung der Schlafstadien beim Pferd wurden die Ergebnisse obiger Autoren und die eigenen Beobachtungen zusammengefasst und modifiziert.

Beim Menschen wird der Non-REM-Schlaf klassisch in die Stadien 1 bis 4 unterteilt, wovon die Stadien 3 und 4 zum SWS-Schlaf zusammengefasst werden (KEENAN et al., 2013b). Diese Einteilung ist allerdings nicht für alle Säugetiere möglich (LIMA et al., 2005). So ist beim Pferd eine Einteilung analog der des Menschen theoretisch in gewissem Maße wohl möglich, aber nicht immer einfach (s. auch ALEMAN et al., 2008; WILLIAMS et al., 2008 und GÜNTNER, 2010). Die Unterscheidung der Schlafphasen 1 und 2 sowie auch teilweise die der Phasen 3 und 4 konnte nicht in jedem 30-Sekunden-Intervall der zugrundeliegenden EEG-Messungen sicher vorgenommen werden und erschwerte die manuelle Auswertung dadurch enorm. Oft ließ sich gerade in Übergangsphasen der in einem 30-Sekunden-Intervall überwiegende Anteil der EEG-Wellen nicht sicher zuordnen. Bisher gibt es außer der Unterteilung in SWS- und REM-Schlaf keine Hinweise für eine medizinisch-klinische Relevanz oder andere Indikationen für die Notwendigkeit der Unterteilung des Non-REM-Schlafes in die Phasen 1-4. Auch die American Academy of Sleep Medicine fasst in ihrer Überarbeitung der Richtlinien von RECHTSCHAFFEN & KALES (1968) die Phasen 3 und 4 zum Stadium N3 zusammen (IBER et al., 2007) (s. Kapitel 1.4. Einteilung der Schlafstadien).

In den vorliegenden Ergebnissen werden daher die Stadien 1 und 2 übergeordnet als Leichtschlafphase (LS) bezeichnet, Stadium 3 und 4

werden als SWS-Schlaf zusammengefasst. Auch wurden die vom Polysomnographen in der automatischen Analyse als M=Movement bezeichneten Abschnitte analog IBER et al. (2007) eliminiert und anhand der Videoaufzeichnungen dem Wachzustand oder einem Schlstadium zugeordnet. So wird die Einteilung des Schlafes der funktionalen Kategorisierung in SWS- und REM-Schlaf gerecht und gleichzeitig durch nur vier Wachsamkeits- bzw. Schlafzuständen deutlich vereinfacht. Den folgenden Ergebnissen liegen also die vier Stadien W=Wachzustand, LS=Leichtschlaf, SWS=SWS-Schlaf, und REM=REM-Schlaf zugrunde. Auf die Charakteristik dieser 4 Phasen wird im Folgenden näher eingegangen.

1.1. Wachzustand

Die Wachphase kann im EEG sehr unterschiedliche Erscheinungsbilder haben. Abhängig vom Aktivitätslevel des Pferdes (z.B. Bewegung, Fressen, Kopfschütteln o.ä.) kann ein breites Frequenzspektrum mit sowohl hoch- als auch niedrigfrequenten, meist gemischtfrequenten (α - θ -Frequenzen, s. hierzu auch Tab. 5: EEG-Frequenzen beim Pferd) Aktivitäten mit verschiedenen hohen Amplituden (auch kurzfristig deutlich $>75 \mu\text{V}$), auftreten. EOG und EMG zeigen dementsprechend ebenfalls eine unregelmäßige Aktivität. Kaubewegungen des Pferdes zeigen sich im EEG und EMG deutlich anhand einer hochfrequenten, hochgespannten Ableitung. Im EOG zeigen sich je nach Aufmerksamkeitsstadium des Pferdes langsame bis schnelle Augenbewegungen. Plötzliches Kopfschütteln oder hektische Bewegungen des Pferdes können zu Artefaktbereichen führen, da die Bewegungen die Ableitungen überlagern. Diese Bereiche sind aber anhand der Videoaufzeichnungen zweifelsfrei zu identifizieren.

Im entspannten Wachzustand, z.B. beim Schildern, zeigten die Pferde ein niederamplitudiges ($<40 \mu\text{V}$) EEG mit gemischter α -, γ -, und zum Teil auch β -Aktivität. Eine deutliche Grundaktivität wie der α -Rhythmus beim Menschen konnte nicht nachgewiesen werden. Das EMG zeigt, im Vergleich mit der REM-Phase, die höchste Frequenz und Amplitude.

1.2. REM-Phase

Das EEG in der REM-Phase weist eine unregelmäßige, gemischtfrequente Aktivität mit niedriger Amplitude auf, die dem EEG des Wachzustandes und der Leichtschlafphase (oft gemischte α - und β -Aktivität) oft sehr ähnlich ist. Wie beim Menschen treten häufig sog. „Sägezahnwellen“ im θ -Rhythmus auf, die nach ihrem Erscheinungsbild (wie die Zähne einer Säge) benannt sind. Im EOG finden sich die für diese Phasen deutlichen Rapid-Eye-Movements (REMs), die im EEG meist mit Phasen hoher Amplitude konjugiert sind. REMs traten in den meisten, aber nicht in allen 30-Sekunden-Intervallen auf. Der sehr niedrige Muskeltonus in dieser Phase ist im EMG durch die niedrigste gemessene Amplitude gekennzeichnet.

Das Pferd befindet sich im REM-Schlaf entweder in Brustlage mit aufgestütztem Kopf, oder in kompletter Seitenlage mit mehr oder weniger langgestreckten Extremitäten. Bei fast allen Pferden traten, analog zum Menschen, trotz dieser kompletten körperlichen Relaxation, Zuckungen der Gliedmaßen auf, die zum Teil sehr heftig bis hin zu richtigem „Ausschlagen“ ausfielen. Die Tiere zeigten dabei teilweise sehr kurze „Wachreaktionen“ wie Kopfhoben und Schweifschlagen von immer nur wenigen Sekunden Dauer. Diese Zuckungen traten bei jedem Pferd und fast in jeder REM-Phase auf, die länger dauerte als 1,5 Minuten. Selten lagen die Pferde in längeren REM-Phasen komplett bewegungslos. Nie waren die Bewegungen allerdings langsam und kontrolliert, sondern erschienen immer eher wie spontane „Muskelentladungen“. Teilweise gingen die Pferde während des kompletten Ablegens aus der Brustlage von der Leicht- oder SWS-Schlafphase in die REM-Phase über. Dieses komplette „Ablegen“ war allerdings mehr ein Abrutschen in die komplette Seitenlage, als ein willentlich beeinflusstes, aktives Ablegen. Dies könnte mit dem steigenden Verlust des Muskeltonus zusammenhängen. Auffallend war, dass der Übergang zur REM-Phase des Öfteren auch aus dem Wachzustand direkt und relativ schnell nach dem Ablegen oder einer mehr oder weniger langen SWS-Periode stattfand.

Der REM-Schlaf wurde, trotz der den Equiden eigenen „Spannsägenkonstruktion“ und der Beobachtung anderer Autoren nur

während des Liegens beobachtet. Im Stehen wurde zwar ein Abflachen des EEG aus dem SWS-Schlaf in Verbindung mit einem Absenken des Kopfes und offensichtlich einem Übergang in einen tieferen Schlaf mit stärkerer Muskelrelaxation beobachtet, diese Phasen waren aber immer nur von 5-10 Sekunden Dauer, so dass sie nicht als REM-Phase gewertet wurden. Nie gingen die Tiere aus dieser Phase dann auch wirklich vollends in den REM-Schlaf über. Zudem war das EMG nie so flach und charakteristisch wie in den eindeutigen REM-Phasen im Liegen und es traten im Stehen nie eindeutige REMs auf. Aus diesem „Übergangszustand“ schreckten die Pferde zumeist auf, bevor der Übergang in die REM-Phase vollzogen war. Selten gingen sie regungslos in eine andere Schlafphase über. Daraufhin dehnten und streckten sie sich häufig deutlich und ausgiebig und gingen dann entweder rasch wieder in den SWS-Schlaf über oder wachten komplett auf und es folgten verschiedene Aktivitäten wie Fressen und Trinken.

1.3. SWS-Schlaf

Die Ableitung im SWS-Schlaf ist beim Pferd, wie auch beim Menschen, eindeutig durch einen hohen Anteil von niedrigfrequenten δ -Wellen (mind. 20 %) zu identifizieren. Diese weisen in der Regel eine hohe Amplitude von über 75 μ V auf, können aber auch deutlich über 100-150 μ V liegen. In einzelnen Fällen treten in Übergangszuständen geringe Anteile von θ -Wellen auf. Schlafspindeln können selten, K-Komplexe häufiger beobachtet werden. Die Augen sind meist geschlossen, selten halboffen, das EOG zeigt meist eine mittlere bis geringe Aktivität mit langsamen Augenbewegungen. Das EMG verläuft regelmäßig mit mittlerer bis niedriger Spannung.

SWS-Schlaf kann sowohl im Stehen als auch im Liegen auftreten und ist weder an ein Liegen des Pferdes noch an eine komplette Bewegungslosigkeit gekoppelt. Anhand der Videoaufzeichnungen konnte eine im Stehen oftmals tiefe, teils waagrechte, relaxierte Kopf-Hals-Haltung beobachtet werden. Im Liegen wurde der Kopf oft aufgestützt oder seitlich an den Körper angezogen. Neben einem leichten Schwanken und Ausbalancieren im Stehen war interessant, dass einige Pferde im

Stehen aus dieser Phase immer wieder mit einem charakteristischen, eindeutig zuzuordnenden, mehrfach wiederholten Bewegungsmuster aufwachen (s. Abb. 13c). Die zumeist mit einem Hinterbein ruhenden Pferde, mit entspannt tiefer Kopf-Hals-Haltung, nahmen den Kopf langsam an der Brust entlang nach oben und streckten ihn dann nach hinten oben bis zu einer vollständigen Streckung der Vorderbeine. Im Anschluss konnte häufig Kauen oder Kopfschütteln beobachtet werden, worauf entweder ein sofortiges Wiedereinschlafen innerhalb des nächsten 30-Sekunden-Abschnittes oder ein komplettes Aufwachen mit anschließender Bewegungstätigkeit, folgte.

1.4. Leichtschlaf

In der sogenannten Leichtschlafphase ist im EEG eine unregelmäßige und gemischtfrequente Aktivität mit gelegentlichen K-Komplexen und Schlafspindeln bei allgemein sehr niedriger Amplitude erkennbar. Einige Pferde zeigen diese zwei, für die Non-REM-Phase typischen, Wellenmuster nur sehr selten. Zum Teil traten Sie aber auch vermehrt im Übergang zur Tiefschlafphase und zum Wachzustand auf. Es traten keine, oder nur sehr kurze (bis zu 5 Sekunden) Abschnitte von δ -Aktivität auf.

Das EOG zeigt in der Regel kleine, gleichmäßig rollende Augenbewegungen. Teilweise wird aber auch ein kompletter Stillstand oder heftigere Bewegungen beobachtet. Das EMG zeigt einen wechselnden Tonus bei schwankender Amplitudenhöhe und befindet sich im Vergleich zum REM-Schlaf eher im höhergespannten Bereich.

Die folgenden Abbildungen (11a-14c) zeigen Beispiele für die EEG-Aufzeichnungen in den verschiedenen Schlafstadien anhand jeweils charakteristischer Ableitungsmuster.

(y-Achse von oben nach unten: EOG R = Ableitung des rechten Auges, EOG L = Ableitung des linken Auges, C4 = Ableitung der C4-Elektrode, C3 = Ableitung der C3-Elektrode, Darstellung eines 30-Sekundenabschnitt, unterste Zeile: angewählte Ableitung, Datum, Uhrzeit und ausgewählter Abschnitt; x-Achse: Wach- oder Schlafphase des angewählten 30-Sekunden-Intervalls, Uhrzeit)



Abbildung 11a: Entspannter Wachzustand im Stehen
(Pferd 1, Nacht 4)



Abbildung 11b: Entspannter Wachzustand in Seitenlage
(Pferd 7, Nacht 3)

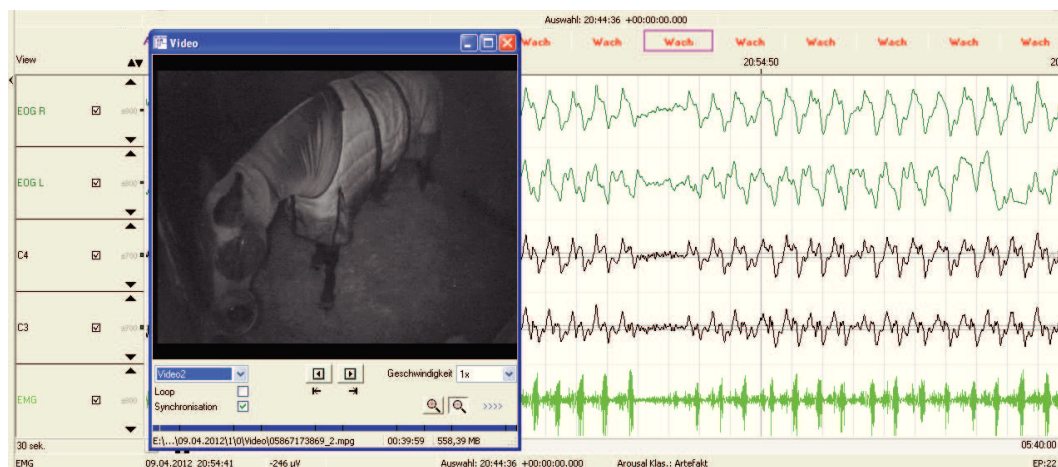


Abbildung 11c: Aktiver Wachzustand
(Pferd 7, Nacht 3)
Trinken mit deutlichen EEG-Schwankungen durch die Muskelan- und entspannung



Abbildung 12a: REM-Schlaf in Brustlage mit aufgestütztem Kopf
(Pferd 6, Nacht 4)
Deutliche konjugierte Augenbewegungen im EOG

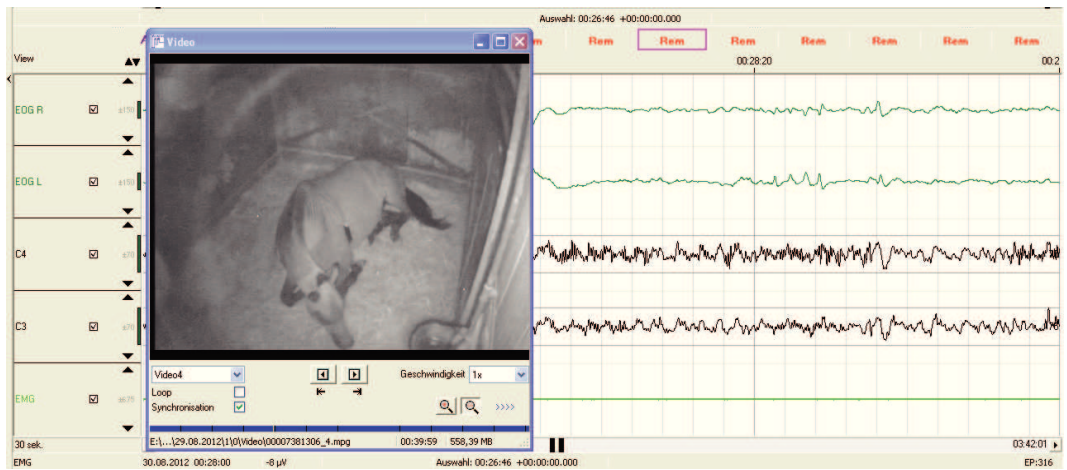


Abbildung 12b: REM-Schlaf in Brustlage mit aufgestütztem Kopf
(Pferd 1, Nacht 4)
Phase ohne REMs

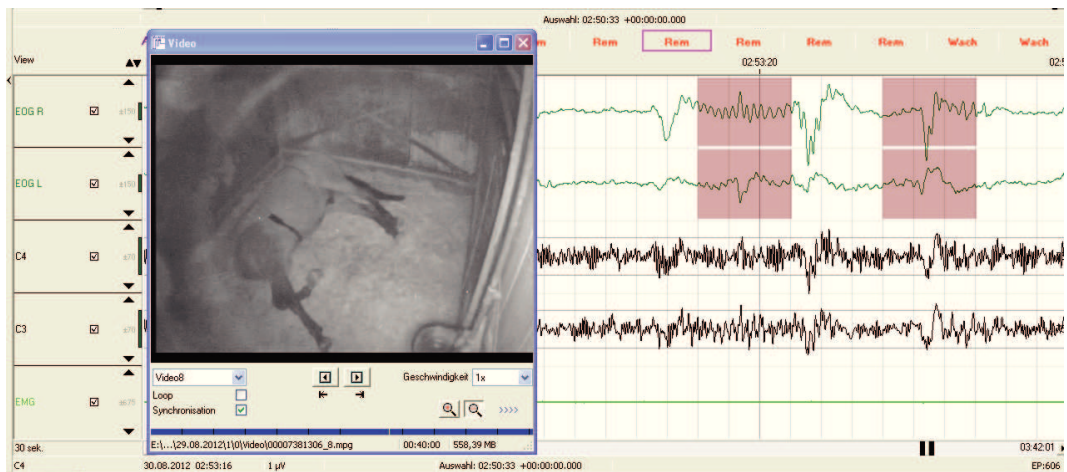


Abbildung 12c: REM-Schlaf in Seitenlage
(Pferd 1, Nacht 4)

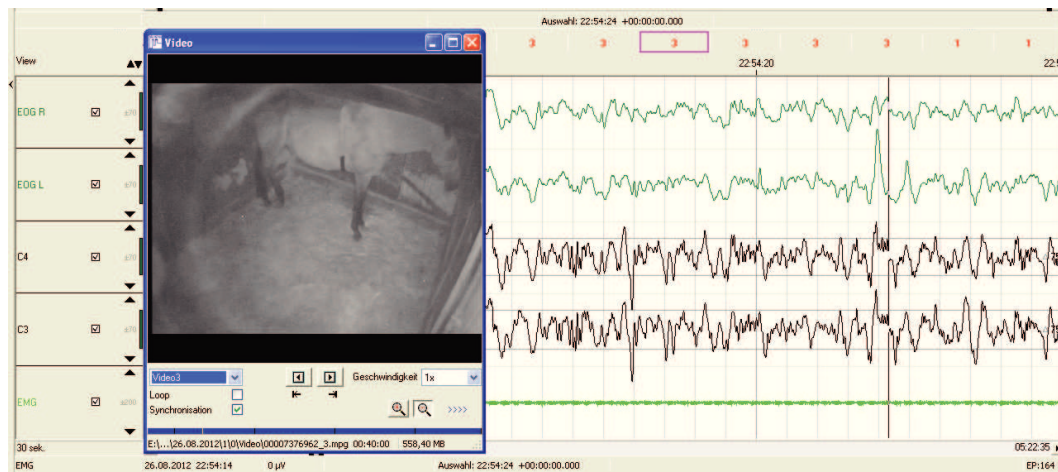


Abbildung 13a: SWS-Schlaf im Stehen
(Pferd 1, Nacht 3)

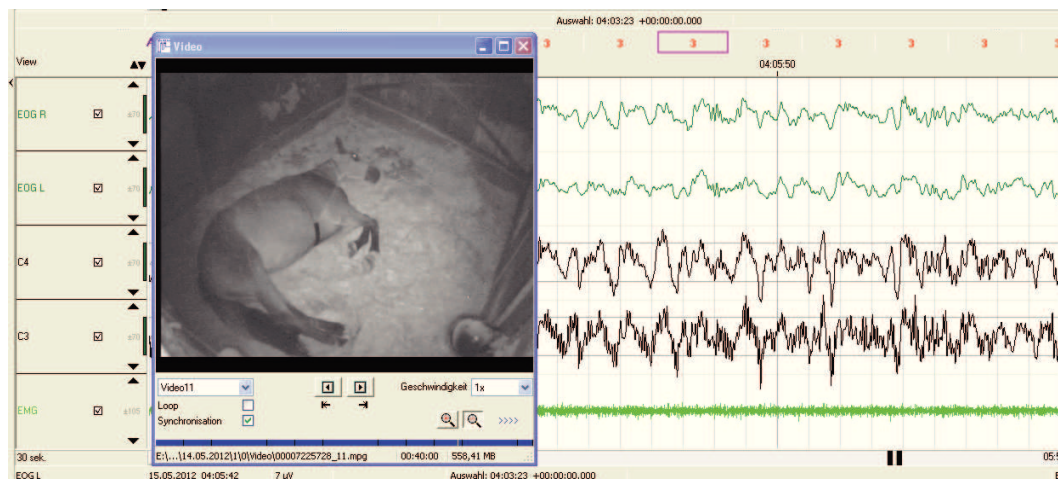


Abbildung 13b: SWS-Schlaf im Liegen mit offenen Augen
(Pferd 6, Nacht 3)

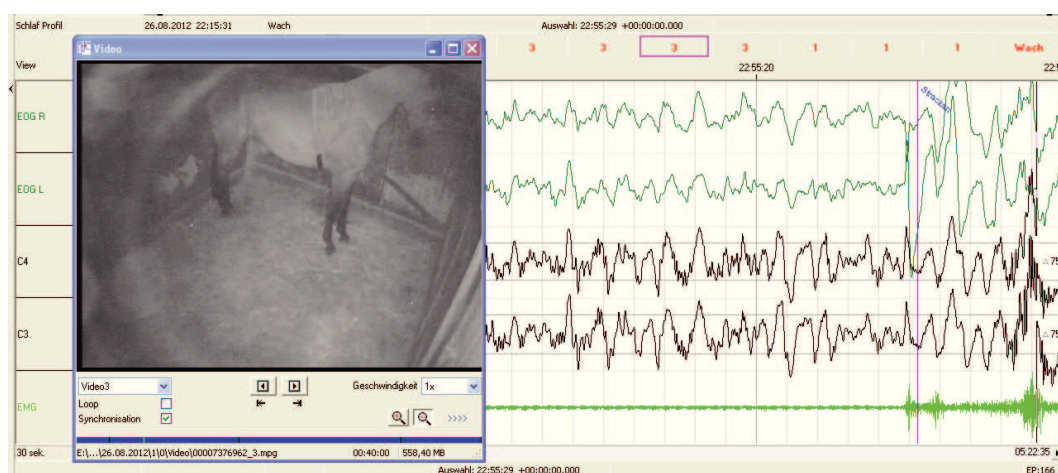


Abbildung 13c: Aufwachen aus dem SWS-Schlaf mit charakteristischer Streckung
(Pferd 1, Nacht 3)



Abbildung 14a: Leichtschlaf im Stehen
(Pferd 1, Nacht 1)



Abbildung 14b: Leichtschlaf im Liegen mit angezogenen Gliedmaßen
(Pferd 1, Nacht 3)



Abbildung 14c: Leichtschlaf im Liegen mit weggestreckten Gliedmaßen
(Pferd 2, Nacht 2)

2. Schlafarchitektur

Vorab muss erwähnt werden, dass bei der Auswertung der Analysedaten keine Hinweise festgestellt werden konnten, die die Annahme von grundlegenden Unterschieden im Schlafverhalten nach Ruhe und nach Belastung rechtfertigten. Daher wurden bei der Bestimmung aller folgenden Parameter wie Gesamtschlafzeit, Dauer und Anteile der einzelnen Schlafstadien, sowie deren Abhängigkeit von der Körperlage, alle Messungen jedes Pferdes einbezogen. Die Darstellung ist jeweils in inter- und intraindividuelle Unterschiede und Besonderheiten gegliedert. Auf die minimalen Unterschiede zwischen Ruhe und Belastung in einzelnen Parametern wird am Ende kurz eingegangen.

Die nächtliche Beobachtungs- und Messdauer war für alle vier Nächte eines Pferdes gleich und betrug zwischen 5 (Pferd 1) und 7,5 Stunden (Pferd 4) mit einem Median von 7 Stunden und einem Mittelwert von 394,4 Minuten.

2.1. Gesamtschlafzeit

Tabelle 12 gibt einen Überblick über nächtliche und mittlere Gesamtschlafzeiten aller Pferde sowie deren prozentualen Anteil an der Messdauer. Nächtliche Daten sind die, die in einer Nacht gewonnen wurden (n=1 Nacht eines Pferdes), mittlere Werte eines Pferdes errechnen sich aus den Daten aller gemessenen Nächte (n=4 oder, bei Pferd 7, 3 Nächte eines Pferdes)

Tabelle 12: Nächtliche und mittlere Gesamtschlafzeiten aller Pferde und deren prozentualer Anteil an der Messdauer (SEM=Standard Error of Means)

Pferd	Zeitraum	Messdauer (h)	Nacht	Gesamtschlafzeit (min)	Anteil an der Messdauer (%)
1	22:30-3:30h	5	1	149	49,7
			2	121	40,3
			3	121	40,3
			4	171	57,0
			MW	140,5	46,8
2	22:30-4:30h	6	1	135	37,5
			2	168	46,7
			3	158	43,9
			4	117	32,5
			MW	144,5	40,1
3	22:30-5:30h	7	1	237	56,4
			2	224	53,3
			3	242	57,6
			4	212	50,5
			MW	228,8	54,5
4	22:00-5:30h	7,5	1	218	48,4
			2	207	46,0
			3	267	59,3
			4	268	59,6
			MW	240,0	53,3
5	22:30-5:30h	7	1	187	44,5
			2	224	53,3
			3	275	65,5
			4	221	52,6
			MW	226,8	54,0
6	22:00- 5:30h	7	1	244	58,1
			2	224	53,3
			3	213	50,7
			4	249	59,3
			MW	232,5	55,4
7	22:30-5:00h	6,5	1	223	57,2
			3	184	47,2
			4	224	57,4
			MW	210,3	53,9
Mittelwert (n=27 Nächte, 7 Pferde)				203,0	51,0
Median				218,0	52,6
SEM				8,9	1,5
Standardabweichung				46,5	7,8
Minimum				117,0	32,5
Maximum				275,0	65,5

2.1.1. Interindividuelle Unterschiede

Die Gesamtschlafzeit der untersuchten Pferde betrug im Mittel $203 \pm 46,5$ Minuten (ca. 3,4 Stunden) bei Extremwerten von 117-275 min/Nacht, einem Median von 218 Minuten/Nacht und einem Variationskoeffizienten von 21,4 %. Damit waren die Tiere im Mittel 49 % der Messdauer wach, 51 % schliefen sie (Variationskoeffizient 15,3 %). Bezogen auf die Messdauer nahm der Schlaf zwischen 32,5 % und 65,5 % der nächtlichen Beobachtungsdauer ein (n=27 Nächte, 7 Pferde).

Die Abbildungen 15 und 16 vergleichen die mittleren Gesamtschlafzeiten der Pferde sowie deren prozentualen Anteil an der Messdauer miteinander.

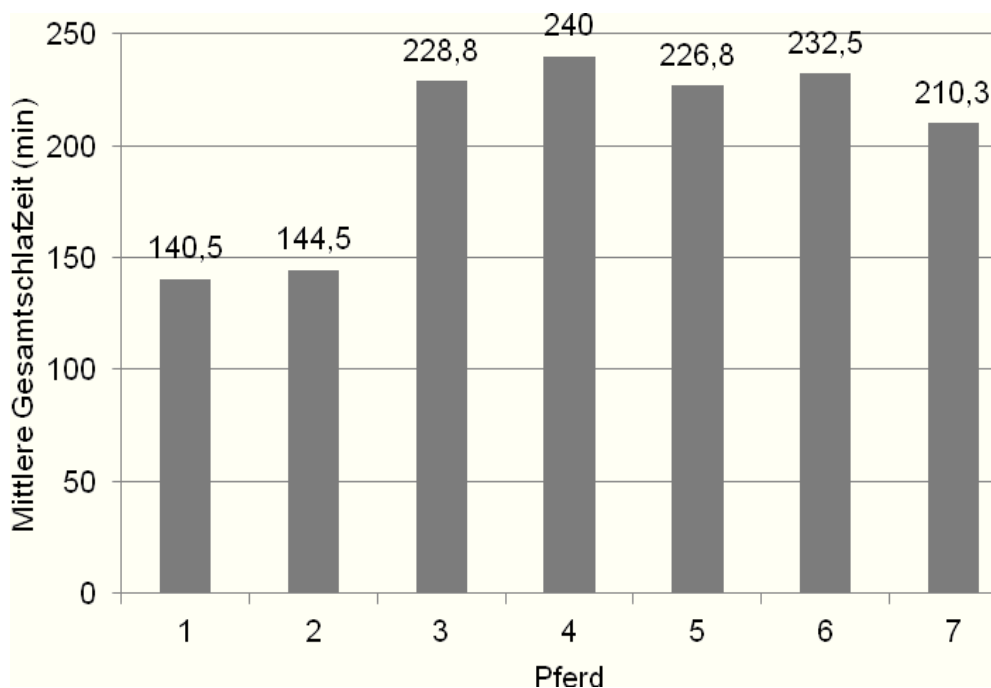


Abbildung 15: Mittlere Gesamtschlafzeit aller Pferde (in Minuten) (n=4)

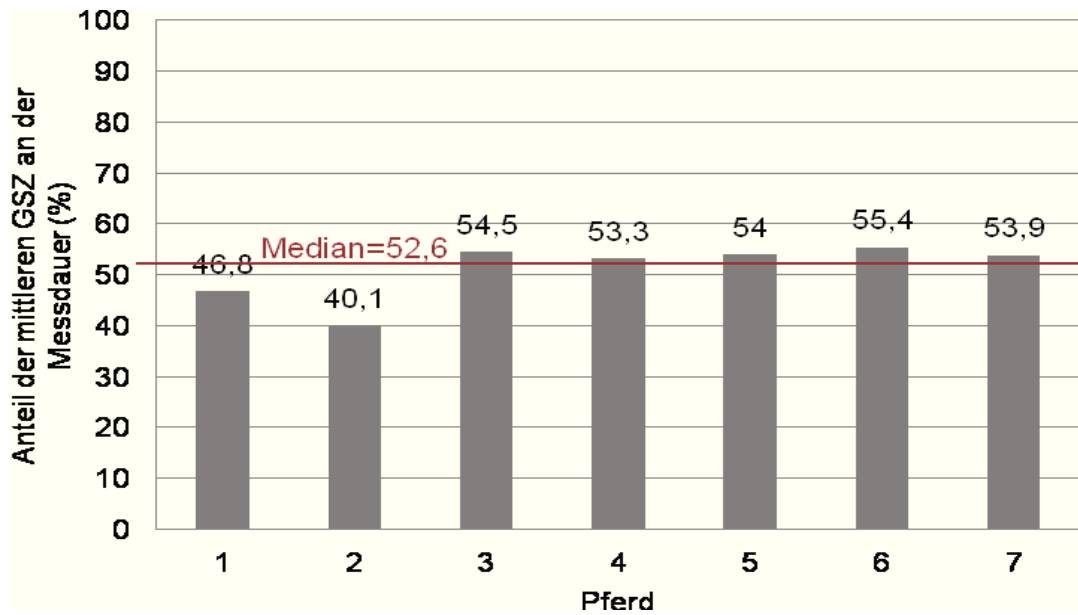


Abbildung 16: Prozentualer Anteil der mittleren Gesamtschlafzeit an der Messdauer (GSZ=Gesamtschlafzeit)

Es fällt zuerst ins Auge, dass die Gesamtschlafdauer deutlich mit der Messdauer korreliert. Pferde 1 und 2 hatten mit den kürzesten Messdauern auch die kürzesten mittleren Gesamtschlafzeiten, Pferd 4 hatte mit der längsten Messdauer auch die längste mittlere Gesamtschlafzeit. Die Pferde mit einer Messdauer von 7 Stunden (Pferd 3, 5 und 6) zeigten sehr ähnliche, fast identische, mittlere Gesamtschlafzeiten. Anteilig an der Messdauer schliefen die Pferde zudem im Mittel deutlich ähnlicher, nämlich zwischen 40,1 % und 55,4 % mit einem SEM von nur 1,5 (n=7 Pferde).

Betrachtet man nur die Pferde mit einer Messdauer von 6,5-7,5 Stunden (Pferde 3 bis 7), betrug die Gesamtschlafzeit im Mittel 228,6 min/Nacht (3,8 Stunden) bei einem Variationskoeffizienten von nur 4,8 % und bei deutlich näher beieinander liegenden Minimal- und Maximalwerten von 187 und 275 Minuten/Nacht. Damit waren die fünf länger gemessenen Tiere im Mittel 45,8 % der Messdauer wach, 54,2 % schliefen sie (Variationskoeffizient 1,5%). Bezogen auf die Messdauer nahm der Schlaf mit 44,5-65,5 % der nächtlichen Beobachtungsdauer einen wesentlich ähnlicheren Teil des Beobachtungszeitraumes ein (n=5 Pferde), als bei Betrachtung aller Pferde.

Zur Beschreibung des Schlafverhaltens des Pferdes ist somit der prozentuale Anteil der Parameter an der Messdauer besser geeignet, als die in Minuten gemessenen Zeiten. Um den Einfluss der unterschiedlichen Messdauer zu eliminieren, werden im Folgenden daher nur noch die relativen Daten betrachtet.

2.1.2. Intraindividuelle Unterschiede

Betrachtet man die Messungen nur eines Pferdes, fallen intraindividuell wesentlich geringere Unterschiede auf, als interindividuell (s. Abb. 18).

Pferd 3 zeigte mit einer Gesamtschlafzeit von 212-242 min/Nacht und einem Variationskoeffizienten von nur 5,9 % eine sehr geringe Streuung und schlief alle vier Nächte fast gleich lang. Die stärkste Streuung mit einem Variationskoeffizienten von 17,3 % trat mit 121-149 min/Nacht bei Pferd 1 auf (n=4 Nächte eines Pferdes). Die nächtliche Gesamtschlafdauer der Pferde zeigte generell eine sehr niedrige intraindividuelle Streuung. Jedes Pferd schlief in allen gemessenen Nächten ungefähr gleich lang.

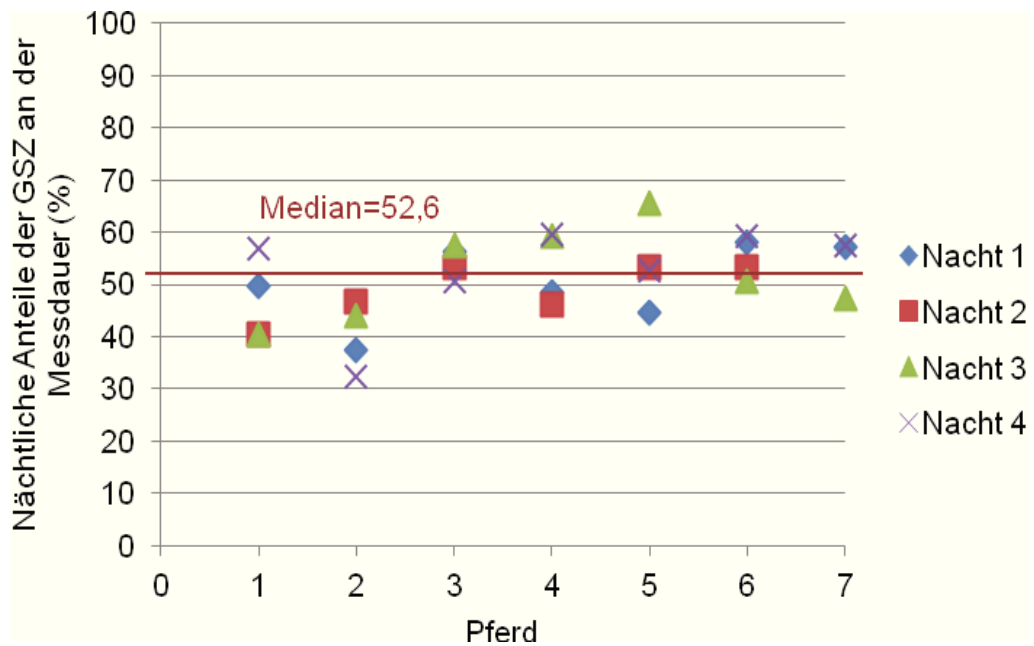


Abbildung 18: Prozentualer Anteil der nächtlichen Gesamtschlafzeiten aller Pferde an der Messdauer (GSZ=Gesamtschlafzeit)

2.2. Schlafstadien

Tabelle 13 gibt einen Überblick über die Verteilung der Schlafstadien sowie deren prozentualen Anteil an der Gesamtschlafzeit.

Tabelle 13: Nächtliche und mittlere Schlafstadiendauer aller Pferde und deren prozentuale Verteilung auf die Gesamtschlafzeit (GSZ=Gesamtschlafzeit, MW=Mittelwert, MD=Messdauer, SEM=Standard Error of Means)

Pferd	Nacht	Zeitraum & MD (h)	GSZ (min)	REM-Schlaf		SWS-Schlaf		Leichtschlaf	
				min	% GSZ	min	% GSZ	min	% GSZ
1	1	22:30-3:30h (5h)	149	33	22,1	105	70,5	11	7,4
	2		121	25	20,6	78	64,5	18	14,9
	3		121	17	14,1	89	73,6	15	12,3
	4		171	33	19,3	125	73,1	13	7,6
	MW		140,5	27,0	19,0	99,3	70,4	14,3	10,6
2	1	22:30-4:30h (6h)	135	24	17,8	101	74,8	10	7,4
	2		168	22	13,1	115	68,4	31	18,5
	3		158	18	11,4	125	79,1	15	9,5
	4		117	26	22,2	81	69,2	10	8,6
	MW		144,5	22,5	16,1	105,5	72,9	16,5	11,0
3	1	22:30-5:30h (7h)	237	24	10,2	134	56,5	79	33,3
	2		224	29	13	127	56,9	68	30,1
	3		242	48	19,8	105	43,4	89	36,8
	4		212	42	19,8	128	60,4	42	19,8
	MW		228,8	35,7	15,7	123,5	54,3	69,5	30,1
4	1	22:30-5:30h (7,5h)	218	37	17	142	65,5	38	17,5
	2		207	29	14	147	71	31	15
	3		267	38	14,2	157	58,8	72	27
	4		268	37	13,8	164	61,2	67	25
	MW		240,0	35,2	14,8	152,5	64,1	52,0	21,1
5	1	22:30-5:30h (7h)	187	19	10,2	120	64,2	48	25,6
	2		224	35	15,7	128	57,1	61	27,2
	3		275	56	20,4	157	57,1	62	22,5
	4		221	29	13,1	135	61,1	57	25,8
	MW		226,8	34,7	14,8	135,0	59,9	57,0	25,3
6	1	22:00-5:30h (7h)	244	46	18,9	154	63,1	44	18
	2		224	41	18,3	139	62,1	44	19,6
	3		213	26	12,2	142	66,7	45	21,1
	4		249	36	14,5	200	80,3	13	5,2
	MW		232,5	37,2	16,0	158,7	68,0	36,5	16,0
7	1	22:30-5:30h (6,5h)	223	23	10,3	127	57	73	32,7
	3		184	33	17,9	145	78,8	6	3,3
	4		224	19	8,5	169	75,4	36	16,1
	MW		210,3	25,0	12,2	147,0	70,4	38,3	17,4
Mittelwert (n=27, 7 Pferde)			203,0	31,3	15,6	131,1	65,5	40,7	18,8
Median			218,0	29,0	14,5	128,0	64,5	42,0	18,5
SEM			8,9	1,9	0,8	5,3	1,7	4,8	1,8
Standardabweichung			46,5	9,9	4,0	27,6	8,7	24,8	9,3
Minimum			117,0	17,0	8,5	78,0	43,4	6,0	3,3
Maximum			275,0	56,0	22,2	200,0	80,3	89,0	36,8

2.2.1. Interindividuelle Unterschiede

Zur besseren Darstellung der interindividuellen Unterschiede ist in Abbildung 18 die mittlere Verteilung der Schlafstadien auf die Gesamtschlafzeit dargestellt (n=7 Pferde). Auf den ersten Blick schlafen die Pferde alle relativ regelmäßig, der prozentuale Anteil der Schlafstadien liegt bei allen Tieren in etwa derselben Größenordnung, deutliche Ausreiser gibt es keine.

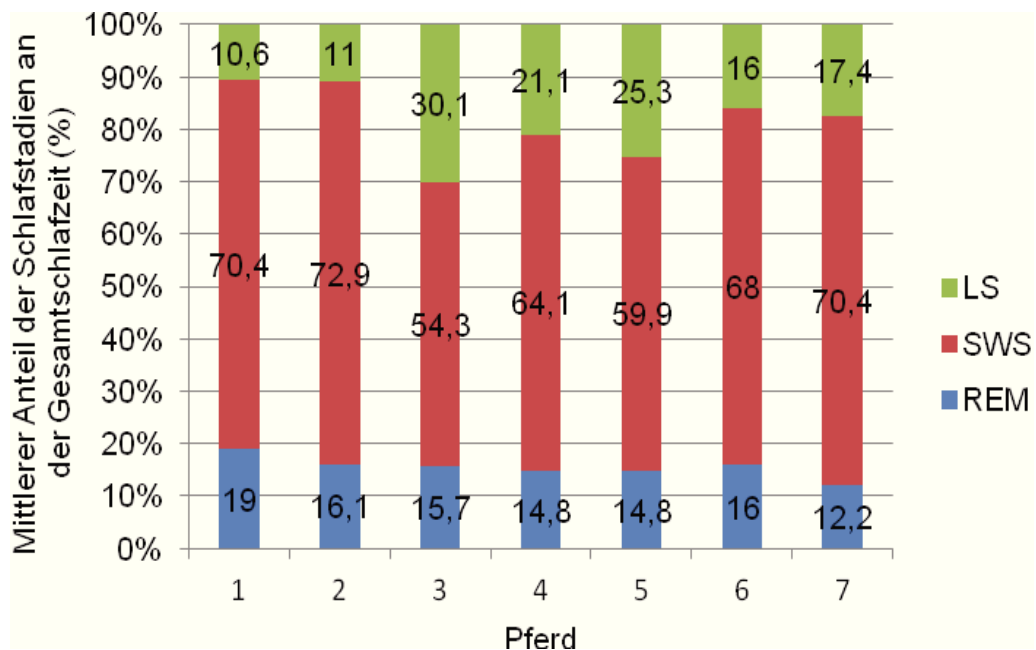


Abbildung 18: Prozentuale mittlere Verteilung der Schlafstadien auf die Gesamtschlafzeit (LS=Leichtschlaf, SWS=SWS-Schlaf, REM=REM-Schlaf)

Betrachtet man die Variationskoeffizienten der einzelnen Schlafstadien an der Gesamtschlafzeit, fällt auf, dass der SWS-Schlaf mit 13,3 % am wenigsten schwankte, gefolgt vom REM-Schlaf mit 25,6 % und am stärksten streute der Leichtschlaf mit fast 50%. Somit schliefen die Pferde über alle Nächte gesehen am gleichmäßigsten im SWS- und am unregelmäßigsten im Leichtschlaf (n=27 Nächte, 7 Pferde).

Lässt man die kurz gemessenen Pferde 1 und 2 außen vor, liegen die Variationskoeffizienten sogar nur bei 10,2 %, 10,2 % und 26,4 %. Der

SWS-Schlaf weicht mit längerer Messdauer nur gering ab, wohingegen der REM-Schlaf eine sehr deutliche Abhängigkeit von der Messdauer bzw. dem Schlaf in den frühen Morgenstunden zeigte. Auch der Leichtschlaf streute bei den fünf länger gemessenen Pferden um fast die Hälfte weniger (n=5 Pferde, 19 Nächte).

2.2.1.1. REM-Schlaf

Bei Betrachtung der REM-Phase fällt als Erstes auf, dass alle Pferde jede Nacht REM-Schlaf zeigten.

Die Pferde verbrachten im Mittel $31,3 \pm 9,9$ min/Nacht im REM-Schlaf. Dies entspricht im Mittel 15,6 % der Gesamtschlafzeit (n=27 Nächte, 7 Pferde). Damit nahm diese Phase bei allen Tieren nur ca. 1/6 der Gesamtschlafzeit ein.

Mit interindividuellen mittleren Zeiten von 22,5-37,25 Minuten war die REM-Schlafdauer für alle Pferde relativ konstant. Sie änderte sich trotz der deutlich größeren Variation der Gesamtschlafdauer kaum mit dieser und betrug zwischen 12,2 % und 19 % der Gesamtschlafzeit (n=7 Pferde). Tatsächlich gemessene Minima und Maxima lagen bei 17 (Pferd 1) bis 56 min/Nacht (Pferd 5) (n=27 Nächte, 7 Pferde).

Unweigerlich stellt sich die Frage, wann die Tiere sich zeitlich gesehen im REM-Schlaf befinden. Die zeitliche Verteilung der REM-Phasen über die Nacht war signifikant. Der deutlich größte Anteil des REM-Schlafes fand nach Mitternacht ($p < 0,001$ und $p = 0,0091$) statt und in dieser Zeit vor allem nach 3 Uhr ($p = 0,004$) (s. Abb. 19).

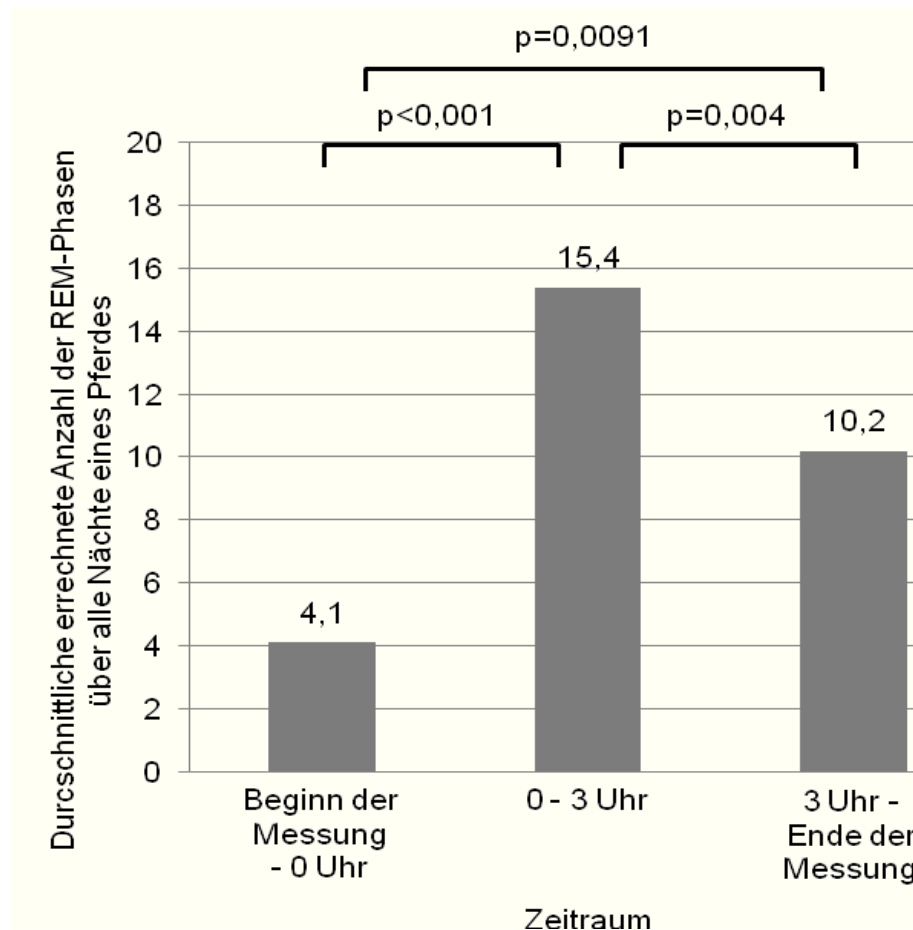


Abbildung 19: Errechnete zeitliche Verteilung der REM-Phasen über alle Nächte eines Pferdes (auf die Zeiträume von Beginn der Messungen bis Mitternacht, zwischen 0 und 3 Uhr und von 3 Uhr bis Ende der Messungen; für die ersten beiden Zeiträume wurde bei der Berechnung $n=7$ Pferde berücksichtigt, für den letzten Zeitraum $n=5$ Pferde, REM-Phasen, die über zwei Zeiträume gingen, wurden dem zugeordnet, in dem sich der längere Teil der REM-Phase befand)

2.2.1.2. SWS-Schlaf

Der SWS-Schlaf schwankte mit einem Variationskoeffizienten von 13,3 % am geringsten. Die mittlere Dauer belief sich auf $131,1 \pm 27,6$ Minuten/Nacht und nahm damit im Mittel 65 % der Gesamtschlafzeit ein ($n=7$ Pferde). Die Extremwerte lagen bei 99,25 Minuten bei Pferd 1 und 158,75 bei Pferd 6 ($n=7$ Pferde), wobei Pferd 6 mit 200 Minuten auch die mit Abstand längste nächtlich gemessene SWS-Schlafdauer zeigte ($n=27$ Nächte, 7 Pferde), sowie die zweithöchste mittlere Gesamtschlafzeit ($n=7$

Pferde). Das absolute (78 Minuten, n=27 Nächte, 7 Pferde), als auch das mittlere Minimum (99,25 Minuten, n=7 Pferde), wurde bei Pferd 1 gemessen, welches auch generell die niedrigste mittlere Gesamtschlafzeit aufwies.

Prozentual an der Gesamtschlafzeit gemessen, nahm der SWS-Schlaf im Mittel zwischen 54,3 % und 73 % ein (n=7 Pferde).

2.2.1.3. Leichtschlaf

Die mittlere Leichtschlafdauer zeigte mit $40,7 \pm 24,8$ min/Nacht und mittleren Werten von 14,25 (Pferd 1) bis 69,5 Minuten (Pferd 3) die deutlich größte Variationsbreite und nahm zwischen 10,6 % und 30,1 % der Gesamtschlafzeit ein (n=7 Pferde). Pferd 3 zeigte neben dem niedrigsten mittleren Anteil an SWS-Schlaf auch den höchsten Anteil an Leichtschlaf.

2.2.2. Intraindividuelle Unterschiede

Die prozentualen nächtlichen Schlafstadienanteile an der Messdauer aller Pferde über alle Nächte sind in Abbildung 20 dargestellt.

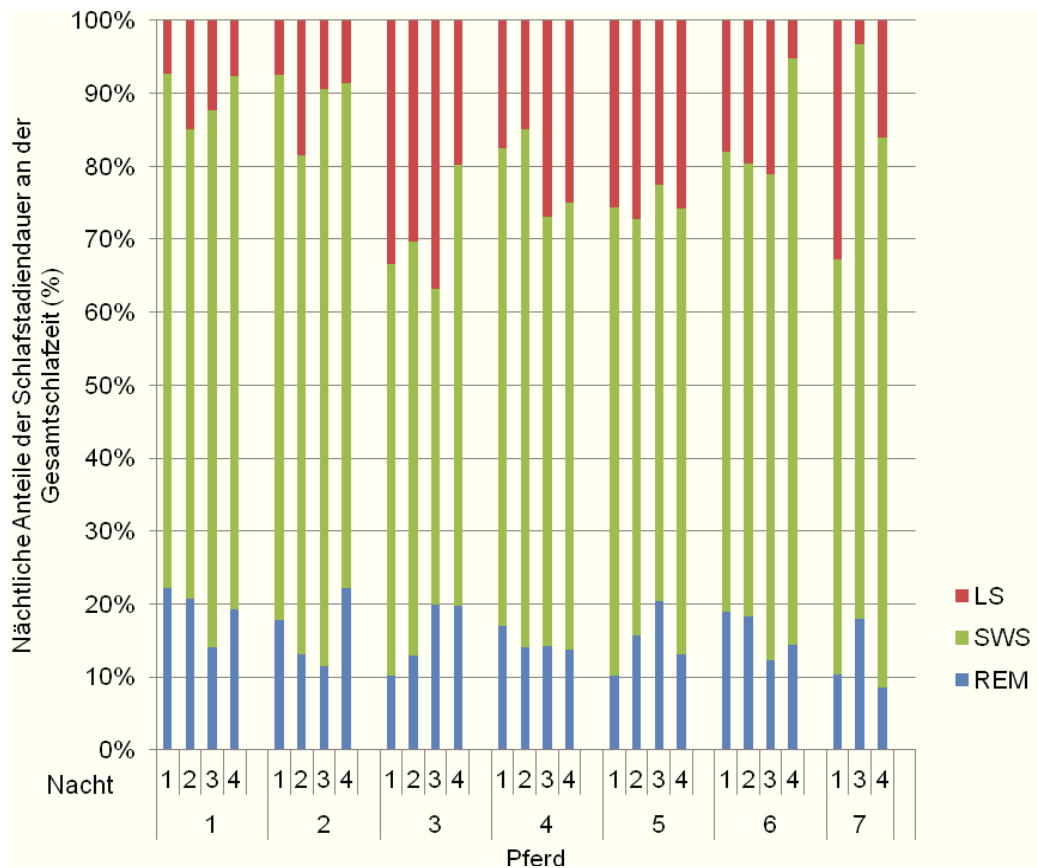


Abbildung 20: Prozentualer Anteil der nächtlichen Schlafstadien aller Pferde an der Gesamtschlafzeit

Pferd 4 zeigte mit einem Anteil von 13,8-17 % REM-Schlaf von der Gesamtschlafzeit und einem Variationskoeffizienten von nur 10,1 % die geringste Streuung und schlief alle vier Nächte relativ gleich lang im REM-Schlaf (n=4 Nächte). Die stärkste Streuung mit einem Variationskoeffizienten von 40,9 % trat bei Pferd 7 auf, welches zwischen 8,5 % und 17 % der Gesamtschlafzeit in der REM-Phase verbrachte (n=3 Nächte). Dieser im Vergleich mit allen anderen Pferden relativ hohe Wert kann sicher teilweise auch durch das niedrigere n von 3 Nächten erklärt werden. Auch in den beiden anderen Schlafstadien schwankte Pferd 7 nämlich am stärksten.

Der prozentuale Anteil des SWS-Schlafes an der Gesamtschlafzeit streute intraindividuell nur gering mit Werten von 5,7 % (Pferd 5) bis 16,7 % (Pferd 7). Pferd 7 schwankte auch im SWS-Schlaf mit nur 7,8% am geringsten. Bei Pferd 7 ist zudem interessant, dass es den niedrigsten REM-Schlafanteil (8,5 % der Gesamtschlafzeit) nicht in der Nacht mit der

längsten Gesamtschlafdauer aufwies.

2.3. Schlafragementierung

Auf den folgenden Seiten wird die Schlafragementierung aller Pferde über alle gemessenen Nächte dargestellt (Abbildungen 21a-g).

Bereits auf den ersten Blick fällt auf, dass die Verteilung der Schlafphasen über die Nacht interindividuell sehr verschieden ist. Intraindividuell, vom Grundtyp der Schlafverteilung auf die Nächte eines Pferdes, hingegen, lassen sich durchaus Gleichmäßigkeiten erkennen. Die Pferde 1, 2 und 7 haben zum Beispiel deutlicher ausgeprägte Wach- und Schlafphasen und schlafen in den einzelnen Stadien relativ lang. Bei diesen Pferden finden wesentlich weniger Schlafstadienwechsel statt, als zum Beispiel bei den Pferden 3 bis 6, welche ein sehr unruhiges Hypnogramm aufweisen.

Es scheint also, als gäbe es vom Prinzip her zwei verschiedene Schlaftypen. Einmal Pferde, die häufig zwischen den Schlafstadien wechseln und dadurch ein „ruheloses“ Schlafprofil aufweisen und Tiere, deren Schlafragementierung klar strukturierter und „ruhiger“ ist.

Eine intraindividuelle zeitliche Abhängigkeit der einzelnen Wach- und Schlafphasen ist allerdings nicht erkennbar. So schläft ein Pferd nicht jeden Tag zur gleichen Zeit in der gleichen Tiefe.

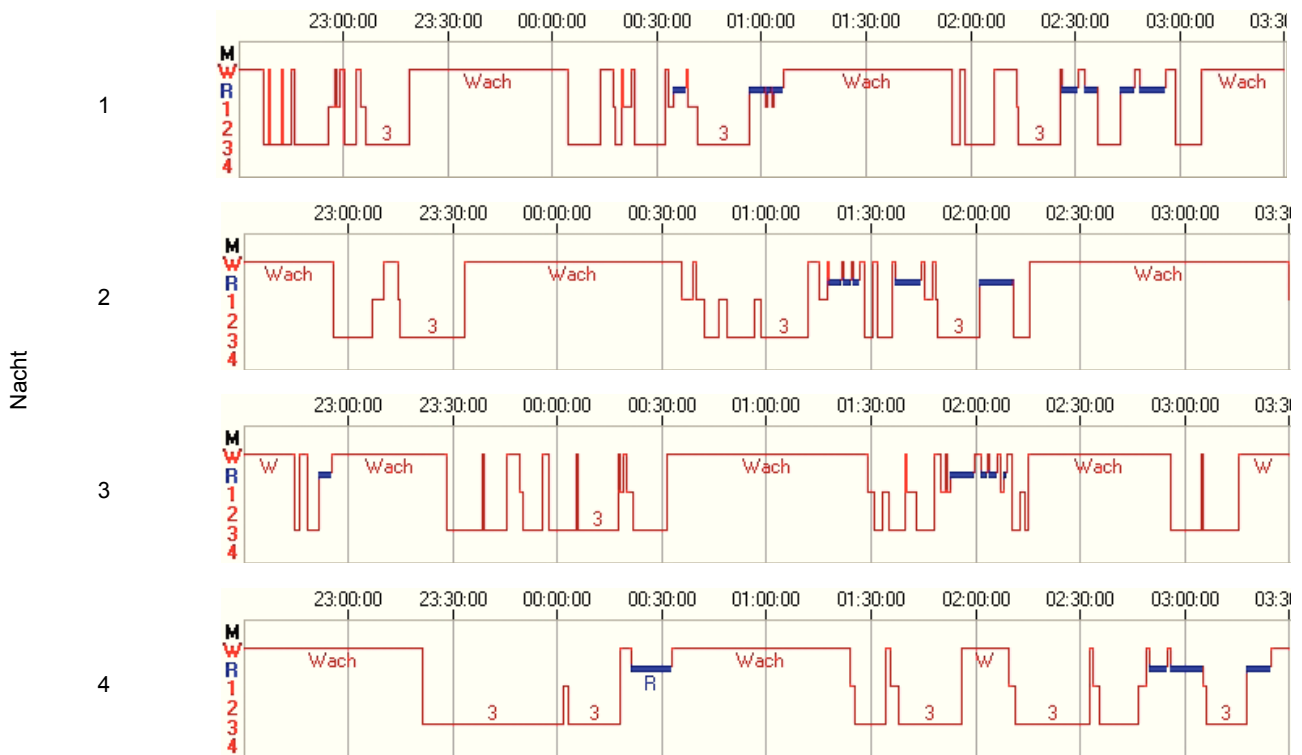


Abbildung 21a: Schlafragmentierung über alle 4 Nächte von Pferd 1

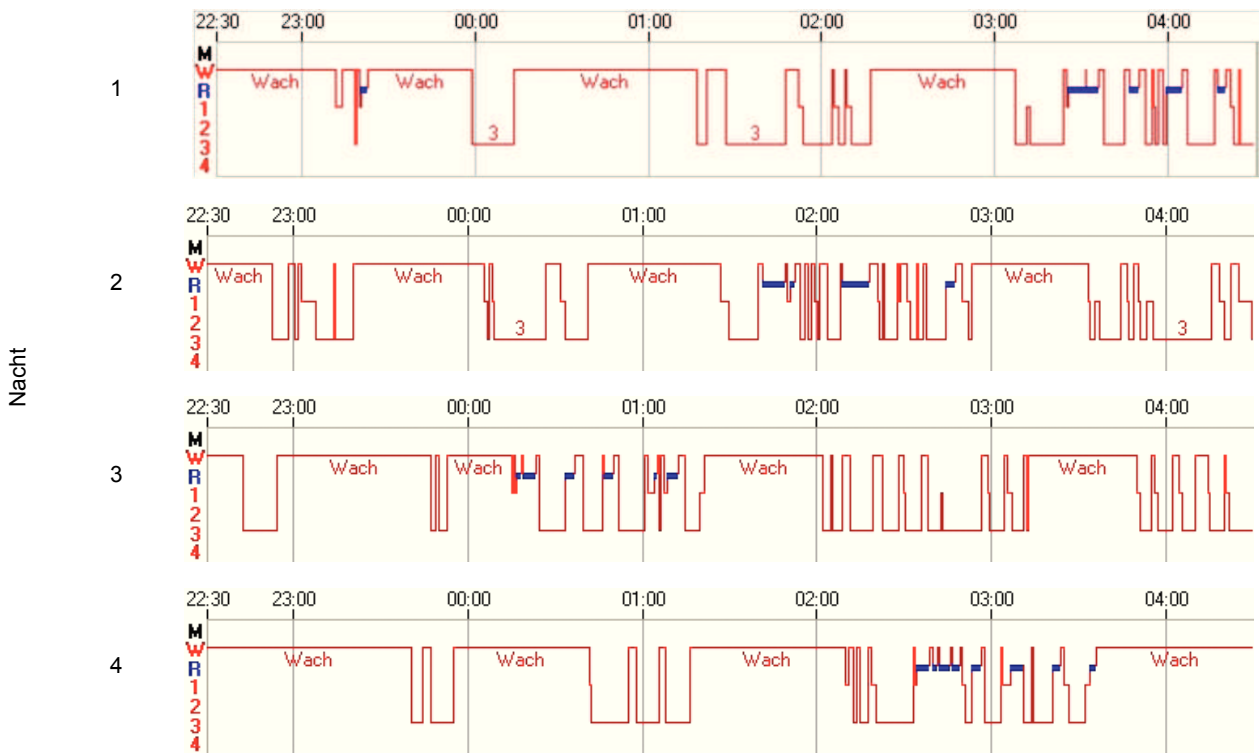


Abbildung 21b: Schlaffragmentierung über alle 4 Nächte von Pferd 2

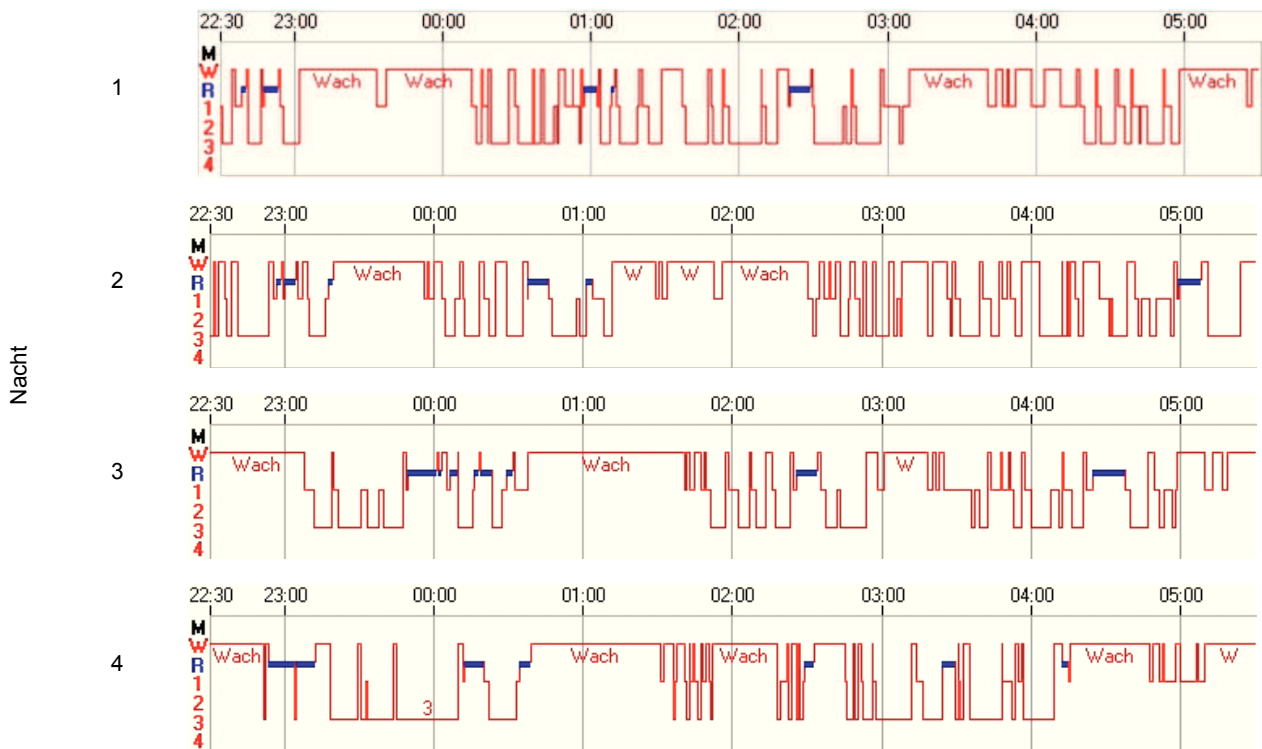


Abbildung 21c: Schlafragmentierung über alle 4 Nächte von Pferd 3

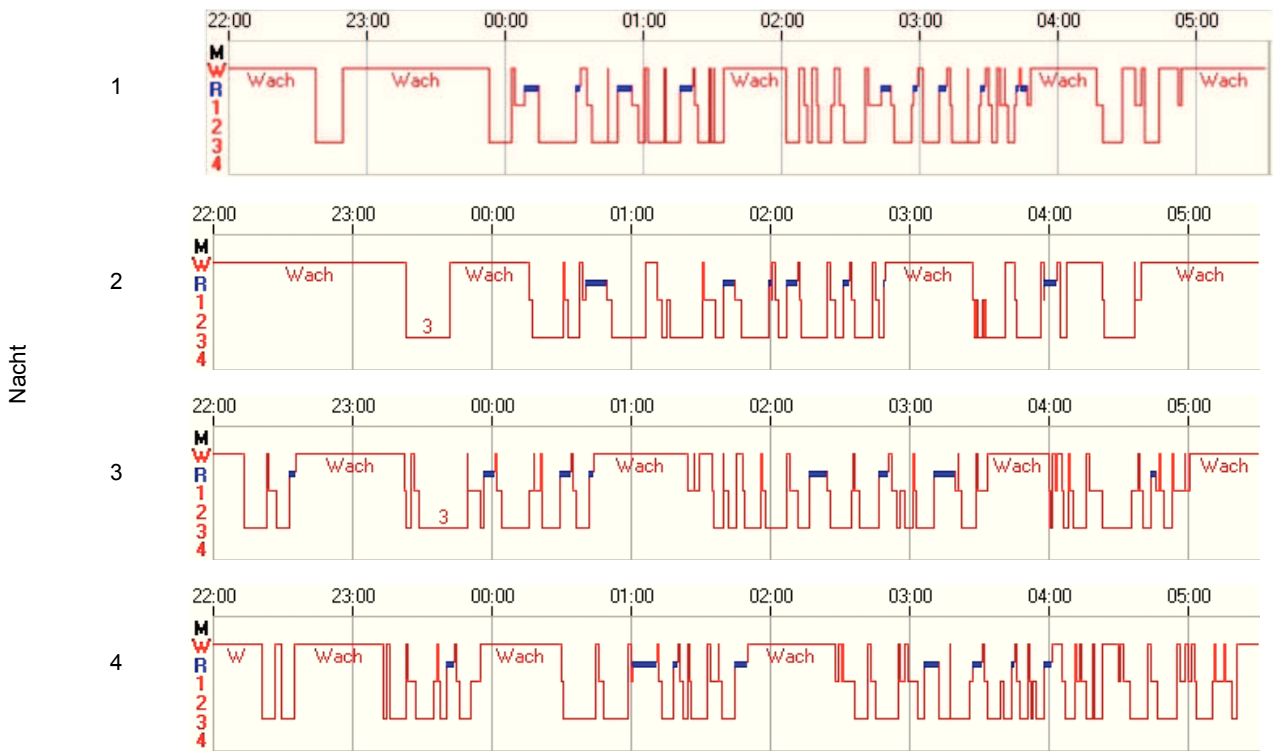


Abbildung 21d: Schlaffragmentierung über alle 4 Nächte von Pferd 4

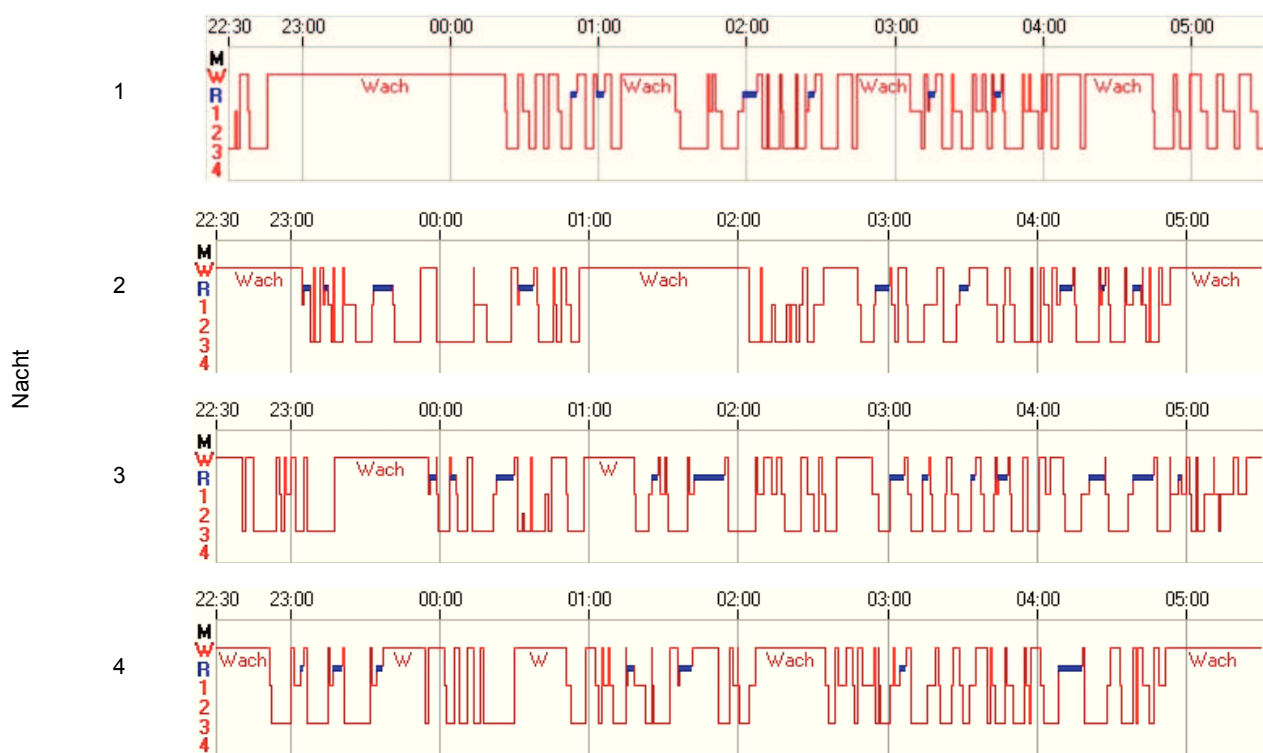


Abbildung 21e: Schlaffragmentierung über alle 4 Nächte von Pferd 5

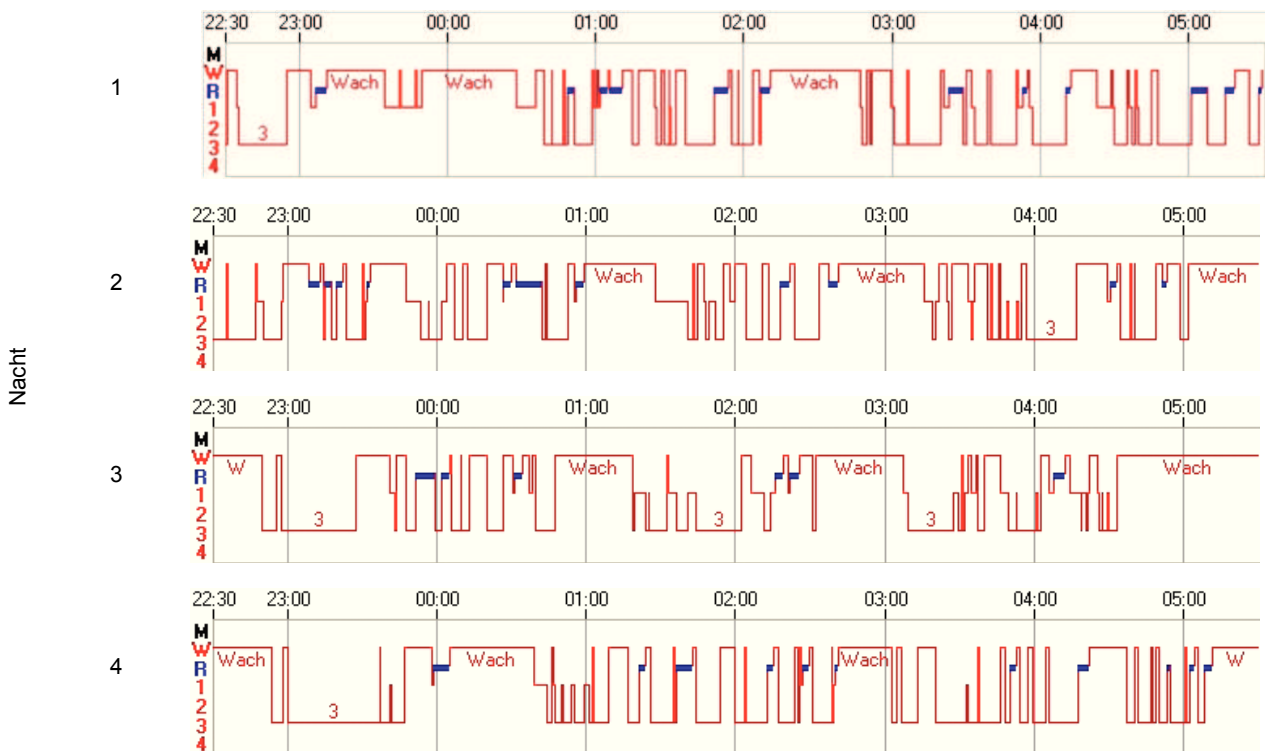


Abbildung 21f: Schlaffragmentierung über alle 4 Nächte von Pferd 6

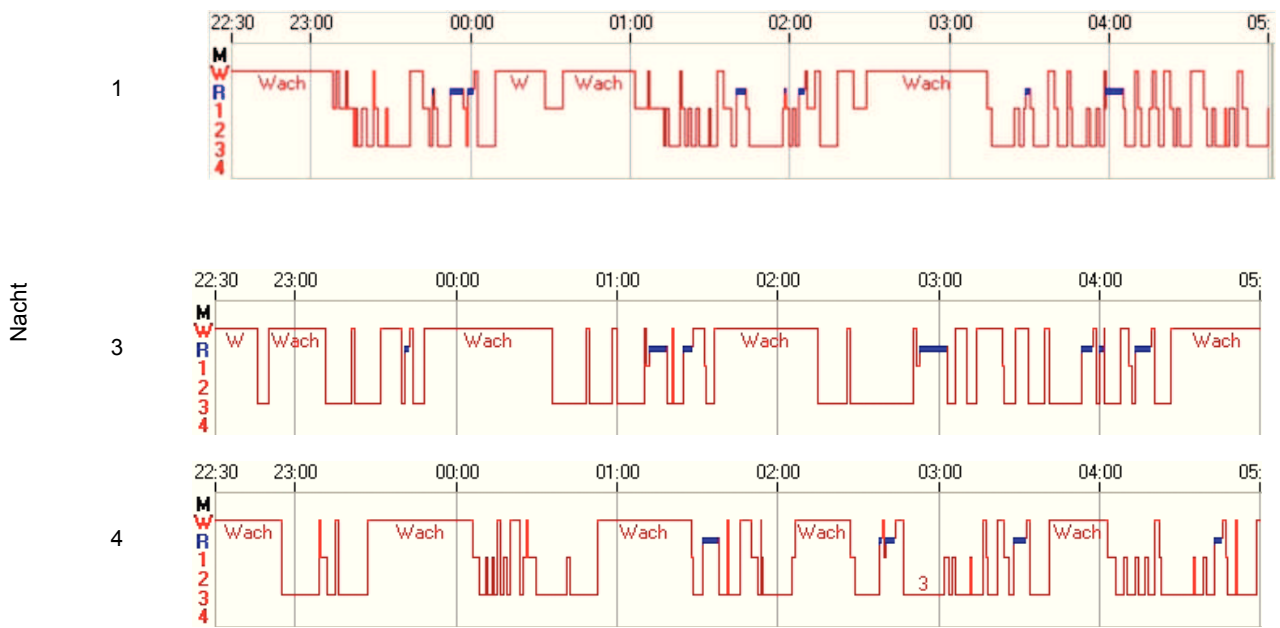


Abbildung 21g: Schlaffragmentierung über alle 4 Nächte von Pferd 7

3. Liegeverhalten

3.1. Gesamtliegezeit

Betrachtet man das Liegeverhalten der untersuchten Pferde, fällt als Erstes auf, dass sich alle Pferde jede Nacht hinlegten.

Tabelle 14 gibt einen Überblick über die Gesamtliegezeiten der Pferde sowie deren prozentualen Anteil an der Messdauer.

Tabelle 14: Nächtliche und mittlere Gesamtliegezeiten aller Pferde und deren prozentualer Anteil an der Messdauer (MD=Messdauer, SEM=Standardabweichung)

Pferd	Zeitraum & Messdauer (h)	Nacht	Gesamtliegezeit (min)	Anteil an der Messdauer (%)
1	22:30-3:30h (5h)	1	76	25,3
		2	65	21,7
		3	40	13,3
		4	51	17
		MW	58,0	19,3
2	22:30-4:30h (6h)	1	79	21,9
		2	75	20,8
		3	69	19,2
		4	65	18,1
		MW	72,0	20,0
3	22:30-5:30h (7h)	1	159	37,9
		2	130	31
		3	89	21,2
		4	137	32,6
		MW	128,8	30,6
4	22:30-5:30h (7,5h)	1	168	37,3
		2	142	31,6
		3	196	43,6
		4	181	40,2
		MW	171,8	38,2
5	22:30-5:30h (7h)	1	167	39,8
		2	197	46,9
		3	262	62,4
		4	205	48,8
		MW	207,8	49,5
6	22:00-5:30h (7h)	1	227	54,1
		2	155	36,9
		3	149	35,5
		4	146	34,8
		MW	169,3	40,3
7	22:30-5:30h (6,5h)	1	153	39,2
		3	130	33,3
		4	112	28,7
		MW	131,7	33,8
Mittelwert (n=27, 7 Pferde)			132,0	32,5
Median			142,0	33,3
SEM			11,1	2,3
Standardabweichung			57,5	12,0
Minimum			40,0	13,3
Maximum			262,0	62,4

3.1.1. Interindividuelle Unterschiede

Die Gesamtliegedauer der Pferde betrug im Mittel $132 \pm 57,5$ min/Nacht mit Extremwerten von 40-262 min/Nacht. Damit lagen die Tiere im Mittel 32,5 % der Messdauer, 67,5 % standen sie. Bezogen auf die Messdauer nahm der Schlaf zwischen 13,3 % und 62,4 % der nächtlichen Beobachtungsdauer ein (n=27 Nächte, 7 Pferde).

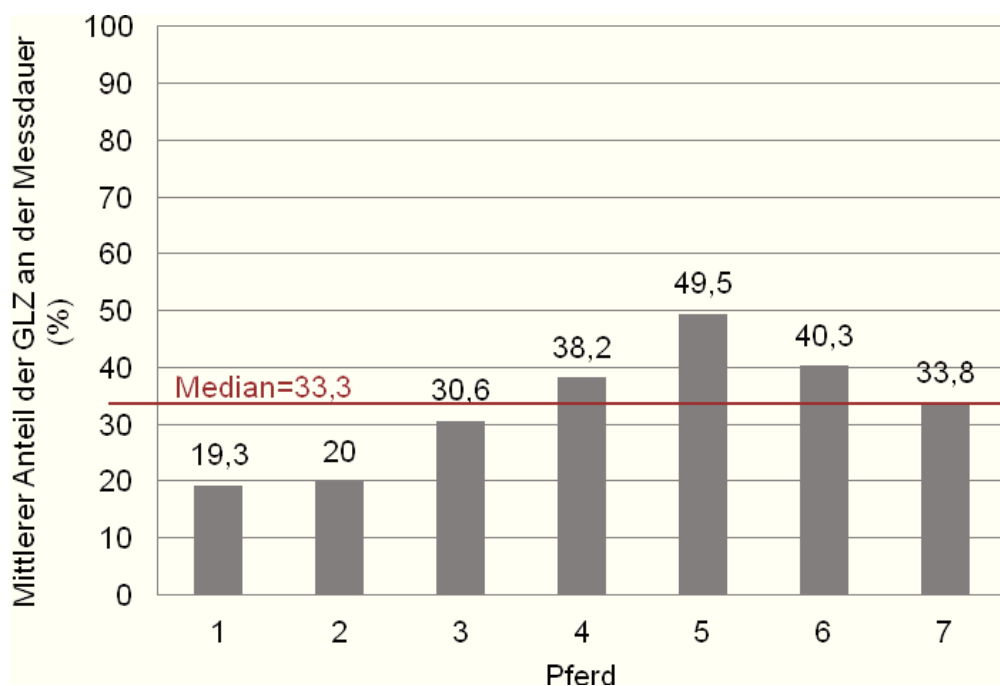


Abbildung 22: Prozentualer Anteil der mittleren Gesamtliegezeit an der Messdauer (GLZ=Gesamtschlafzeit)

Die Pferde 1 und 2 lagen mit im Mittel 58 und 72 min/Nacht deutlich weniger, als die Anderen. Pferd 5 lag mit 207,75 min/Nacht am Längsten und damit fast 50 % der Messdauer (n=7 Pferde).

Bei Betrachtung insbesondere der Pferde 1 und 2, scheint auch die Gesamtliegedauer sehr stark mit der Messdauer zu korrelieren. Gesamtliegezeit und deren prozentualer Anteil an der Messdauer schwanken mit Variationskoeffizienten von 43,6 % und 36,9 % interindividuell sehr deutlich. Pferd 1 mit der niedrigsten Messdauer (5 Stunden) zeigte die niedrigste Gesamtliegezeit von im Mittel 58 Minuten,

gefolgt von Pferd 2 mit der zweitkürzesten Messdauer (6 Stunden) mit einer mittleren Gesamtliegezeit von 72 Minuten (n=7 Pferde).

Errechnet man die Werte für die Gesamtliegezeit und deren prozentualen Anteil an der Messdauer nur für die Pferde 3 bis 7, ergeben sich für beide Parameter wieder deutlich geringere interindividuelle Schwankungen mit weniger als halb so großen Variationskoeffizienten (Gesamtliegezeit 20,2 %, deren prozentualer Anteil an der Messdauer 18,8 %). Auch liegt das Minimum für die Gesamtliegezeit dann nicht mehr bei 40, sondern bei über der doppelten Zeit, nämlich 89 Minuten (n=5 Pferde, 19 Nächte). Die Messungen wurden einheitlich um 22:30 Uhr (Ausnahme Pferd 6: 22 Uhr) begonnen.

Dies lässt vermuten, dass die Tiere auch im zweiten Teil der Nacht noch viel Liegen und die nächtliche Gesamtliegedauer somit auch deutlich vom Liegeverhalten in den frühen Morgenstunden beeinflusst wird. So lag Pferd 5 (Messung bis 5:30 Uhr) im Mittel fast viermal so viel wie Pferd 1 (Messung bis 3 Uhr) (n=7 Pferde).

In Tabelle 15 sind die Liegephasen aller Pferde über alle Nächte aufgeführt.

Tabelle 15: Zeitliche Abhängigkeit der Liegephasen aller Pferde über alle Nächte

Pferd	Zeitraum & MD (min)	Nacht	GLZ (min)	Anzahl der Liegephasen und Dauer (min)				
				1	2	3	4	5
1	22:30-3:30h (5h)	1	76	35	41	-	-	-
		2	65	65	-	-	-	-
		3	40	12	28	-	-	-
		4	51	14	37	-	-	-
2	22:30-4:30h (6h)	1	79	13	66	-	-	-
		2	75	75	-	-	-	-
		3	69	69	-	-	-	-
		4	65	65	-	-	-	-
3	22:30-5:30h (7h)	1	159	29	80	50	-	-
		2	130	29	36	35	30	-
		3	89	49	12	28	-	-
		4	137	25	30	18	64	-
4	22:00-5:30h (7,5h)	1	168	97	71	-	-	-
		2	142	21	84	37	-	-
		3	196	13	54	86	43	-
		4	181	31	53	64	33	-
5	22:30-5:30h (7h)	1	167	30	75	62	-	-
		2	197	51	28	50	68	-
		3	262	52	58	152	-	-
		4	20	47	63	64	31	-
6	22:30-5:30h (7h)	1	227	42	43	98	44	-
		2	155	34	34	40	47	-
		3	149	74	26	38	11	-
		4	146	13	32	63	38	-
7	22:30-5:00h (6,5h)	1	153	30	44	67	12	-
		3	130	15	25	41	49	-
		4	112	15	21	19	19	38

Tabelle 15 bestätigt, dass die länger gemessenen Pferde auch in den frühen Morgenstunden lagen und deutlich mehr Liegephasen (meist 4) zeigten als die kurz gemessenen Pferde 1 und 2 (oft nur 1). Die Anzahl der Liegephasen nimmt also mit der Länge der Messdauer in die frühen Morgenstunden hinein zu.

Überprüft man die Abhängigkeit der Anzahl der Liegephasen von der Uhrzeit, zeigt sich, dass die Pferde nach Mitternacht signifikant häufiger liegen, als vor Mitternacht. Im Zeitraum nach Mitternacht ist die Häufigkeit der Liegephasen dann nicht mehr an die Uhrzeit gekoppelt (s. Abb. 23).

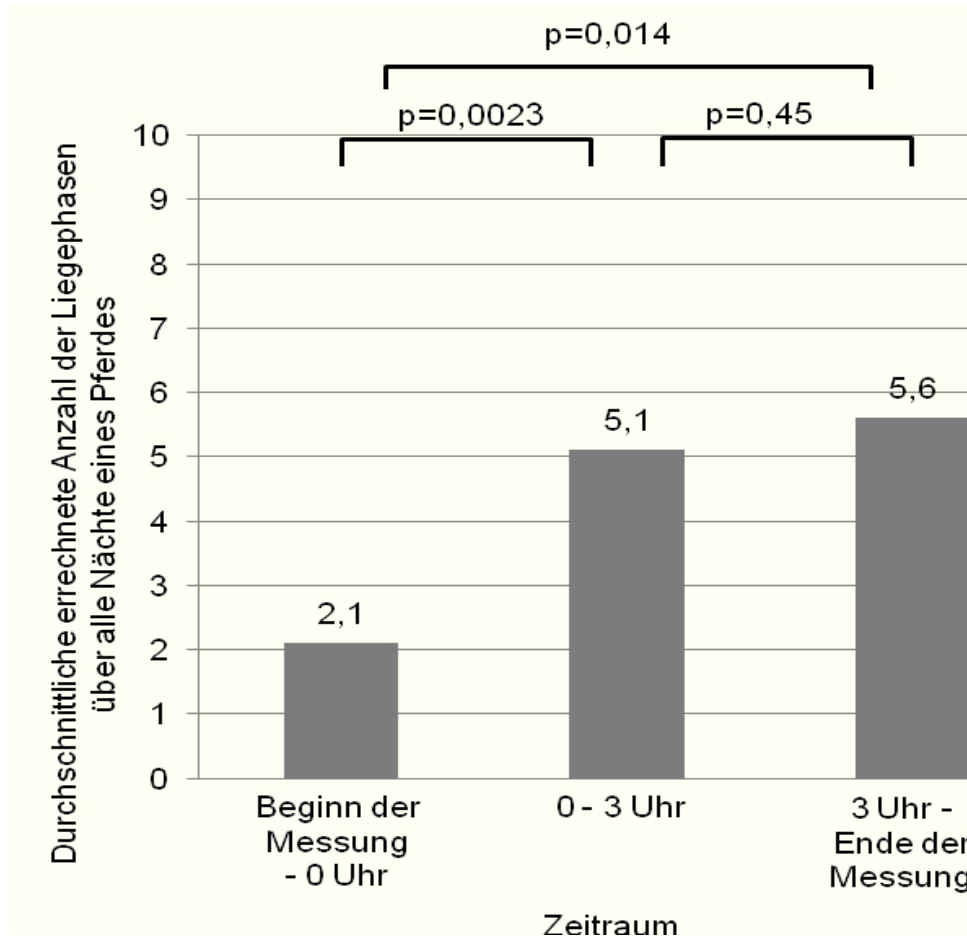


Abbildung 23: Errechnete zeitliche Verteilung der Liegephasen über alle Nächte eines Pferdes (auf die Zeiträume von Beginn der Messungen bis Mitternacht, zwischen 0 und 3 Uhr und von 3 Uhr bis Ende der Messungen; für die ersten beiden Zeiträume wurde bei der Berechnung $n=7$ Pferde berücksichtigt, für den letzten Zeitraum $n=5$ Pferde, Liegephasen, die über zwei Zeiträume gingen, wurden dem zugeordnet, in dem sich der längere Teil der Liegephase befand)

3.1.2. Intraindividuelle Unterschiede

Betrachtet man die Messungen nur eines Pferdes, fallen intraindividuell wesentlich geringere Unterschiede auf, als interindividuell (s. Abb. 24).

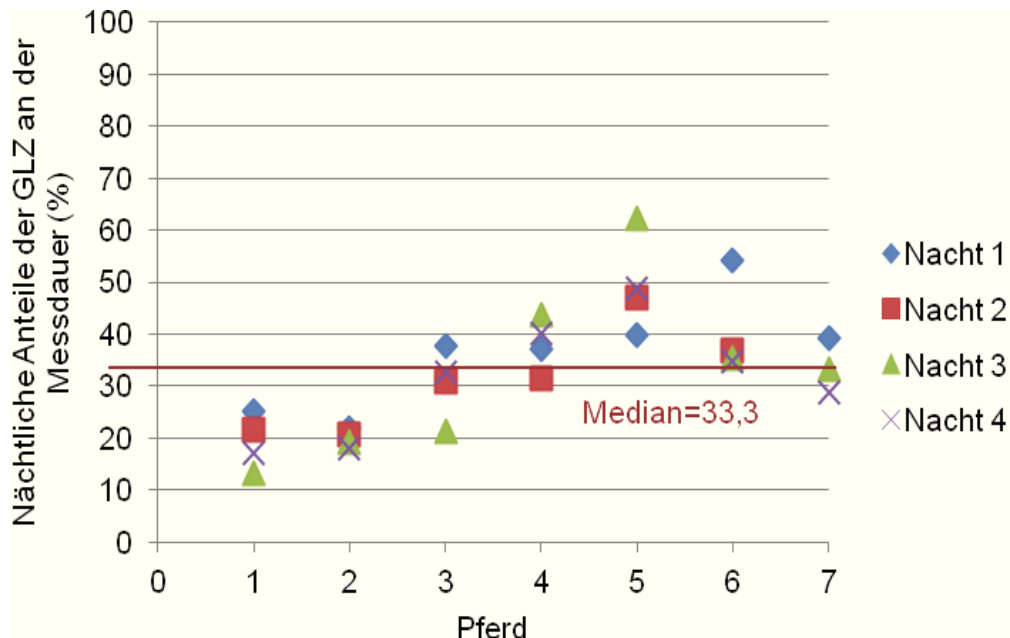


Abbildung 24: Prozentualer Anteil der nächtlichen Gesamtliegezeiten aller Pferde an der Messdauer (GLZ=Gesamtschlafzeit)

Pferd 2 zeigt mit einer Gesamtliegedauer von 18,1 % bis 21,9 % pro Nacht und einem Variationskoeffizienten von nur 8,6 % eine äußerst niedrige intraindividuelle Streuung und lag alle vier Nächte relativ gleich lang. Die stärkste Streuung mit einem Variationskoeffizienten von 27,2 % trat bei Pferd 1 auf, welches ebenfalls die höchsten Unterschiede in der Gesamtschlafdauer und die kürzeste gemessene Gesamtschlafzeit aufwies. Es schwankte zwischen 40 und 76 Minuten und somit um fast 100 % Pferd 3 zeigte in der dritten Nacht einen Ausreiser, der mit 89 Minuten deutlich von den anderen drei Messungen (130-159 Minuten) abwich. Pferd 5 schlief mit 262 Minuten in einer Nacht am längsten und auch deutlich länger als in den anderen Nächten. Ein Grund hierfür konnte weder bei Durchsicht der Videoaufnahmen noch anhand des EEG gefunden werden (n=4 Nächte).

3.2. Brust- und Seitenlage

Bei der Betrachtung der Körperhaltung während der Liegephasen, fällt zuerst auf, dass nur in zwei der 27 gemessenen Nächte von zwei Pferden keine Seitenlage eingenommen wurde. Bei diesen Pferden handelte es sich um die Pferde 3 und 7, die die gleichzeitig auch die niedrigsten mittleren Gesamtliegedauern aufwiesen (n=7 Pferde).

Tabelle 16 gibt einen Überblick über die Körperhaltung der Pferde im Liegen (Brust- oder Seitenlage) sowie deren prozentualen Anteil an der Gesamtliegezeit.

Tabelle 16: Prozentualer Anteil der Brust- und Seitenlagedauer der Pferde von der Gesamtliegezeit (GLZ=Gesamtliegezeit)

Pferd	Nacht	GLZ (min)	Brustlage		Seitenlage	
			min	% GLZ	min	% GLZ
1	1	76	67	88,2	9	11,8
	2	65	28	43,1	37	56,9
	3	40	37	92,5	3	7,5
	4	51	16	31,4	35	68,6
	MW	58	37,0	63,8	21	36,2
2	1	79	73	92,4	6	7,6
	2	75	61	81,3	14	18,7
	3	69	56	81,2	13	18,8
	4	65	51	78,5	14	21,5
	MW	72	60,3	83,7	11,8	16,3
3	1	159	147	92,5	12	7,5
	2	130	130	100	0	0
	3	89	87	97,8	2	0,2
	4	137	132	96,4	5	0,6
	MW	128,75	124,0	96,3	4,8	3,7
4	1	168	128	76,2	40	23,8
	2	142	115	81	27	19
	3	196	158	80,6	38	19,4
	4	181	137	75,7	44	24,3
	MW	171,75	134,5	78,3	37,3	21,7
5	1	167	139	83,2	28	16,8
	2	197	162	82,2	35	17,8
	3	262	211	80,5	51	19,5
	4	205	162	79,0	43	21
	MW	207,75	168,5	81,2	39,3	18,8
6	1	227	199	87,7	28	12,3
	2	155	155	100	0	0
	3	149	146	98	3	2
	4	146	135	92,5	11	7,5
	MW	169,25	158,5	93,8	10,5	6,2
7	1	153	141	92,2	12	7,8
	3	130	104	80	26	20
	4	112	104	92,9	8	7,1
	MW	131,7	116,3	88,3	15,3	11,7
Mittelwert (n=27)		132,0	111,9	84,7	20,2	15,3
Median		142,0	130,0	82,7	14,0	16,8
SEM		11,1	9,8,	3,0	3,0	3,0
Standardabweichung		57,5	51,1	15,6	15,8	15,6
Minimum		40,0	16,0	31,4	0,0	0,0
Maximum		262,0	211,0	100,0	51,0	68,6

In den folgenden Abbildungen (27a-g) wird die Verteilung der Liegephasen aller Pferde über alle gemessenen Nächte dargestellt (schwarz=Seitenlage, dunkelgrau=Brustlage, hellgrau=Stehen).

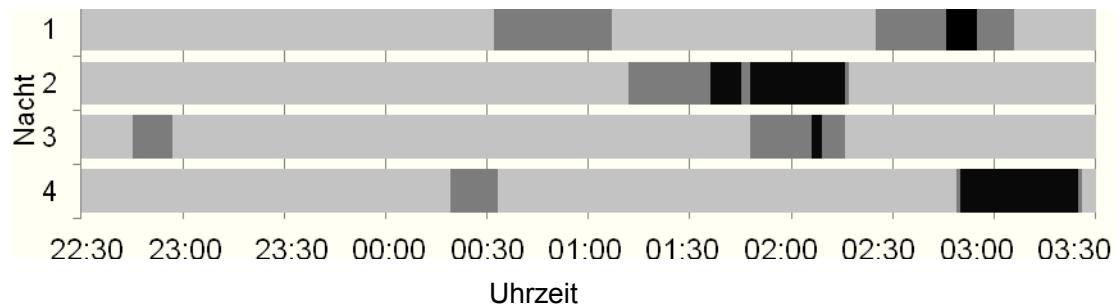


Abbildung 27a: Verteilung der Brust- und Seitenlagephasen über alle 4 Nächte von Pferd 1

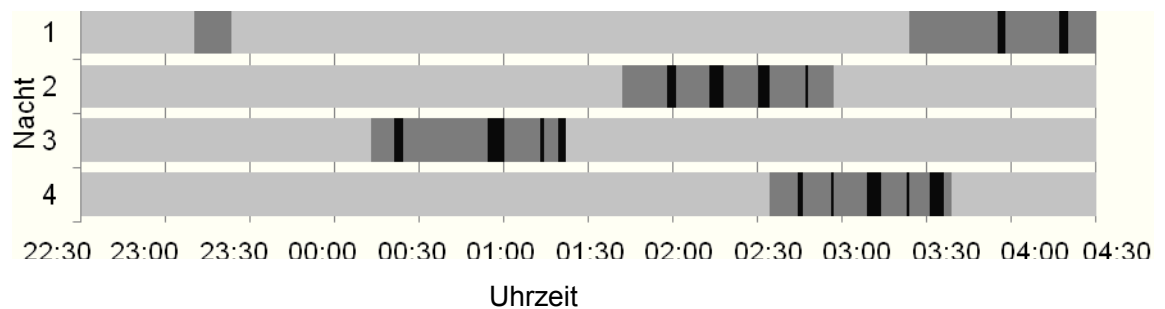


Abbildung 27b: Verteilung der Brust- und Seitenlagephasen über alle 4 Nächte von Pferd 2

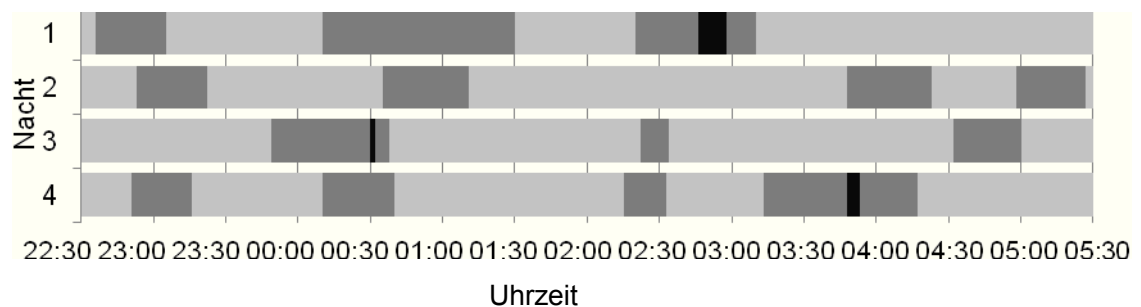


Abbildung 27c: Verteilung der Brust- und Seitenlagephasen über alle 4 Nächte von Pferd 3

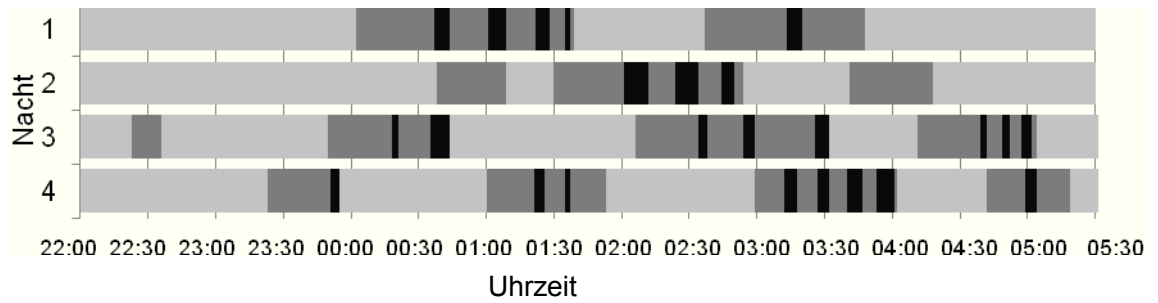


Abbildung 27d: Verteilung der Brust- und Seitenlagephasen über alle 4 Nächte von Pferd 4

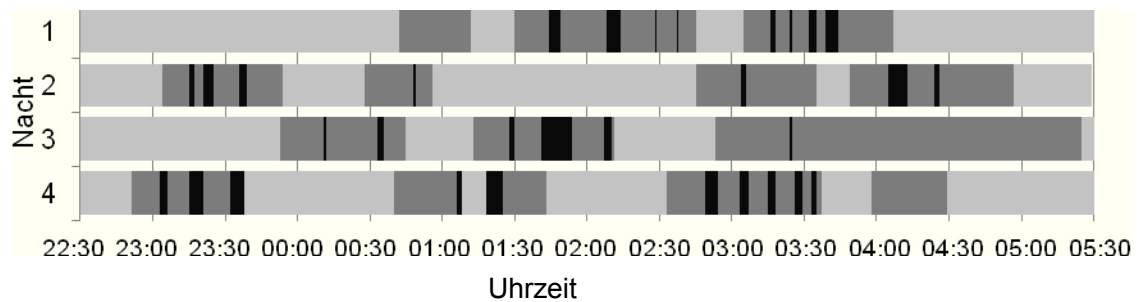


Abbildung 27e: Verteilung der Brust- und Seitenlagephasen über alle 4 Nächte von Pferd 5

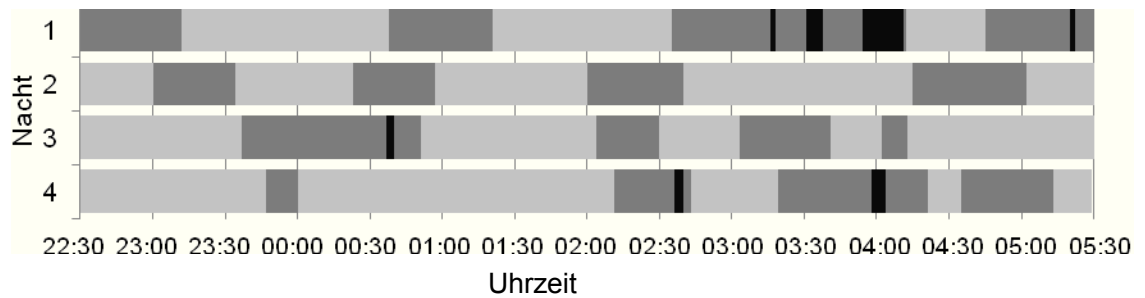


Abbildung 27f: Verteilung der Brust- und Seitenlagephasen über alle 4 Nächte von Pferd 6

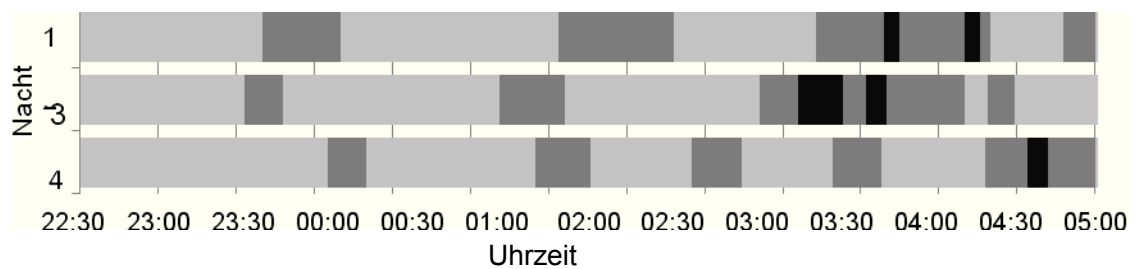


Abbildung 27g: Verteilung der Brust- und Seitenlagephasen über alle 4 Nächte von Pferd 7

3.2.1. Interindividuelle Unterschiede

Die Gesamtliegedauer der Pferde in Brustlage betrug im Mittel $111,9 \pm 51,1$ min/Nacht, mit Minimal- und Maximalwerten von 16 und 211 min/Nacht, und in Seitenlage im Mittel $20,2 \pm 15,8$ Minuten/Nacht, mit Minimal- und Maximalwerten von 0 und 51 min/Nacht. Damit lagen die Tiere im Mittel 84,7 % der Gesamtliegezeit in Brust- und 15,3 % der Gesamtliegezeit in Seitenlage (n=27 Nächte, 7 Pferde).

Die anteilige mittlere Liegedauer in Brustlage schwankte mit Werten von 63,8 % bis 96,3 % von der Gesamtliegezeit und einem Variationskoeffizienten von 18,4 % deutlich weniger, als die in Seitenlage (Variationskoeffizient 102 %). Die Seitenlagedauer war sehr großen Schwankungen unterworfen, was bereits aus der Betrachtung der mittleren prozentualen Anteile von 6,2 % (Pferd 6) bis 36,2 % (Pferd 1) sowie den absoluten Minutenzahlen hervorgeht. (s. Abbildung 25) (n=27 Nächte, 7 Pferde).

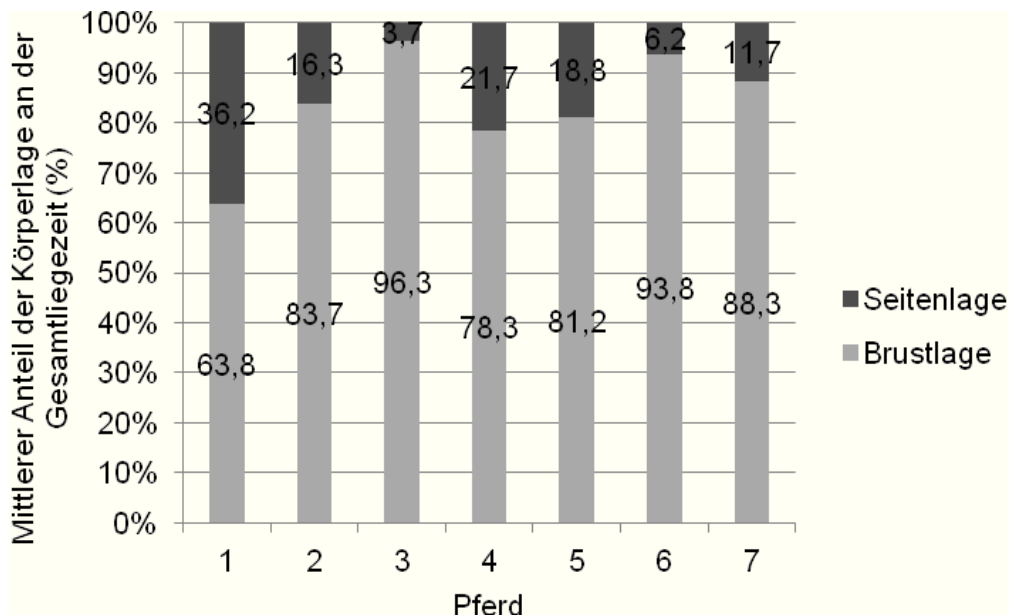


Abbildung 25: Prozentualer Anteil der mittleren Brust- und Seitenlagedauer an der Gesamtliegezeit

Errechnet man die Werte auf Basis der Pferde 3 bis 7, die in etwa gleich lang gemessen wurden, streut der mittlere Anteil der Brustlage an der

Gesamtliegezeit sogar nur noch mit 8,9 %, der der Seitenlage nur noch mit 62,6 %. Auch das Liegeverhalten wird mit längerer Messdauer somit, wie vermutet, deutlich einheitlicher.

Betrachtet man die Abbildungen 27a-g, fällt auf den ersten Blick auf, dass die Verteilung der Liegephasen über die Nacht interindividuell sehr verschieden ist. Es lassen sich intraindividuell allerdings durchaus Ähnlichkeiten von Nacht zu Nacht feststellen. Die Pferde 4 und 5 ähneln sich im Liegeverhalten zum Beispiel auffallend stark. Beide lagen auf die Gesamtliegezeit gesehen relativ gleich lang in Brust- und in Seitenlage und zeigen ein unruhiges Liegeprofil, bei dem sehr häufig zwischen Brust- und Seitenlage gewechselt wird. Pferd 1 hingegen verharrte, wenn einmal in Seitenlage, sehr lange in dieser Position. Bei Pferd 2 ist auffällig, dass es in 3 von 4 Nächten nur eine lange Liegephase hatte und in dieser dann mehrmals die Liegeposition wechselte. Pferd 7 legte sich generell erst nach 3 Uhr in Seitenlage.

Es scheint also, als könnte es vom Prinzip her auch verschiedene Liegetypen geben. Einmal Pferde, die häufig zwischen den Liegepositionen wechseln und dadurch ein unruhiges Liegeverhalten aufweisen und Tiere die, wenn sie sich einmal abgelegt haben, dann auch länger in einer Position verharren. Eine zeitliche Abhängigkeit der Brust- und Seitenlagedauer ist, außer bei Pferd 7, dass sich erst nach 3 Uhr in Seitenlage legte, nicht erkennbar. So liegt ein Pferd nicht jeden Tag zur gleichen Zeit in der gleichen Position.

3.2.2. Intraindividuelle Unterschiede

Bei Betrachtung der intraindividuellen Anteile der Brust- und Seitenlage an der Gesamtliegezeit fällt sofort auf, dass einige Pferde sehr gleichmäßig, andere von Nacht zu Nacht sehr unterschiedlich lagen (s. Abbildung 26).

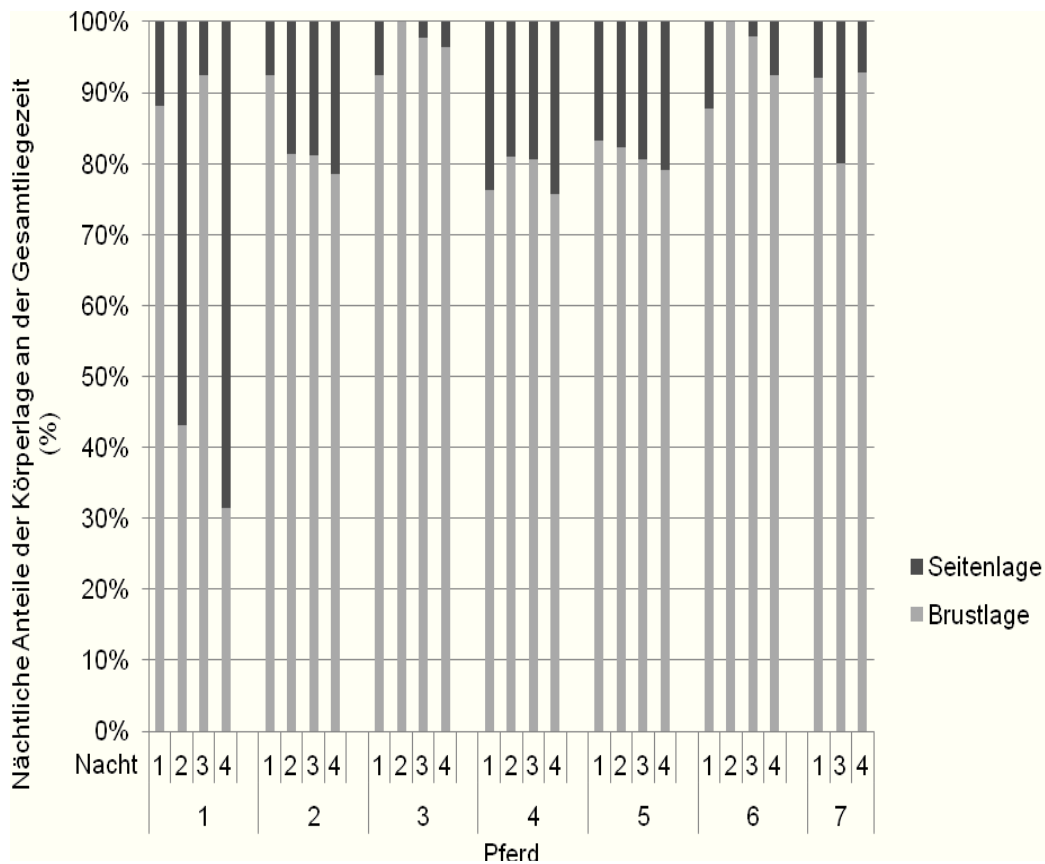


Abbildung 26: Prozentualer Anteil der nächtlichen Brust- und Seitenlagedauer an der Gesamtliegezeit aller Pferde über alle Nächte

Die Pferde 3, 4 und 5 lagen im Vergleich zum Rest jede Nacht auffallend gleich lang in Brust- und in Seitenlage, wobei Pferd 4 mit einem Variationskoeffizienten von 2,3 % in der Brustlagedauer am wenigsten variiert. Auch sonst schwanken die Tiere in diesem Parameter alle mit Variationskoeffizienten bis zu 8,2 % nur mäßig ($n=4$ Nächte). Einziger Ausreiser ist, wie deutlich ersichtlich, Pferd 1. Dieses Pferd, mit dem höchsten mittleren Seitenlageanteil an der Gesamtliegezeit (36,2 %), lag zwei Nächte prozentual gesehen sehr lange. Mit 56,9 % (Nacht 2) und 68,6 % (Nacht 4) lag es fast dreimal so lange wie jedes andere Pferd gemessen an deren Gesamtliegezeit. Bei den Pferden 3 und 6, den zwei Pferden, die sich jeweils eine Nacht nicht in Seitenlage legten, variiert die Seitenlagedauer dementsprechend am stärksten mit Variationskoeffizienten von über 100 %. Diese beiden Pferde waren auch die, die sich jede Nacht am wenigsten der Gesamtliegezeit und generell deutlich weniger als alle anderen Pferde in Seitenlage legten.

4. Schlaf in Abhängigkeit von der Körperlage

4.1. Abhängigkeit von Körperlage und Gesamtschlafzeit

Aus Tabelle 17 wird ersichtlich, in welcher Körperlage die Pferde ihren Schlaf verbrachten.

Tabelle 17: Nächtliche und mittlere Körperlagedauer im Stehen, in Brust- und in Seitenlage und deren prozentualer Anteil an der Gesamtschlafzeit

Pferd	Nacht	GSZ (min)	Stehen (S)		Brustlage (BL)		Seitenlage (SL)	
			min	% GSZ	min	% GSZ	min	% GSZ
1	1	149	82,1	55,1	59,9	40,2	7	4,7
	2	121	68,2	56,4	18,8	15,5	34	28,1
	3	121	94,4	78	24,6	20,4	2	1,6
	4	171	125,5	73,4	13,5	7,9	32	18,7
	MW	140,5	92,5	65,7	29,2	21,0	18,8	13,3
2	1	135	77,8	57,6	53,2	39,4	4	3
	2	168	112,7	67,1	43,3	25,8	12	7,1
	3	158	104	65,8	42	26,6	12	7,6
	4	117	60,3	51,5	43,7	37,4	13	11,1
	MW	144,5	88,7	60,5	45,5	32,3	10,3	7,2
3	1	237	102,9	43,4	123,1	52	11	4,6
	2	224	125,4	56	98,6	44	0	0
	3	242	153,9	63,6	87,6	36,2	0,5	0,2
	4	212	99,6	47	107,4	50,6	5	2,4
	MW	228,75	120,4	52,5	104,2	45,7	4,2	1,8
4	1	218	71,1	32,6	111,9	51,3	35	16,1
	2	207	87,8	42,4	95,2	46	24	11,6
	3	267	80,9	30,3	152,1	57	34	12,7
	4	268	105,9	39,5	120,1	44,8	42	15,7
	MW	240	86,4	36,2	119,8	49,8	33,8	14,0
5	1	187	61,3	32,8	105,7	56,5	20	10,7
	2	224	64,3	28,7	132,7	59,3	27	12
	3	275	55,9	20,3	173,1	63	46	16,7
	4	221	52,2	23,6	132,8	60,1	36	16,3
	MW	226,75	58,4	26,4	136,1	59,7	32,3	13,9
6	1	244	47,6	19,5	173,4	71,1	23	9,4
	2	224	123,7	55,2	100,3	44,8	0	0
	3	213	111,4	52,3	99,6	57,9	2	0,9
	4	249	93,9	37,7	147,1	59,1	8	3,2
	MW	232,5	94,1	41,2	130,1	55,4	8,3	3,4
7	1	223	86,1	38,6	129,9	58,3	7	3,1
	3	184	95,3	51,8	75,7	41,1	13	7,1
	4	224	127	56,7	89	39,7	8	3,6
	MW	210,3	102,8	49,0	98,2	46,4	9,3	4,6
Mittelwert (n=27, 7 Pferde)		203,0	91,5	47,3	94,5	44,2	17,0	8,5
Median		218,0	93,9	51,5	99,6	44,8	12,0	7,1
SEM		8,9	5,2	3,1	8,7	2,9	2,7	1,4
STABW		46,5	26,8	15,9	45,2	15,2	14,2	7,0
Minimum		117,0	47,6	19,5	13,5	7,9	0,0	0,0
Maximum		275,0	153,9	78,0	173,4	71,1	46,0	28,1

4.1.1. Interindividuelle Unterschiede

Die Dauer des Schlafens im Stehen und in Brust- und Seitenlage ist, ebenso wie die Gesamtschlafzeit und die Liegedauer in Brust- und Seitenlage, mit der sie verknüpft sind, von der Messdauer abhängig. Dementsprechend ist es nicht verwunderlich, dass die Pferde 1 und 2 die meiste Zeit im Stehen schliefen und hier eine eindeutige Korrelation zur Messdauer besteht (s. Abbildung 28).

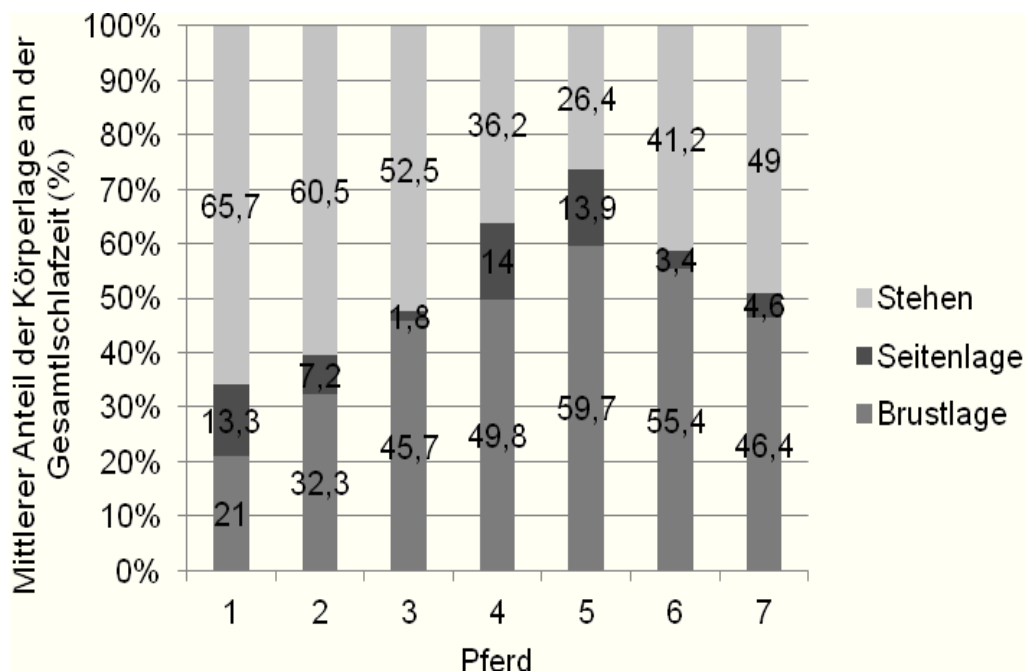


Abbildung 28: Prozentualer Anteil der mittleren Steh-, Brust- und Seitenlagedauer an der Gesamtschlafzeit

Bei der Abhängigkeit von Schlaf und Körperhaltung zeigten sich hohe interindividuelle Unterschiede. Manche Pferde lagen im Schlaf kaum in Seitenlage (z.B. Pferd 3 nur 1,8 % der Gesamtschlafzeit), andere lagen mehr als halb so lang in Seiten- wie in Brustlage (Pferd 5 mit 13,9 %). Die Seitenlagedauer streut mit einem Variationskoeffizienten von 82,4 % von allen Schlafstadien am stärksten (n=27 Nächte, 7 Pferde). Die schlafend im Stehen verbrachte Zeit und der Schlaf in Brustlage schwankten mit einem Variationskoeffizienten von ca. 30 % in etwa gleich stark und nicht halb so stark, wie die Seitenlagedauer.

Berücksichtigt man nur die Pferde 3 bis 7, liegt die Schwankungsbreite der Körperlagen wieder um bis zu 50 % niedriger. Die Pferde mit ähnlicherer Messdauer verbringen auf die Nacht gesehen ihre Schlaf gleichmäßiger im Stehen, in Brust- oder in Seitenlage (n=19 Nächte, 5 Pferde).

4.1.2. Intraindividuelle Unterschiede

Bei Betrachtung der intraindividuellen Anteile der Brust- und Seitenlage sowie des Stehens an der Gesamtschlafzeit lässt sich bei den Pferden 4 und 5 dieselbe Regelmäßigkeit erkennen, wie in Bezug auf die Körperlage an der Gesamtliegezeit. Beide Pferde schliefen in Seitenlage jede Nacht fast gleich lang (s. Abbildung 28). Der Variationskoeffizient dieser Pferde liegt für diesen Parameter mit 15,8 % und 21,7 % deutlich unter denen der anderen Pferde. Am stärksten von Nacht zu Nacht schwankte dementsprechend Pferd 1 (Variationskoeffizient 93,2 %) (n=4 Nächte).

In Bezug auf den SWS-Schlaf ist die Schwankungsbreite mit Variationskoeffizienten von 4,5 % (Pferd 5) bis 65,7 % (Pferd 1) sehr hoch.

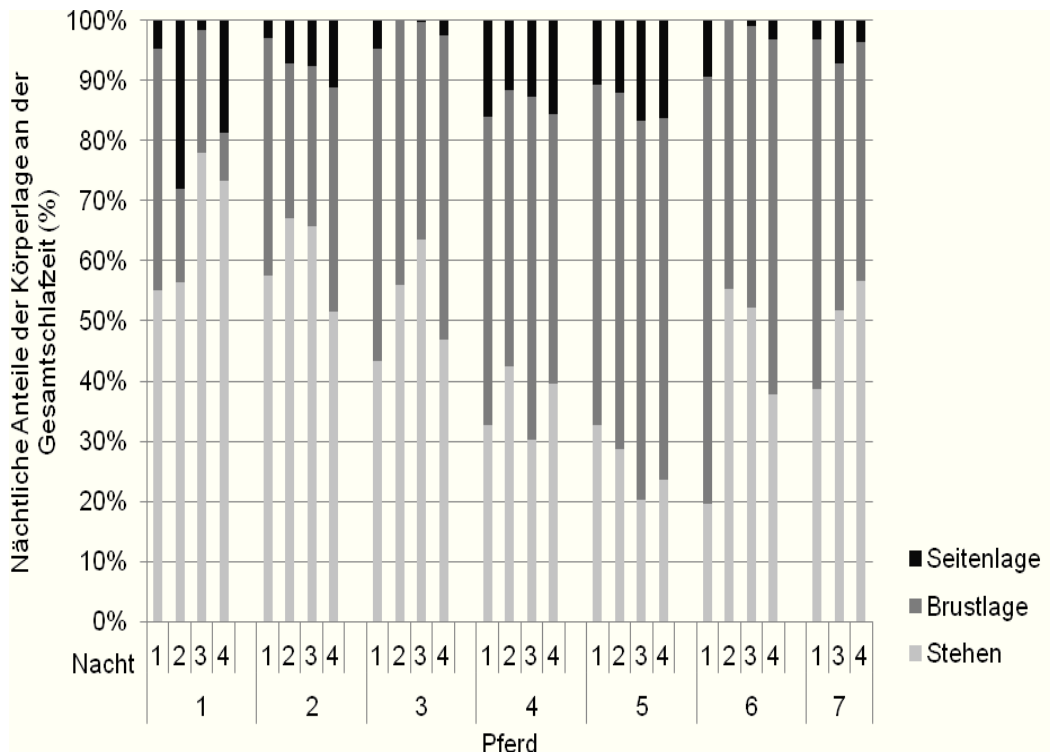


Abbildung 29: Prozentualer nächtlicher Anteil der Steh-, Brust- und Seitenlagedauer an der Gesamtschlafzeit aller Pferde

4.2. Abhängigkeit von Körperlage und Schlafstadien

Tabellen 18 und 19 geben einen Überblick über die nächtlichen und mittleren, absoluten REM-, SWS- und Leichtschlafzeiten in den verschiedenen Körperhaltungen sowie deren relativen Anteil an der Gesamtschlafzeit.

Tabelle 18: Zusammenhang der Schlafstadien mit der Körperlage
(BL=Brustlage, GSZ=Gesamtschlafzeit, MW=Mittelwert,
S=Stehen, SL=Seitenlage)

Pferd	Nacht	GSZ (min)	REM (min)		SWS (min)			LS (min)		
			BL	SL	S	BL	SL	S	BL	SL
1	1	149	26	7	77	28	0	8	3	0
	2	121	8	17	60	2	16	14	3	1
	3	121	16	1	86	3	0	7	7	1
	4	171	12	21	115	0	10	12	0	1
	MW	140,5	15,5	11,5	84,5	8,3	6,5	10,5	3,3	0,8
2	1	135	21	3	71	29	1	6	4	0
	2	168	16	6	86	25	4	25	4	2
	3	158	15	3	92	26	7	9	4	2
	4	117	19	7	55	21	5	4	5	1
	MW	144,5	17,3	4,3	76	25,3	4,25	11,0	4,3	1,3
3	1	237	24	0	51	73	10	50	28	1
	2	224	29	0	73	54	0	50	16	0
	3	242	47	1	90	15	0	71	18	0
	4	212	42	0	73	53	2	27	12	3
	MW	228,75	35,5	0,3	71,8	48,8	3,0	49,5	18,5	1,0
4	1	218	36	1	113	51	28	9	23	6
	2	207	20	9	86	52	9	15	13	5
	3	267	35	3	61	85	11	21	31	20
	4	268	25	12	79	73	12	22	27	18
	MW	240	29,0	6,3	84,8	65,3	15,0	16,8	23,5	12,3
5	1	187	16	3	45	69	6	20	17	11
	2	224	23	12	43	85	0	23	23	15
	3	275	27	29	43	112	2	11	36	15
	4	221	21	8	46	83	6	16	19	22
	MW	226,75	21,8	13,0	44,3	87,3	3,5	17,5	23,8	15,8
6	1	244	45	1	82	53	19	30	11	3
	2	224	41	0	86	53	0	38	6	0
	3	213	26	0	111	31	0	23	20	2
	4	249	34	2	153	42	5	12	1	0
	MW	232,5	36,5	0,8	108,0	44,8	6,0	25,8	9,5	1,3
7	1	223	23	0	48	74	5	45	26	2
	3	184	27	6	91	49	5	0	4	2
	4	224	16	3	103	63	3	23	11	2
	MW	210,3	22,0	3,0	78,3	62,0	4,3	22,7	13,7	2,0
MW (n=27, 7 Pfd.)		203	25,6	5,7	78,5	47,0	6,2	21,9	13,7	5,0
Median		218	24,0	3,0	79,0	52,0	5,0	16,0	12,0	2,0
SEM		8,9	1,8	1,4	5,1	5,5	1,3	3,1	2,0	1,3
Standardabweichung		46,5	10,3	7,2	26,4	28,5	6,7	15,9	10,3	6,8
Minimum		117	8,0	0,0	43,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maximum		275	47,0	29,0	153,0	112,0	28,0	71,0	36,0	22,0

Tabelle 19: Prozentuale Anteile der Schlafstadien im Stehen, Brust- und Seitenlage an der GSZ
(BL=Brustlage, GSZ=Gesamtschlafzeit, MW=Mittelwert, S=Stehen, SL=Seitenlage)

Pferd	Nacht	GSZ (min)	REM (%)		SWS (%)			LS (%)		
			BL	SL	S	BL	SL	S	BL	SL
1	1	149	17,4	4,7	51,7	18,8	0	5,4	2	0
	2	121	6,6	14	49,6	1,7	13,2	11,6	2,5	0,8
	3	121	13,2	0,8	71,1	2,5	0	5,8	5,8	0,8
	4	171	7	12,3	67,3	0	5,8	7	0	0,6
	MW	140,5	11,0	8,0	60,0	5,8	4,7	7,5	2,5	0,5
2	1	135	15,6	2	52,6	21,5	0,8	4,5	3	0
	2	168	9,5	3,5	51,2	14,9	2,4	14,9	2,4	1,2
	3	158	9,5	1,9	58,2	16,5	4,4	5,7	2,5	1,3
	4	117	16,2	6	47	17,9	4,3	3,4	4,3	0,9
	MW	144,5	12,7	3,4	52,2	17,7	3,0	7,1	3,0	0,9
3	1	237	10,2	0	21,5	30,8	4,2	21,1	11,8	0,4
	2	224	13	0	32,6	24,1	0	23,2	7,1	0
	3	242	19,4	0,4	37,2	6,2	0	29,4	7,4	0
	4	212	19,8	0	34,4	25	1	12,7	5,7	1,4
	MW	228,75	15,6	0,1	31,4	21,5	1,3	21,6	8,0	0,5
4	1	218	16,5	0,5	29,4	23,4	12,8	4,1	10,6	2,7
	2	207	9,7	4,3	41,6	25,1	4,3	6,3	6,3	2,4
	3	267	13,1	1,1	22,8	31,8	4,1	7,9	11,6	7,4
	4	268	9,3	4,5	29,5	27,2	4,5	8,2	10,1	6,7
	MW	240	12,2	2,6	30,8	26,9	6,4	6,6	9,7	4,8
5	1	187	3,5	1,6	24,1	36,9	3,2	10,7	9,1	5,9
	2	224	10,3	5,3	19,2	37,9	0	10,3	10,3	6,7
	3	275	9,8	10,6	15,6	40,7	0,7	4	13,1	5,5
	4	221	9,5	3,6	20,8	37,6	2,7	7,2	8,6	10
	MW	226,75	9,5	5,3	19,9	38,3	1,7	8,0	10,3	7,0
6	1	244	18,5	0,4	33,6	21,7	7,8	12,3	4,5	1,2
	2	224	18,3	0	38,4	23,7	0	16,9	2,7	0
	3	213	12,2	0	52,1	14,6	0	10,8	9,4	0,9
	4	249	13,7	0,8	61,4	16,9	2	4,8	0,4	0
	MW	232,5	15,7	0,3	46,4	19,2	2,5	11,2	4,2	0,5
7	1	223	10,3	0	21,5	33,2	2,2	20,2	11,7	0,9
	3	184	14,7	3,3	49,4	26,6	2,7	0	2,2	1,1
	4	224	7,2	1,3	46	28,1	1,3	10,3	4,9	0,9
	MW	210,3	10,7	1,5	38,9	29,3	2,1	10,2	6,3	1,0
Mittelwert (n=27,7 Pfd.)		203,0	12,4	3,1	40,0	22,7	3,1	18,6	6,3	2,2
Median		218,0	12,2	1,6	38,4	23,7	2,4	8,2	5,8	0,9
SEM		8,9	0,8	0,7	3,0	2,1	0,7	1,3	0,8	0,5
STABW		46,5	4,3	3,8	15,6	11,1	3,5	6,9	3,9	2,8
Minimum		117,0	3,5	0,0	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maximum		275,0	19,8	14,0	71,1	40,7	13,2	29,4	13,1	10,0

Der Großteil des Schlafes wird, wie bereits eingehend beschrieben, im SWS-Schlaf verbracht (>60 %), wovon wiederum der deutlich größere Anteil auf das Stehen (40 %), ein wesentlich kleinerer auf die Brust- und sehr wenig auf die Seitenlage entfällt. Prozentual gesehen folgen REM- und Leichtschlaf in Brustlage (n=27 Nächte, 7 Pferde). Am wenigsten schliefen die Tiere im Leichtschlaf in Seitenlage, was sich mit der Stellung des Pferdes als Fluchttier und der Dauer des Aufstehvorganges, der eine Flucht verzögern würde, deckt. Dementsprechend findet der Großteil des Leichtschlafes auch im Stehen statt (>50 %). Ein Ablegen ist hierfür zwar möglich, aber nicht nötig.

Es fällt auf, dass die Dauer des REM-Schlafes, verglichen mit den anderen zwei Schlafstadien, in den verschiedenen Körperhaltungen mit Abstand am stärksten schwankte. Variationskoeffizienten deutlich über 100% und Minima-Maxima-Spannen bis zum 40-fachen machen dies deutlich. Die Pferde verbrachten im Mittel mehr Zeit ihres REM-Schlafes in Brust- (12,4 % der Gesamtschlafzeit) als in Seitenlage (3,1 % der Gesamtschlafzeit). Mit einem Variationskoeffizienten von 34,7 % ist die REM-Schlafzeit in Brustlage wesentlich konstanter als die in Seitenlage, welche mit einem Variationskoeffizienten von deutlich über 100 % interindividuell sehr stark streute (n=27 Nächte, 7 Pferde).

Mit am stärksten (ebenfalls mit einem Variationskoeffizienten von >100 %) streute der Parameter SWS-Schlafdauer in Seitenlage (n=27, 7 Pferde).

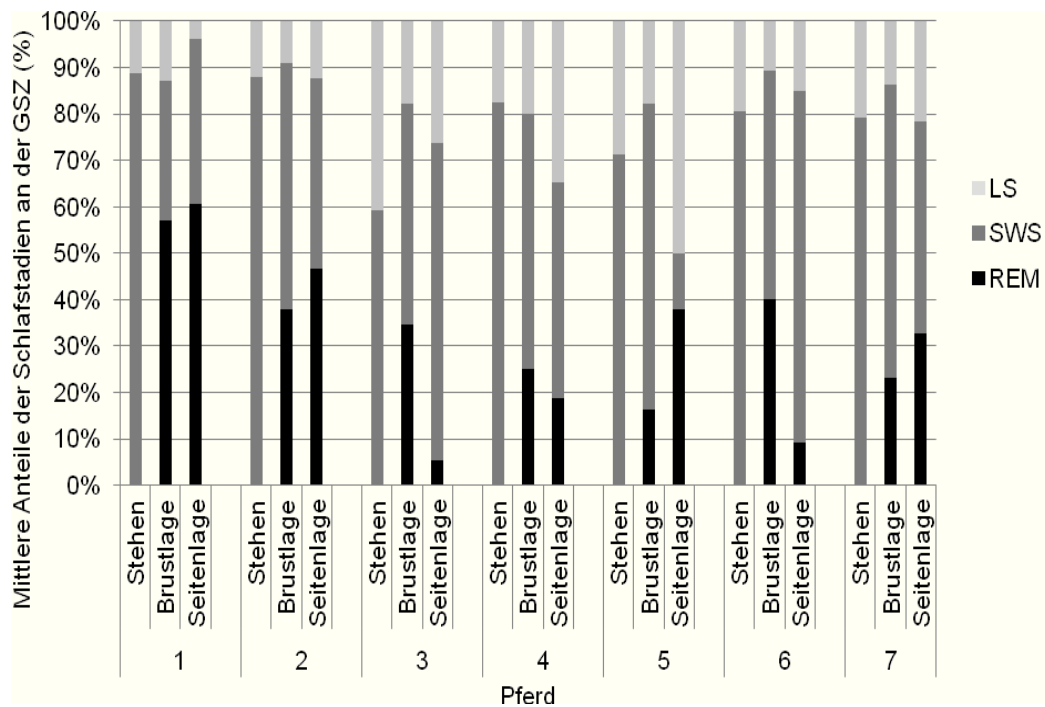


Abbildung 30: Prozentualer Anteil der mittleren Steh-, Brust- und Seitenlagedauer in Abhängigkeit vom Schlafstadium (GSZ= Gesamtschlafzeit)

Betrachtet man die Pferde 1 und 2, weisen diese einen wesentlich höheren prozentualen REM-Anteil auf, als die anderen Pferde, was sich in der kürzeren Messdauer begründet. Errechnet man den Mittelwert und den Median nur aus den Pferden 3 bis 7 ($n=19$ Nächte, 5 Pferde), ist zwar das n kleiner, aber die Werte für den REM-Schlaf in Seitenlage sowie den SWS- und Leichtschlaf im Stehen liegen deutlich näher beieinander, für die Leichtschlafphase in Seitenlage jedoch viel weiter auseinander. Auch die Variationskoeffizienten der Mittelwerte von Pferd 3 bis 7 liegen alle deutlich unter denen, bei deren Berechnung die Pferde 1 und 2 eingeschlossen waren.

Bei Pferd 1 fällt zudem auf, dass es fast gleichviel Zeit des REM-Schlafes in Seiten-, wie in Brustlage verbrachte.

5. Einfluss von Ruhe und Belastung

Eingehend ist zu erwähnen, dass die vorliegenden Daten keinerlei Hinweise gaben, die darauf hindeuteten, dass es signifikante Unterschiede im Schlafverhalten nach Ruhe- und nach Belastungstagen gibt.

Um dies zu überprüfen, wurden jeweils aus allen Messungen nach Ruhe (n=13 Nächte, 7 Pferde) und aus allen Messungen nach Belastung (n=14 Nächte, 7 Pferde) pferdeunabhängig die Mittelwerte für einige ausgewählte Parameter gebildet und diese verglichen (s. Tabelle 20).

Tabelle 20: Vergleich der Mittelwerte einiger ausgewählter Parameter nach Ruhe und nach Belastung
(GSZ=Gesamtschlafzeit, GLZ=Gesamtliegezeit, LS=Leichtschlaf)

	nach Ruhe (n=13)				nach Belastung (n=14)			
	min	% MD	% GSZ	% GLZ	min	% MD	% GSZ	% GLZ
GSZ	197,0	49,6	100,0	-	208,7	52,4	100,0	-
REM-Dauer	29,8	7,6	15,5	-	32,7	8,2	15,8	-
- Brustlage	25,3				25,9			
- Seitenlage	4,7				6,8			
SWS-Dauer	124,5	31,5	64,0	-	137,3	34,8	67,0	-
- Stehen	67,2				88,6			
- Brustlage	49,8				44,3			
- Seitenlage	7,5				4,8			
LS -Dauer	42,8	10,5	20,6	-	38,7	9,4	17,2	-
- Stehen	25,7				18,6			
- Brustlage	13,6				13,7			
- Seitenlage	3,5				6,4			
Stehen	256,7	65,8	45,0	-	267,7	69,0	49,4	-
GLZ	137,9	34,2	55,0	100	126,6	31,0	50,6	100,0
- Brustlage	118,8	29,3	46,5	86,2	105,4	25,7	42,1	83,5
- Seitenlage	19,1	4,9	8,5	13,8	21,1	5,3	8,4	16,5

Wie aus Tabelle 20 ersichtlich wird, liegen die Werte von Ruhe und Belastung bei allen Parametern in gleicher Größenordnung, die Mittelwerte differieren immer nahe 0. Es konnten keine signifikanten Unterschiede in keinem Parameter festgestellt werden und die Tiere schliefen im Mittel nach Ruhe und nach Belastung relativ gleich. Die

prozentuale REM-Schlafdauer an der Gesamtschlafzeit ist mit 15,5 % nach Ruhe und 15,8 % nach Belastung sehr ähnlich, so auch die REM-Schlafdauer in Brustlage mit 25,3 % und 25,9 % und die Leichtschlafdauer in Brustlage (13,6 % und 13,7 %). Der prozentuale Anteil der Brustlage an der Gesamtschlafzeit war mit 8,5 % und 8,4 % sogar nahezu identisch. Trotz der niedrigen Fallzahl konnte sogar für zwei Parameter (Gesamtschlafzeit und prozentualer Anteil des SWS-Schlafes an der Gesamtschlafzeit) Äquivalenz zwischen Ruhe und Belastung (max. 15 % Unterschied) nachgewiesen werden. Bei den anderen Parametern reichte das kleine n vermutlich nicht aus, um Äquivalenz nachzuweisen.

Von den 31 verglichenen Parametern war bei 9 die interindividuelle Varianz nach Ruhe höher als nach Belastung, bei 22 Parametern nach Belastung höher als nach Ruhe. Der Unterschied von Ruhe und Belastung war zwar nicht im Mittel vorhanden, trotzdem zeigten die Tiere nach Belastung also ein etwas individuelleres Schlafverhalten. Dies ist verwunderlich, da man nach Belastung intuitiv ein größeres Schlafbedürfnis sowie einen „gleichförmigeren“ Nachtablauf vermuten würde.

V. DISKUSSION

1. Wahl der Methodik

Für die vorliegenden Untersuchungen zum Schlafverhalten des Pferdes wurden von sieben Pferden über insgesamt 27 Nächte EEG, EOG und EMG mithilfe des tragbaren Polysomnographen "Somnoscreen™ plus" aufgezeichnet. Zudem wurden die Tiere die gesamte Messdauer mittels einer Infrarot-Videokamera überwacht. Diese Kombination aus Elektroenzephalographie, dem Goldstandard der Schlafdiagnostik, und der Kamera als bildgebendem Mittel, liefert zuverlässige Daten zur genauen Beurteilung des Schlafes (TOBLER, 1995; KEENAN et al., 2013a).

Für die Untersuchungen wurden nicht-invasive Napfelektroden verwendet, die auf rasierte und entfettete Stellen am Pferdekopf geklebt wurden. Diese Methode der EEG-Durchführung ist zuverlässig und für klinische Untersuchungen geeignet (MYSINGER et al., 1985). Die Positionierung der Elektroden erfolgte nach schematischer Orientierung an eindeutigen anatomischen Merkmalen bei jedem Pferd individuell an dessen Schädelanatomie angepasst. Neben der gängigen Befüllung der Elektroden mit Elektrodencreme (ZSCHOCKE, 2002; WITTE et al., 2006; WILLIAMS et al., 2008), wurden diese aber für eine bessere Haltbarkeit zudem noch mit Sekundenkleber festgeklebt, da sich die Haltbarkeit der Elektrodencreme in vorangegangenen Praktikabilitätsproben nicht als genügend herausgestellt hatte. Zur zusätzlichen Fixation der Elektroden und Elektrodenkabel sowie des tragbaren Polysomnographen wurden den Pferden für die Messdauer noch ein hochelastischer, enganliegender Sleezy® (Halbdecke zum Schutz von Kopf und Hals) angezogen. Dennoch war ein Abreißen der Elektroden durch Wälzen, Scheuern o.ä. nicht immer vermeidbar. War die EEG-Ableitung aufgrund einer oder mehrerer loser Elektroden nicht mehr eindeutig zuordenbar, wurde die Messung bis zu diesem Zeitpunkt gekürzt und der Rest der Messung von der Analyse ausgeschlossen. Daraus, ebenso wie aus einer unterschiedlich langen Akkulaufzeit des Polysomnographen, ergaben sich

die verschiedenen langen Messdauern der Pferde.

Durch eine Implantation der Elektroden, wie zum Beispiel bei den Versuchen von GRABOW et al. (1969) und GARNER et al. (1972), könnte zwar ein sicherer Sitz der Elektroden, sowie eine größere Bandbreite im EEG und eine Reduktion der Muskelartefakte, gewährleistet werden, es handelt sich hierbei aber um eine invasive Methode, deren Nutzen aber eine niedrigere Besitzercompliance (Optik, Infektionsrisiko etc.) und deutlich größerer Vorbereitungsaufwand (Tierversuchsantrag, Anästhesie, sterile Kautelen etc.) entgegen steht. Für die Durchführung eines Langzeit-EEG beim Pferd über mehrere Tage sollte diese Methode in Betracht gezogen werden, für Aufnahmen über eine begrenzte Anzahl von Nächten sowie zur Diagnostik intrakranialer Erkrankungen genügt aber das Kleben der Elektroden (MYSINGER et al., 1985; GÜNTNER, 2010; VAN DER REE & WIJNBERG, 2012).

Wie bereits von GÜNTNER (2010) beobachtet, wurden die Tiere weder durch das Gerät, welches im Halsbereich nahe der Ganasche fixiert wurde, noch durch die Elektrodenkabel oder den Sleezy gestört. Zudem war der komplette Versuchsaufbau zur Gewöhnung bereits eine Nacht vor Beginn der Messungen bei jedem Pferd angebracht. Auch war die Videokamera schon vorab installiert worden, um die Pferde während der Aufzeichnungen nicht unnötig zu beunruhigen.

Die Auswertung der Messungen erfolgte auf Basis der Analysesoftware DOMINO®. Diese ist für die Auswertung des menschlichen Schlafes konzipiert und teilt die Ableitungen, neben der Darstellung und manuellen Bearbeitungsoption, nach Treffsicherheiten in die verschiedenen Schlafstadien ein. Dieses automatische Analysetool wurde in den vorliegenden Untersuchungen nicht verwendet. Stattdessen wurde jede 30-Sekunden-Epoche manuell anhand der zugrundeliegenden „pferdespezifischen“ Charakteristika für die einzelnen Schlafstadien editiert. So konnte das Risiko eliminiert werden, dass Epochen von der Software falsch kategorisiert oder wegen zu geringer Sicherheit von der Auswertung ausgeschlossen werden müssen. Die manuelle Kategorisierung der Ableitungen konnte, nach etwas Übung und dank der Einteilung in nur vier Wachsamkeits- bzw. Schlafzuständen (s.u.), sicher

und relativ zügig vorgenommen werden. Dank der Zuhilfenahme von Videoaufzeichnungen sowie optionaler Verschaltung der Referenzen im Analyseprogramm (z.B. bei einer losen Elektrode oder Artefakten durch Ohrenbewegungen) konnte auch in von der Standardverschaltung her unsicheren Fällen eine sichere Zuordnung erfolgen.

2. Versuchsbedingungen und untersuchte Pferde

Die untersuchten Pferde waren Warmblutwallache und –stuten verschiedenen Alters (8-20 Jahre), die alle seit mindestens einem Jahr im gleichen Stall und zudem seit mindestens einem Jahr in derselben Box dieses Stalles untergebracht waren, in der sie sich während der Messungen befanden. Die Untersuchungen fanden somit im gewohnten Haltungsumfeld der Tiere statt und auch im Tagesablauf und Handling änderte sich nichts. Das Reiten oder Longieren erfolgte durch den Besitzer und auch das körperliche Training an den Belastungstagen war für die Pferde ein gewohntes und alltägliches Prozedere. Die Tiere wurden zwar deutlich belastet, aber nie an ihre Leistungsgrenzen getrieben. Es handelte sich um intensive Bewegungseinheiten, die alle Pferde in der Regel 2-3x wöchentlich auch außerhalb der Versuchszeit ableisten. Dies unterstützt die Aussagekräftigkeit der Messungen enorm. Pferde können nämlich für die Anpassung und Gewöhnung an neue Umweltbedingungen Monate brauchen (RUCKEBUSCH et al., 1970; VAN TWYVER et al., 1973; RUCKEBUSCH, 1975b, 1975a; CAMPBELL & TOBLER, 1984) und ein Wechsel in eine ungewohnte Umgebung hat wahrscheinlich einen deutlichen Einfluss auf das Schlafverhalten. Der Großteil der Untersuchungen zum Schlafverhalten wird meist unter stark vereinfachten Laborumgebungen durchgeführt (LIMA et al., 2005) und die so gemessenen Parameter würden unter natürlichen Feldbedingungen wohl deutlich abweichen (RUCKEBUSCH, 1972). Bei den meisten bisherigen Untersuchungen beim Pferde wurden diese meist erst kurz vor der Durchführung in den Stall für die Messungen verbracht.

In dieser Studie wurden die Pferde in der heute üblichsten Haltungsform, der Einzelboxenhaltung, gehalten (BREDENBRÖKER, 2003) und hatten

jeweils zu zweit täglichen mehrstündigen Zugang zu einer kleinen Graskoppel. Diese Möglichkeit zu freier, selbstbestimmter Bewegung soll das Ruhebedürfnis der Pferde steigern (WERHAHN et al., 2012a). Die Vergleichbarkeit mit Beobachtungen von in Gruppenhaltung lebenden oder freilebenden Pferden ist aber aufgrund des Wegfalls des Einflussfaktors Rangordnung und des komplett anderen „Managementumfeldes“ schwierig (IHLE, 1984; STEIDELE, 2011; WÖHR et al., 2011). Genaugenommen ist schon ein Vergleich mit Pferden aus anderen Stallungen schwierig, da diese durch andere Fütterungszeiten, Boxengrößen und andere Handlingparameter einen anderen Tagesablauf haben als diese Pferde. Dennoch liegt ein Vergleich zumindest mit Tieren aus Boxenhaltung aus Praktikabilitätsgründen und mangelnder sonstiger Vergleichbarkeit nahe.

Hier muss noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die meisten Dokumentationen zum Schlaf des Pferdes sowieso auf Beobachtungen und nicht auf polysomnographischen Messungen beruhen. EEG-Ableitungen über ganze Nächte wurden, im Gegensatz zu rein visuellen Beobachtungen, bisher erst von einigen wenigen Forschern durchgeführt. 24-Stunden-Ableitungen wurden bisher nach eigenem Kenntnisstand noch gar nicht durchgeführt. Diese wären aufgrund der Konzentration des Schlafes auf die Nachtstunden sowie der Masse überflüssiger und unauswertbarer Daten aus Aktivitätsphasen (Fress-, Trink- und Bewegungs/Spielzeiten) wohl auch wenig zielführend, wobei bei sehr schläfrigen Pferden oder reiner Boxenhaltung evtl. ein Einsatz gegeben wäre. Zur Diagnostik cerebraler Erkrankungen könnten 24-Stunden-Messungen allerdings sehr wohl nützlich sein.

Die Versuche wurden in den Sommermonaten April bis August durchgeführt, um eine relativ gleichbleibende Umgebungstemperatur zu gewährleisten. Diese, sowie die Fliegenbelastung, haben nämlich einen Einfluss auf die Bewegungsaktivität (GILL, 1991). Die Tiere waren nachts alle mit derselben Fliegenbelastung konfrontiert, da die Ställe zu allen Seiten offen und eine nahezu ungehinderte Luftzirkulation möglich war.

Die Fallzahl von 7 Pferden liegt für die Schlafdiagnostik, auch beim Menschen, im oberen Drittel. In den meisten Versuchen bei großen

Säugetieren (RUCKEBUSCH, 1975a), werden 3 bis 9 Tiere untersucht, bei Pferden oft eher weniger (WILLIAMS et al., 2008; GÜNTNER, 2010; WILLIAMS et al., 2012).

3. Gesamtschlafzeit und Schlaffragmentierung

Die durchgeführten Messungen fanden an Boxenpferden mit täglichem Koppelgang nachts zwischen 22 und 5 Uhr statt und dauerten zwischen 5 und 7,5 Stunden. Damit ist eine generelle Vergleichbarkeit mit Verhaltensbeobachtungen auf der Basis von 24 Stunden schwierig. Auch wenn die Pferde vor allem nachts schlafen, ruhen und liegen sie doch auch tagsüber und Schlafepochen am Tage können trotz Koppelgang nicht komplett ausgeschlossen werden ((RUCKEBUSCH, 1972; FRASER, 1978; SAMBRAUS, 1991; TILGER, 2005) u.v.a.). Bei täglichen sporadischen Beobachtungen der Pferde am Tag auf der Koppel wurde allerdings keines der Pferde je eindeutig schlafend oder sehr lange Zeit bewegungslos beobachtet. Die meiste Zeit verbrachten die Tiere mit der Futteraufnahme, dem Umherlaufen oder dem Spielen mit ihrem Koppelkollegen. Ein Ablegen auf der Koppel wurde bei keinem der Pferde beobachtet. In Boxen gehaltene Pferde mit täglichem Koppelgang nutzen also offensichtlich die ruhigen Abend-, Morgen- und Nachtstunden wenn Stallruhe herrscht zum schlafen.

Die Gesamtschlafzeit der untersuchten Pferde betrug im Mittel $203 \pm 46,5$ min/Nacht (ca. 3,4 Std./Nacht) und damit 49 % der Messdauer. Da die Gesamtschlafzeit deutlich mit der Messdauer korrelierte, ist allerdings die Angabe prozentualer Anteile der gemessenen Parameter an der Messdauer besser geeignet. Die relativen Werte sowie der Median stellen das Schlafverhalten des Pferdes korrekter dar, als die absoluten Minutenwerte und der Mittelwert. So schliefen die Pferde im Schnitt 218 min/Nacht (ca. 3,6 Std./Nacht) und 52,6 % der Messdauer. Betrachtet man nur die fünf mindestens 6,5 Stunden gemessenen Pferde (6,5-7,5 Stunden) ergibt sich sogar ein Mittel von 228,6 Minuten Gesamtschlafzeit (ca. 3,8 Std./Nacht) und ein Anteil von 44,5 % bis 65,5 % Schlafzeit von der Messdauer mit einem Variationskoeffizienten von nur 1,5 %.

Diese Werte liegen sehr nahe an -und nur etwas über- anderen EEG-basierten Ergebnissen zum Schlaf des Pferdes aus der Literatur. Unabhängig von der Haltungform wird die Gesamtschlafzeit von den meisten Autoren mit ca. 3 Stunden angegeben (RUCKEBUSCH, 1972; CARSON & WOOD-GUSH, 1983; DALLAIRE, 1986; ZEPÉLIN, 1989; WILLIAMS et al., 2008). Angaben von Pferden in Boxenhaltung liegen bei ca. 2 (GÜNTNER, 2010) bis 3,5 Stunden (DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974a) und in Anbindehaltung im Stall bei ca. 3,8 Std./Nacht (RUCKEBUSCH, 1975a). Die gegenüber der Literatur etwas überdurchschnittliche Gesamtschlafzeit ist wohl durch das gewohnte Haltungsumfeld zu erklären (CAMPBELL & TOBLER, 1984). Die Tiere waren in ihrer gewohnten Box, fühlten sich sicher in ihrer Umgebung und konnten sich komplett entspannen. Bisher wurden, offensichtlich aus Praktikabilitätsgründen, noch keine polysomnographischen Untersuchungen zu Pferden in Auslauf-, Gruppenauslauf- oder semiwilder Haltung durchgeführt, daher fehlen hier Vergleichswerte. Die Aufzeichnung des EEGs verlangt entweder eine direkte Verbindung der Elektroden mit dem Empfängergerät oder es darf bei kabelloser Übertragung die Reichweite des Senders nicht überschritten werden. Zudem könnte das Erkundungsverhalten und die Neugier von Artgenossen zu einer Beschädigung der verwendeten Gerätschaften führen. In einem Versuch mit Pferden im Freien in Anbindehaltung wurde eine kürzere Gesamtschlafzeit von 101 bis 156 Minuten gemessen (RUCKEBUSCH, 1975a), was sich mit der Angst des Pferdes vor Fressfeinden in der freien Natur und mangelnder Fluchtmöglichkeit durch das Angebundensein deckt.

Verglichen mit reinen Beobachtungen, die nie das Schlaf-, sondern immer nur das Ruheverhalten der Pferde beschreiben können (HASSENBERG, 1971), liegen die gemessenen Werte folglich deutlich niedriger. Pferde ruhen nach Literaturangaben grob zwischen 5 und 9 Stunden am Tag (SCHÄFER, 1974; FRASER, 1978; IHLE, 1984; REES, 1986; SCHÄFER, 1991; ZEITLER-FEICHT, 2001b). Diese Werte basieren allerdings meist auf einer Beobachtungsdauer von 24 Stunden und beinhalten zudem eben sehr sicher auch Wachphasen, was den deutlichen Unterschied zu den

Werten aus EEG-Analysen erklärt. Zum eigentlichen Schlaf kommen hier noch ca. 2 Stunden des Dösens hinzu (SCHÖNING, 2008), was dann wiederum die tatsächlich gemessene mittlere Gesamtschlafzeit der Pferde von ± 3 Stunden bestätigt.

Auffällig war bei den eigenen Beobachtungen, dass das Einschlafen oft erstaunlich schnell ging. So nahmen die Pferde gerade noch Nahrung auf oder kommunizierten mit Ihren Boxennachbarn, hörten dann relativ plötzlich damit auf und nahmen eine schlaftypische Haltung ein. Dies beobachtete auch STEINHART (1937), der oft nur das Ausbleiben von Bewegungen als Unterschied zum Wachzustand sieht. Die Tiere entspannen sich und senken im Stehen dann allmählich den Kopf, wesentlich tiefer als im Wachzustand. Beim Ablegen aus dem ruhigen, bewegungslosen Stehen entstand bei Auswertung der Aufzeichnungen ebenfalls gelegentlich der Eindruck, die Pferde würden erst beim Auffallen auf den Boden erwachen.

Vergleicht man das Pferd mit den meisten anderen Säugetieren, schläft es deutlich kürzer und mit einem anderen Muster (WILLIAMS et al., 2008). Mehrere Schlaf- und Wachphasen wechseln sich bei diesem „polyphasischen Schlafmuster“ über die Nacht ab (ZEITLER-FEICHT, 2001b). Wilde und freilebende Pferde bewegen sich zur Futtersuche auf großen Territorien fort und haben keinen Schlafplatz, zu dem sie jede Nacht zurückkehren. Damit fehlt ihnen der sichere Unterschlupf, dessen tägliches Aufsuchen den meisten Säugetieren gemeinsam ist (HEDIGER, 1980). Als Beute- und Fluchttier schläft es aus evolutionsbiologischen Gründen immer nur kurze Abschnitte, wie auch andere durch Angreifer stark gefährdete Tiere (LIMA et al., 2005). Okapis schlafen zum Beispiel 60 min/Tag, Giraffen sogar nur ca. 20 min/Tag. (HEDIGER, 1980). Die anderen der Ordnung der Unpaarhufer angehörenden Arten schlafen ähnlich. Esel schlafen am Tag ca. 3,1 Stunden (RUCKEBUSCH, 1963), Tapire ca. 4 Stunden mit Phasenmaxima von ca. 10 Minuten (ZEPELIN & RECHTSCHAFFEN, 1974). Nach manchen Literaturangaben schlafen auch Pferde maximal 10 (DALLAIRE, 1986; MORRIS, 1998; PICCIONE et al., 2008) oder 20 Minuten am Stück (SCHÖNING, 2008). Andere dokumentierten ununterbrochene Schlafphasen von im Mittel 35 bis 40

oder bis zu 90 Minuten (DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974a). Die eigenen Messungen wiesen ebenfalls lange ununterbrochene Schlafphasen von bis zu 60 Minuten auf, wobei dabei meist mehrere Schlafstadien durchlaufen wurden. Aufgrund mangelnder sonstiger EEG-basierter Daten fehlen hier leider Vergleiche. Diese langen zusammenhängenden Schlafphasen konnten aber nicht bei allen Pferden beobachtet werden. Manche Pferde schliefen häufig in solch durchgängigen Blöcken, andere zeigten ein unruhiges Schlafmuster mit zum Teil minütlichen Schlafstadienwechseln. Das jeweilige Schlafprofil des Pferdes war dann intraindividuell jede Nacht aber relativ ähnlich. Es besteht somit die Vermutung, dass es beim Pferd verschiedene Schlaftypen geben könnte. Auch die nächtlichen intraindividuellen Gesamtschlafzeiten wichen bei den eigenen Untersuchungen wesentlich weniger voneinander ab, als die Interindividuellen. Jedes Pferd schlief über alle gemessenen Nächte ungefähr gleich lang. Auch DALLAIRE & RUCKEBUSCH (1974) sahen bei jedem Pferd einen eigenen Schlaf-Wach-Rhythmus mit wesentlich deutlicheren inter- als intraindividuellen Unterschieden und bereits STEINHART (1937) sah die Gesamtschlafdauer für das einzelne Pferd als ziemlich feststehend an. GÜNTNER (2010), der ebenfalls mehrere Nächte eines Pferdes untersuchte, konnte eine höhere intra-, als interindividuelle Ähnlichkeit in der Schlaffragmentierung feststellen, welche aber nicht so ausgeprägt war. Bei ihm fehlte allerdings auch die langjährige Gewöhnung der Pferde an deren Umwelt sowie die Standardisierung des Tagesablaufes.

Sollte es tatsächlich verschiedene Schlaftypen beim Pferd geben, stellt sich unweigerlich die Frage, ob dies dann auch unterschiedliche Ansprüche an Haltungsumwelt und Handling zu Folge haben könnte. Beim Menschen ist das Vorhandensein verschiedener sogenannter „Chronotypen“, die individuelle Unterschiede im Wach-Schlaf-Rhythmus und damit Zeiten größter Aktivität und Leistungsfähigkeit haben (Morgen-, Abend- oder Mischtypen), bereits bewiesen und wird immer häufiger bei der Zuweisung von Schichtarbeitsplätzen berücksichtigt (DINICH, 2004; GRIEFAHN, 2010). Dies wäre zum Beispiel besonders relevant für das Training von Rennpferden, die in der Regel unabhängig von deren, weil

unbekannten, Bestleistungszeiten, am frühen Morgen trainiert, ihre volle Leistung im Rennen dann aber immer am Abend abrufen müssen (MURPHY, 2010). Pferde, die generell „schlecht“ oder unruhig schlafen bzw. häufig aufwachen, brauchen vielleicht eine ruhigere Umgebung und eine frühere Stallruhe um sich optimal entspannen zu können.

4. Nomenklatur der Schlafstadien

Der Pferdeschlaf wurde in der Vergangenheit bereits mehrfach durch Beobachtungen sowie auch mittels EEG-Analyse auf Charakteristik und Morphologie einzelner Schlafstadien sowie das generelle elektrophysiologische Erscheinungsbild hin untersucht (u.a. neuerdings WILLIAMS et al. 2008, GÜNTNER 2010, WILLIAMS et al. 2012).

Die Einteilung des Schlafes in dieser Arbeit orientiert sich ebenfalls grundlegend an der humanmedizinischen Kategorisierung der Schlafstadien von RECHTSCHAFFEN & KALES (1968), da sich die Übernahme humanmedizinischer Bandgrenzen in die Veterinärmedizin durchgesetzt hat (KLEMM & HALL, 1974). Zudem wurden die Neuerungen der American Academy of Sleep Medicine von 2007 einbezogen (IBER et al., 2007). Es wurden EEG-, EOG- und EMG-Aufzeichnungen sowie deren synchrone Videobilder analysiert. Die Definition und Einteilung der Schlafstadien beim Menschen sind allerdings nicht eins zu eins auf das Pferd übertragbar (ALEMAN et al., 2008; WILLIAMS et al., 2008; GÜNTNER, 2010). Es gibt beim Pferd zum Beispiel keinen allgegenwärtigen, ausgeprägten α -Grundrhythmus (ALEMAN et al., 2008). Auch die Trennung der humanmedizinisch definierten Stadien 1 und 2 ist beim Pferd anhand polysomnographischer Ableitungen schwierig. So konnte GÜNTNER (2010) eine Trennung in diese beiden Stadien nur bei vier von sechs Pferden überhaupt nachweisen. Stadium 1 macht beim Menschen nur 3-8% des Schlafes aus und die meisten Menschen wissen nach Erwachen aus diesem Stadium nicht einmal, dass sie geschlafen haben. Bisher konnte zudem für die Stadien 1 und 2 keine unterschiedliche Bedeutung festgestellt werden (RAMA & ZACHARIAH, 2013). Der Übergang vom Wach- in den schläfrigen Zustand ist ebenfalls

manchmal nicht eindeutig zu identifizieren, da Pferde beim Dösen ein geringes Maß an Wachsamkeit behalten (ALEMAN et al., 2008). REM- und SWS-Schlaf unterscheiden sich im EEG zwar deutlich, der REM-Schlaf sieht aber dem EEG des schläfrigen Zustandes extrem ähnlich (WILLIAMS et al., 2008). Sogar beim Menschen gibt es teilweise Probleme der korrekten Kategorisierung. So sieht die REM-Phase zum Beispiel dem EEG der Phase 1, abgesehen von den REMs, sehr ähnlich (KEENAN et al., 2013b).

Aufgrund dieser bekannten Problematiken und der Tatsache, dass es bisher keine Hinweise auf eine klinische Relevanz für die Unterteilung in die humanmedizinischen Stadien 1-4 gibt, wurden in der vorliegenden Arbeit die Stadien 1 und 2 als Leichtschlaf (LS) bezeichnet und die Stadien 3 und 4 mit dem gängigen Begriff SWS-Schlaf als physiologische Einheit zusammengefasst (s.a. IBER et al. 2007, RAMA & ZACHARIAH 2013). Die Praktikabilität der manuellen Auswertung wurde so, durch eine deutlich erleichterte und beschleunigte bzw. eindeutigere Zuordnung der 30-Sekunden-Intervalle zu einem Stadium, deutlich verbessert. Es wurde also zwischen 4 Wachsamkeits- bzw. Schlafzuständen differenziert, nämlich den Stadien W=Wachzustand, LS=Leichtschlaf, SWS=SWS-Schlaf und REM=REM-Schlaf.

Die Problematik der vielfältigen, teils widersprüchlich gebrauchten Bezeichnungen für die verschiedenen Bewusstseinszustände ist bereits seit langem bekannt (JOUVET, 1967). Die Begriffe REM- und Non-REM-Schlaf sind fest etabliert und allgemein anerkannt, genauso die Zusammenfassung der Stadien 3 und 4 zum SWS-Schlaf ((HORNE, 1988; IBER et al., 2007) u.v.a.). Die Wahl für den Terminus „Leichtschlaf“ für die Phasen 1 und 2 begründet sich darin, dass dieser zum Einen als „Light Sleep“ mit derselben Abkürzung (LS) ins Englische übersetzt werden kann, zum Anderen geht man generell davon aus, dass die Schlaftiefe vom Wachzustand zum REM-Schlaf hin zunimmt und der Leichtschlaf somit als erste Schlafphase nach dem Wachzustand noch eine relativ „wache“ ist (LIMA et al., 2005). Damit wird die Vermutung von GÜNTNER (2010) aufgegriffen, dass es sinnvoll sein könnte „Befunde mit gemischtfrequentem EEG niedriger Amplitude, gelegentlichen K-

Komplexen und kleinen Augenbewegungen einem einheitlichen „Leichtschlaf-Stadium“ zuzuordnen“. Die Bezeichnung der Stadien 1 und 2 als Drowsiness (DR), wie von den meisten englischsprachigen Autoren verwendet (z.B. WILLIAMS et al. 2008 und 2010) ist ebenso möglich und kann als Synonym gebraucht werden. Dieses Stadium der „entspannten Wachheit“ (LEWIN, 1998), wird als Übergangszustand vom Wachzustand („alert wakefulness“) zum SWS-Schlaf verstanden, bei dem die Tiere ruhig Stehen oder Liegen, aber nicht ganz wach sind (WILLIAMS et al., 2012). Diese Bezeichnungen lassen aber jedoch eher auf die äußere Erscheinung des Pferdes schließen, als auf dessen elektrophysiologischen Gehirnzustand, und werden in der Literatur teilweise auch dem Wachzustand zugeordnet (RUCKEBUSCH, 1972; MCDONNEL, 2003). Der Begriff Schlummern (SCHÄFER, 1978) wird heute nur noch selten verwendet und scheint sehr wage ein Pferd in tiefem Schlaf im Liegen zu charakterisieren, wobei nicht klar ist, ob es sich im REM- oder SWS-Schlaf befindet. Generell ist die Verwendung von Adjektiven wie tief und leicht im Zusammenhang mit dem Schlaf schwierig, da meist keine genaue Definition des tatsächlichen elektrophysiologischen Zustandes des Gehirnes vorliegt und nur vermutet wird, in welcher Bewusstseinslage sich das Individuum befindet.

5. Dauer und Auftreten der Schlafstadien

In den durchgeführten Untersuchungen schliefen die Tiere ca. 30 min/Nacht im REM-, 130 min/Nacht im SWS- und 40 min/Nacht im Leichtschlaf. Der REM-Schlaf nahm somit etwa 15 %, der SWS-Schlaf 65 % und der Leichtschlaf 20 % der Gesamtschlafzeit ein, wobei der prozentuale Anteil der Schlafstadien bei allen Tieren in etwa derselben Größenordnung lag. Jedes Pferd zeigte jede Nacht alle Schlafstadien und diese auch jede Nacht relativ gleich lang. Selbstverständlich gab es bezüglich der Schlafstadiendauer auch Ausreisser, diese kamen aber nur selten vor und relativieren sich im Mittel wieder.

Die eigenen Ergebnisse stimmen sehr gut mit denen von WILLIAMS et al. (2008) überein, die für die REM-Schlafdauer unabhängig von der

Haltungsform ebenfalls 30 min/Nacht und 12-22 % der Gesamtschlafzeit angibt. BELL (1972) macht mit 15 % der REM-Dauer an der Gesamtschlafzeit identische Angaben. Auch ZEPELIN (1989) sieht das Pferd mit ca. 30 Minuten REM-Schlaf am Tag mit den Wiederkäuern im Vergleich zu anderen Säugern im unteren Bereich der REM-Schlafdauer. GÜNTNER (2010) stellte hingegen nur bei 5 von 7 untersuchten Pferden überhaupt jede Nacht REM-Schlaf fest. Auch liegt die von ihm angegebene REM-Dauer mit $7,3 \pm 6,6$ Minuten/Nacht deutlich unter den hier gemessenen Werten. In Anbindehaltung im Stall liegen die Werte mit 37 ± 3 Minuten/Nacht sogar etwas höher als die Eigenen (RUCKEBUSCH, 1975a). In vereinzelter Stallhaltung maßen DALLAIRE & RUCKEBUSCH (1974) noch höhere Werte von 54-88 min/Nacht und 21-27 % der Gesamtschlafzeit. Diese nutzten für die Ableitungen allerdings auch Implantationselektroden, was eine Vergleichbarkeit mit den hier gemessenen Werten in Frage stellt. Auch die mit implantierten Elektroden gemessenen Werte des SWS-Schlafes liegen analog denen des REM-Schlafes mit 135,6-203 min/Nacht höher. RUCKEBUSCH gab 1972 mit 125 Minuten unabhängig von der Haltungsform einen fast identischen Wert an.

Aufgrund der spärlichen Literatur und den unterschiedlichen Methoden und Voraussetzungen bisheriger Untersuchungen wird klar, dass ein Vergleich mit einigen der bisher publizierten Studien schwierig ist. Dennoch scheint sich grob ein Rahmen für die Dauer der einzelnen Schlafstadien beim Pferd erkennen zu lassen. Der REM-Schlaf scheint sich in Stallhaltung, abhängig von der Adaptation des Pferdes an die Umgebung, um Werte von 30 min/Nacht zu bewegen und liegt nur selten über einer Stunde. Auch sind Nächte komplett ohne REM-Schlaf möglich. Der SWS-Schlaf nimmt mit 2-3,5 Stunden den Großteil des Schlafes ein. Aufgrund der kleinen Versuchszahl sowie meist niedriger Fallzahlen sind diese Werte allerdings nur Vermutungen, die in weiterführenden Untersuchungen, möglichst unter simultanen Haltungsbedingungen und identischer Methodik, unbedingt weiter bestätigt werden müssen. Sie können nur vorerst als vage Richtwerte dienen.

Am unregelmäßigsten schliefen die Tiere in den vorliegenden

Untersuchungen im Leichtschlaf, der mit einem Variationskoeffizienten von fast 50 % sehr stark schwankte und dessen Anteil an der Gesamtschlafzeit zwischen 3,3 % und 36,8 % lag. Auf die Bedeutung des Leichtschlafes bzw. der Phasen 1 und 2 wurde bei bisherigen Studien kaum eingegangen und auch eine spezielle Funktion wird ihm, wie zum Beispiel dem REM-Schlaf, bisher nicht zugeordnet (CRICK & MITCHISON, 1983). Es liegt die Vermutung nahe, dass der Leichtschlaf in seinem zeitlichen Anteil an der Gesamtschlafzeit sehr variabel ist und kein festgesetzter Mindestbedarf an ihm besteht. Allerdings ist er zwingend notwendig, um vom Wachzustand in „tiefere“ Schlafstadien überzugehen und daher ein essentieller Bestandteil des Schlafes. Als relativ „wacher“ Schlafzustand sind die Tiere aus ihm schnell erweckbar, somit kann diese Schlafphase auch in Situationen stattfinden, in denen die Gegebenheiten für tiefere Schlafstadien nicht vorhanden sind (ALEMAN et al., 2008), zum Beispiel im Stehen.

Die Verteilung der REM-Phasen auf die Nachtstunden war deutlich signifikant. Der größte Anteil findet nach Mitternacht und in dieser Zeit vor allem nach 3 Uhr statt. Damit wird die allgemeine Annahme bestätigt, nach der die Schlaftiefe zum Morgen hin allmählich abnimmt, auch für das Pferd bestätigt (KEIPER & KEENAN, 1980; HORNE, 1988). Es werden vor allem die frühen Morgenstunden für den „Traumschlaf“ genutzt, aus dem die Tiere leichter erweckbar sind, als aus vorangegangenen Schlafphasen.

6. Liegeverhalten

Die Gesamtliegezeit der Pferde betrug durchschnittlich $132 \pm 57,5$ min/Nacht und 33,3 % der Messdauer, wobei sich alle Pferde jede Nacht hinlegten. Lässt man die beiden kürzer gemessenen Pferde außen vor, da die Liegedauer sehr stark mit der Messdauer korreliert, liegen die Werte mit 162 min/Nacht und 38 % der Messdauer deutlich höher. Der Großteil des Liegens findet signifikant nach Mitternacht statt, wobei dann die Häufigkeit der Liegephasen nicht mehr an die Uhrzeit gekoppelt ist. Dies bestätigt die Mehrheit der Literaturangaben, nach denen der Großteil des

Liegens zwischen Mitternacht und Sonnenaufgang stattfindet (DALLAIRE & RUCKEBUSCH, 1974b; SCHÄFER, 1978; IHLE, 1984; PEDERSEN et al., 2004; TILGER, 2005). Auch die Liegedauer stimmt mit den Angaben der meisten Autoren überein, nach denen sich Pferde im Schnitt zwischen 2 und 3,5 Stunden am Tag hinlegen (LITTLEJOHN & MUNRO, 1972; RUCKEBUSCH, 1972; REES, 1986; KILEY-WORTHINGTON, 1990; GEISER, 2001; PEDERSEN et al., 2004; RAABYMAGLE & LADEWIG, 2006; BAUMGARTNER, 2012; WERHAHN et al., 2012a; GREENING et al., 2013).

Nur in zwei der 27 Nächte konnte bei zwei unterschiedlichen Pferden keine Seitenlage beobachtet werden, sonst legten sich alle Pferde mindestens einmal pro Nacht in Seitenlage. GÜNTNER (2010) und WILLIAMS et al. (2008) konnten widersprüchlicherweise nie bei allen untersuchten Pferden ein Ablegen in Seitenlage feststellen. Die beobachtete Seitenlagedauer betrug im Mittel $20,2 \pm 15,8$ min/Nacht bzw. 15 % der Gesamtliegezeit und stimmt somit mit den Angaben der Literatur überein, nach denen Pferde nur selten länger als 30 Minuten (CARSON & WOOD-GUSH, 1983), bzw. 23 Minuten (LITTLEJOHN & MUNRO, 1972) in Seitenlage verbringen. Der Median liegt mit 14 min/Nacht sogar auch unter den von SCHÄFER (1978) angegebenen 15 Minuten (SCHÄFER, 1978). Die Beobachtungen von GÜNTNER (2010), dessen Pferde nie länger als 10 Minuten am Stück in Seitenlage lagen, sowie die von BAUMGARTNER (2012), deren Tiere ebenfalls an deren Umwelt gewöhnt waren und trotzdem selten mehr als 20 Minuten am Stück lagen, konnte nicht bestätigt werden. Im Gegenteil dauerte die deutliche Mehrzahl der Liegephasen sogar über 20 Minuten, mit Minimal- und Maximalwerten von 12 und 152 Minuten am Stück. Auch hier muss wieder auf die Haltungsform sowie die sehr gute Gewöhnung der Tiere an ihre Umwelt hingewiesen werden, die bei den anderen Studien nicht in diesem Maße vorhanden war.

Die Mehrheit der Pferde zeigte zwischen 3 und 4 Liegephasen/Nacht und lag damit unter den $4,8 \pm 2,5$ Liegephasen/Tag von FADER (2002). Diese betrachtete allerdings auch die gesamten 24 Stunden eines Tages und nicht nur die Nachtperiode. Die Verteilung der Liegephasen über die Nacht

ist interindividuell sehr verschieden, intraindividuell lassen sich allerdings durchaus Ähnlichkeiten von Nacht zu Nacht feststellen. Zwei Pferde ähnelten sich im Liegeverhalten auffallend stark. Sie lagen auf die Gesamtliegezeit gesehen relativ gleich lang in Brust- und in Seitenlage und zeigten ein unruhiges Liegeprofil, bei dem sehr häufig zwischen Brust- und Seitenlage gewechselt wurde. Auch BAUMGARTNER (2012) beobachtete ein mehrmaliges Einnehmen der Seitenlage in jeder Liegephase. Oft wechselten die Pferde zwischen beiden Körperhaltungen mehrmals pro Liegephase ab. Ein Pferd legte sich jede Nacht erst nach 3 Uhr, ein Anderes legte sich drei Nächte nur einmal und nur eine Nacht zweimal hin. Ob aber verschiedene „Liegetypen“ bei Pferden existieren, die jede Nacht mit dem gleichen Muster Liegen, muss in weiterführenden Untersuchungen mit mehreren Nächten am Stück bestätigt werden. Bisher wurde, nach aktuellem Kenntnisstand, noch kein Augenmerk auf ein wiederkehrendes intraindividuelles Liegeverhalten bei Pferden gelegt.

Der Großteil des Liegens wurde wie erwartet in Brustlage verbracht und dauerte im Mittel $111,9 \pm 51,1$ Minuten/Nacht bzw. 85 % der Gesamtliegezeit. Dieser Wert liegt sehr nahe an den ebenfalls 2013 in Boxenhaltung durchgeführten Beobachtungen von GREENING et al., die je nach Einstreu eine Brustlagedauer von 113-148 Minuten verzeichneten und deutlich über den von FADER 2002 ebenfalls in Boxenhaltung dokumentierten 85 min/Nacht. Ein Vergleich mit anderen Haltungssystemen ist aufgrund des Einflusses der Rangordnung, Witterung und unterschiedlicher Bodenverhältnisse nicht sinnvoll. So unterscheiden sich die Liegedauern zwischen ihnen teilweise um das Zwanzigfache (IHLE, 1984).

Intraindividuell variierte die Gesamtliegedauer wesentlich weniger als interindividuell, dennoch lagen manche Pferde von Nacht zu Nacht sehr unterschiedlich lange in Seitenlage, andere sehr gleichmäßig. Dies deckt sich mit den Beobachtungen vieler Autoren, von denen manche, wie bereits oben beschrieben, zum Teil gar keine Seitenlage oder generell überhaupt kein Ablegen verzeichnen konnten. Die Seitenlagedauer schwankte dabei mit 6,2-36,2 % von der Gesamtliegezeit wesentlich stärker, als die Brustliegezeit. Dies könnte, wie auch das Liegen generell,

mit dem aktuellen Sicherheitsgefühl und dem nächtlichen Wohlbefinden des Tieres zusammenhängen. Kranke Tiere legen sich zum Teil gar nicht ab (REES, 1986). Unpassender harter, oder durch Ausscheidungen verunreinigter Untergrund verhindert das Hinlegen ebenfalls (STEINHART, 1937). Zwar waren alle Pferde zum Untersuchungszeitpunkt in klinisch einwandfreier Verfassung und die Ställe wurden jeden Tag ordnungsgemäß abgemistet, dennoch können diese Faktoren als Ursache für das Nicht-Ablegen in gewissem Maße nie komplett ausgeschlossen werden. Bei dem Pferd mit den unterschiedlichsten nächtlichen Liegezeiten handelte es sich zudem um eines der jüngsten Pferde, was einen Einfluss des Alters auf die Seitenlagedauer ebenso ausschließt, wie die Tatsache, dass eines der jüngsten und eines der älteren Pferde fast gleich lang und generell nur sehr wenig der Gesamtliegezeit in Seitenlage verbrachten. Zudem hatte keines der Pferde motorische Probleme beim Ablegen und alle Tiere wälzten sich regelmäßig nach dem Reiten oder Longieren und auf der Koppel. Nächtliche Beeinflussungen durch Boxennachbarn, die nicht von der Kamera dokumentiert wurden, konnten nie komplett ausgeschlossen werden und ebenfalls der Grund für eine verminderte Liegezeit sein.

7. Schlaf in Abhängigkeit von der Körperlage

Bezüglich der Abhängigkeit verschiedener Schlafstadien von der Körperlage des Pferdes existieren viele, oft widersprüchliche Aussagen. Dies beginnt mit der oben bereits geschilderten Problematik der Nomenklatur und geht bis zu widersprüchlichen Aussagen über das Auftreten des REM-Schlafes.

Per Definition ist der REM-Schlaf ein Zustand von Muskelatonie, bei dem im EEG ein relativ flacher und unregelmäßiger Rhythmus und im EOG schnelle konjugierte Augenbewegungen auftreten (CARSKADON & DEMENT, 1989; SIEGEL, 2013b). Sieht man diese, auf Basis des menschlichen Schlafes stehende, Definition als für das Pferd gültig an, ist REM-Schlaf im Stehen unmöglich, da hier keine komplette Muskelrelaxation erreicht werden kann. Die Pferde können ihr Gewicht

unter der benötigten kompletten Muskelrelaxation nicht mehr tragen und müssen daher für den REM-Schlaf liegen (HOUP, 2005). Obwohl von einigen Autoren so dargestellt, konnte das Vorkommen von REM-Schlaf im Stehen bisher noch nicht zu hundert Prozent bestätigt werden. GÜNTNER (2010) dokumentierte zwar ein EEG, dass den Stadien 1 und 2 zum Verwechseln ähnlich sah, die charakteristischen, für die Definition des REM-Schlafes selber ausschlaggebenden, EOG-Schwankungen in Form von REMs fehlten aber. WILLIAMS et al. (2008) beobachteten zwar ein Übergehen in den REM-Schlaf im Stehen, der aber nie komplett vollzogen wurde. Vorher kollabierten die Pferde in den Vorderbeinen und erwachten. Die Behauptung, REM-Schlaf träte beim Pferde auch im Stehen auf, ist somit nicht wissenschaftlich fundiert und daher mit Vorsicht zu gebrauchen. In den vorliegenden Untersuchungen wurde REM-Schlaf nie im Stehen beobachtet. Zwar flachte das EEG der Tiere im Stehen (analog zu denen von WILLIAMS et al. 2008) ab, aber es traten keine REMs auf und die Tiere erwachten im Laufe der 30-Sekunden-Epoche. Möglicherweise haben Pferde, die im Stehen in den Übergang zum REM-Schlaf kommen, das Bedürfnis nach diesem Schlafstadium, können in dieser Körperlage dann aber nicht komplett übergehen. Unweigerlich stellt sich die Frage ob Tiere die sich, zum Beispiel wegen Stress mit ihren Boxennachbarn nicht, oder aufgrund altersbedingter orthopädischer Gründe nicht mehr, Ablegen und somit also keinen REM-Schlaf haben können, sich genug erholen. Die meisten Autoren sehen das Ablegen als essentiell für die Erholung des Pferdes an (STEINHART, 1937; IHLE, 1984; NICKEL et al., 2003). Es ist sehr wahrscheinlich, dass zur vollen Entfaltung der Vorteile des Schlafes alle Schlafstadien durchlaufen werden müssen (LIMA et al., 2005). Ein Ausbleiben von REM-Schlaf ist dauerhaft schädlich für die Gesundheit, da das Pferd ihn zur Regeneration braucht (SCHÖNING, 2008), aber offensichtlich, zumindest über eine lange Zeit, für das Pferd tragbar. Es können nämlich Pferde beobachtet werden, die sich monatelang nicht hinlegen.

In den eigenen Untersuchungen lagen die Pferde im REM-Schlaf entweder in Brustlage mit dauerhaft aufgestütztem Kopf oder in Seitenlage, wobei die Brustlage mit 12,4 % der Gesamtschlafzeit

gegenüber der Seitenlage (3,1 % der Gesamtschlafzeit) deutlich überwog. Dies ist angesichts der vermutlich höheren Muskelrelaxation in Seitenlage verwunderlich, die Brustlage bietet den Tieren allerdings eine wesentlich schnellere Fluchtmöglichkeit als in Seitenlage, da der Aufstehvorgang kürzer ist. Dass beim Pferd eine Form von REM-Schlaf im Stehen stattfinden kann, die sich dann aber in Definition und Erscheinungsbild von der beim Menschen auftretenden unterscheiden muss, kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Um beim Pferd Schlafphasen im Stehen als REM-Schlaf zu dokumentieren, müssen erst die Voraussetzungen und Charakteristika des „pferdespezifischen REM-Schlafes“ definiert werden. Dieser kann den REM-Phasen des Menschen morphologisch ähnlich sein, muss aber zumindest andere Grundlagen in der EOG- und EMG-Morphologie haben.

Andere Schlafstadien, die mit einem höheren Muskeltonus einhergehen, wie der SWS-Schlaf, können auch im Stehen auftreten (WÖHR & ERHARD, 2006; WILLIAMS et al., 2008). Laut Literaturangaben verbringen Pferde sogar 80 % der Gesamtschlafzeit im Stehen (RUCKEBUSCH, 1970), was in dieser Studie nicht bestätigt werden kann. Hier schliefen die Tiere im Durchschnitt 47 % der Gesamtschlafzeit im Stehen und 53 % im Liegen. Dies kann, wie auch die etwas längere Gesamtschlafzeit, wieder an der gewohnten Umgebung liegen. Pferde legen sich nämlich nur ab, wenn sie sich sicher fühlen (SAIKIN, 1911). In der Regel schlafen Pferde im Stehen ein und wenn sie sich in ihrer Umgebung sicher fühlen, legen sie sich ab in die Brustlage (DALLAIRE, 1986). Danach gehen sie nach mehr oder weniger langer Brustlagedauer in die Seitenlage und dann in dieser in den REM-Schlaf über (RUCKEBUSCH et al., 1970). Dank des passiven Stehapparates in der Hintergliedmaße des Pferdes („Spannsägenkonstruktion“) ist ein nahezu ermüdungsfreies Stehen möglich (SAMBRAUS, 1991), aus dem die Tiere bei Bedrohung rasch flüchten können (GILL, 1991). Der Schlaf im Stehen ist eine Besonderheit, die nur bei wenigen Säugetieren vorkommt. Der Großteil schläft in Seitenlage (HEDIGER, 1980; ZEPÉLIN, 1989). Große Pflanzenfresser wie Wiederkäuer, Elefanten und Giraffen schlafen ebenfalls, elektrophysiologisch bewiesen, im Stehen (TOBLER, 1995). Die

untersuchten Pferde schliefen sogar die Mehrheit des SWS-Schlafes im Stehen (40 %) und nur den kleinsten Teil in Seitenlage. Auch die Mehrheit des Leichtschlafes fand im Stehen und der kleinste Teil im Liegen statt. Es scheint, als würden die Pferde die Liegephasen, die sowieso schon nur einen sehr kleinen Zeitraum des Tages einnehmen, dann auch für die „tieferen“ Schlafstadien nutzen.

Es besteht grundsätzlich die Gefahr, ruhende Pferde im Stehen von in sich zurückgezogenen, „depressiven“ Pferden zu unterscheiden. Eine aktuelle Studie von FUREIX et al. (2012) beschäftigt sich mit der durch Domestikation und Stallhaltung hervorgerufenen Apathie bei Pferden, die sich in einer „verschlossenen Körperhaltung“ („withdrawn posture“) widerspiegelt. Diese unterscheidet sich von der Körperhaltung in Ruhe vor allem durch die Kopf-Halshaltung. Die Linie vom Widerrist über den Hals zum Genick ist hier ungewöhnlich gerade (180°), wohingegen bei entspannt ruhenden Pferden der Hals in der Regel einen natürlichen Bogen macht und das Genick sich meist über der Widerristhöhe befindet. In sich zurückgezogene Pferde reagieren auf externe Stimuli deutlich weniger, oft aber in manchen Situationen emotionaler. Sie unterscheiden sich von „normalen“ Pferden durch einen niedrigeren Cortisolspiegel.

8. Einfluss von körperlichem Training auf das Schlafverhalten

Die Auswirkungen sportlicher Betätigung auf den Organismus sind vielfältig und auch dessen Auswirkungen auf den Schlaf von allgemeinem Interesse. Beim Menschen gibt es verschiedenste, teils widersprüchliche Aussagen über die Effekte von Sport auf den Schlaf. Manche Autoren stellten keinen Einfluss von Bewegung auf den Schlaf fest (z.B. HORNE & PORTER 1975), andere wiesen signifikante Unterschiede nach (z.B. O`CONNOR & YOUNGSTEDT 1995, UCHIDA et al. 2012). Ob körperliche Anstrengung, auch zu bestimmten Tageszeiten, einen (eventuell negativen) Einfluss auf den Schlaf und damit auch die Leistungsfähigkeit des Pferdes hat, ist ebenfalls von großem Interesse. Bisher wurde diese Fragestellung leider nur sehr spärlich behandelt. SCHÖNING beschreibt

2008 zwar, dass Tiere nach körperlicher Arbeit insgesamt länger und auch deutlich häufiger in Seitenlage schlafen, in den eigens durchgeführten Untersuchungen konnte allerdings kein signifikanter Einfluss von abendlicher intensiver körperlicher Belastung auf den Schlaf des Pferdes festgestellt werden. Dies bestätigt die Beobachtungen von CAANITZ et al. (1991) die auch keine Unterschiede im Schlafverhalten zwischen auf dem Laufband trainierten Pferden und einer Kontrollgruppe feststellen konnten. Dies könnte dadurch begründet sein, dass alle hier untersuchten Pferde fitte, trainierte Individuen waren, für die das intensive abendliche Training nicht ungewöhnlich war.

9. Ausblick

Das Schlafverhalten des Pferdes und seine Beeinflussung durch verschiedene exogene Parameter wurden bisher nur sehr unzureichend untersucht. Zudem stützen sich die meisten bisherigen Dokumentationen zum Schlaf des Pferdes nur auf Beobachtungen, die den elektrophysiologischen Zustand des Gehirns nicht berücksichtigen und so keine sichere Unterscheidung von Wach- und Schlafzustand bieten. Um die in dieser Studie dokumentierten Ergebnisse zu untermauern und näher zu erörtern, sind weiterführende Untersuchungen nötig. Diese sollten mit einer möglichst großen Fallzahl und Tieren unterschiedlichen Trainingslevels, Charakters sowie verschiedener Nutzungsrichtungen, am besten aus denselben Stallungen und in deren gewohnter Umgebung, durchgeführt werden. Auch müssen zur besseren Beurteilung mehrere, am besten fortlaufende, Nächte eines Pferdes polysomnographisch aufgezeichnet werden. Genügend große homogene Gruppen etwa gleichalter Pferde, die zumindest in etwa den selben Trainingszustand und den selben Tagesablauf haben und damit der gleichen Stressbelastung ausgesetzt sind, sind nicht leicht zu finden. Daher könnte eine Kooperation mit größeren Gestüten und Pferdebetrieben sinnvoll sein.

Neben der Verbesserung der equinen Leistungsfähigkeit durch eine zeitliche Optimierung des Trainings sowie eine Minderung von Stress vor

Wettkämpfen hat die Elektroenzephalographie aber auch noch weitere zukunftssträchtige Einsatzgebiete. So könnten Schlafparameter mit relativ geringer nächtlicher inter- und intraindividuelle Streuung für die Diagnose von Narkolepsie oder anderen schlaf-assoziierten Erkrankungen relevant sein. Darüber ist beim Pferd bisher, außer den bekannten klinischen Anzeichen, nur sehr wenig bekannt. Vielleicht handelt es sich in vielen Fällen nur um eine ausgesprägte Form von ständigem In-sich-Kollabieren, weil sich die Pferde aus diversen Gründen nicht ablegen und versuchen, im Stehen in die REM-Phase zu kommen. Das EEG könnte sich auch bei Pferden mit epileptischen Anfällen zu einer wichtigen ambulanten Diagnosemethodik entwickeln (PUROHIT et al., 1981). Zu Veränderungen im EEG bei sedierten Pferden gibt es bereits mehrere Publikationen (GARNER et al., 1972; JOHNSON & TAYLOR, 1998; HOUP, 2005; ALEMAN et al., 2008; STEIDELE, 2011; BAUMGARTNER, 2012; WILLIAMS et al., 2012), da diese von besonderer klinischer Relevanz sind. Der Einfluss verschiedener Anästhetika auf das ZNS kann so bewertet werden (WILLIAMS et al., 2012). In Zukunft könnte das EEG eventuell auch zur Überwachung von Arzneimittelwirkungen herangezogen werden.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Schlafverhalten und Physiologie des Schlafes beim Pferd auf der Basis polysomnographischer Untersuchungen

In dieser Arbeit wurde zum ersten Mal die Schlafphysiologie des Pferdes über vier konsekutive Nächte und unter stark standardisierten Bedingungen mittels Polysomnographie untersucht. Von sieben, seit mindestens einem Jahr in denselben Stallungen beheimateten Pferden sehr ähnlichen Trainingszustandes und mit demselben Tagesablauf wurde das EEG (Elektroenzephalogramm) von insgesamt 27 Nächten analysiert (ein Pferd nur drei Nächte). Ziel dieser Studie war die Untersuchung und Beurteilung des equinen Schlafverhaltens in Bezug auf Dauer und Qualität der Schlafstadien, deren nächtliche Verteilung und Abhängigkeit von der Körperlage, sowie des Einflusses von körperlicher Belastung auf den Schlaf des Pferdes.

Auf Basis der Ergebnisse liegt nahe, dass bei Pferden in Einzelboxenhaltung mit täglicher Möglichkeit zu freier, selbstbestimmter Bewegung offensichtlich eine relativ feststehende Gesamtschlafzeit von ca. 3,5 Stunden pro Nacht existiert und die Tiere ca. 50 % der Nachtphase schlafen. Auch die Dauer der einzelnen Schlafstadien scheint relativ konstant zu sein. Der REM-Schlaf (Rapid-Eye-Movement-Schlaf) war bei jedem Pferd jede Nacht nachzuweisen und trat vor allem nach Mitternacht auf. Er nahm mit ca. 30 min/Nacht und 15 % der Gesamtschlafzeit den kleinsten, der SWS-Schlaf (Slow-Wave-Schlaf) mit ca. 130 min/Nacht und 65 % den größten Teil der Gesamtschlafzeit ein. Die restliche Zeit entfiel auf den Leichtschlaf (LS), der, aus den Schlafstadien 1 und 2 bestehend, neu definiert wurde. Die absoluten und prozentualen Werte von Schlaf- und Schlafstadiendauer wiesen intraindividuell wesentlich geringere Unterschiede auf, als interindividuell. Ebenso verhielt es sich mit der Schlaffragmentierung. Dies wirft die Frage nach der Existenz sowohl eines pferdespezifischen, als auch eines individuellen Schlafprofils auf.

Die untersuchten Tiere lagen vor allem nach Mitternacht und jede Nacht insgesamt ca. 2,5 Stunden in bis zu fünf Liegephasen. Davon verbrachten sie ca. 20 Minuten bzw. 15 % der Gesamtliegezeit in Seiten- und den Rest

in Brustlage. Auch beim Liegen scheint es auf Basis der Variation der intraindividuellen nächtlichen Liegedauer verschiedene Typen zu geben.

Der REM-Schlaf, für den eine komplette Muskelrelaxation Voraussetzung ist, findet nur im Liegen statt. Dabei überwog der Anteil in Brustlage mit aufgestütztem Kopf deutlich. Die Schlafstadien zeigten in Abhängigkeit von der Körperlage generell große Unterschiede. Etwa die Hälfte der Gesamtschlafzeit wurde im Stehen, die andere Hälfte im Liegen verbracht. Der SWS-Schlaf fand größtenteils im Stehen statt, ebenso der Leichtschlaf.

Es konnte kein Einfluss abendlicher körperlicher Belastung auf das Schlafverhalten von trainierten Pferden festgestellt werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit legen eine Grundstabilität sowie inter- und vor allem intraindividuelle Wiederholbarkeit des equinen Schlafes unter standardisierten Bedingungen ähnlich der des Menschen nahe. Zudem lassen sie aber auch verschiedene „Schlaftypen“ vermuten, was unterschiedliche Ansprüche an die Haltung und das Handling von Pferden nach sich ziehen könnte. Zur Festigung dieser Vermutungen müssen weitere elektroenzephalographische Untersuchungen an vergleichbaren Tieren in großer Anzahl durchgeführt werden. Hieraus könnte sich ein besseres Verständnis für das Wohlbefinden und optimale sportliche Training von Pferden ableiten lassen.

VII. SUMMARY

Equine sleep behavior and physiology based on polysomnographic examinations

In this study the sleep physiology of horses over four consecutive nights and under highly standardized conditions was examined for the first time. The EEG (Electroencephalogramm) of seven horses -all based for at least one year in the same stable- with similar physical conditions and with the same daily routine, was analyzed from a total of 27 nights (one horse only three nights). Aim of this study was to investigate and evaluate equine sleep behavior with respect to duration and quality of sleep stages, nocturnal distribution and function of the body position, as well as influence of physical exercise on equine sleep.

Based on the results it can be hypothesized that a relatively fixed total sleep time (TST) of 3.5 hours per night exists in horses housed in individual stalls with the daily option for free, self-determined movement and that horses sleep an average of 50 % of the night. Even the duration of the different sleep stages appears to be relatively constant. REM-sleep was detected every night in every horse and occurred mainly after midnight. With about 30 min/night and 15 % of the total sleep time REM-sleep (Rapid-Eye-Movement-Sleep) occupied the smallest amount, SWS-sleep (Slow-Wave-Sleep) took up the most time with 65 % of the total sleep time and 130 min/night. The rest of the total sleep time was spent in Light Sleep (LS), which was redefined and consists of sleep stages 1 and 2. Total and percentage data of sleep duration and sleep stages showed significantly lower intraindividual differences than the times between individuals. The same was shown by the distribution of sleep over the night. This poses the question if a horse-specific and an individual sleep profile may exist.

The animals studied mainly laid down after midnight and each night they spent a total of about 2.5 hours recumbent in up to five phases. About 20 minutes or 15 % of the total lying time (TLT) was spent in lateral and the rest in sternal recumbency. The variations of interindividual and intraindividual time spent recumbent suggest that even different types of

recumbency behavior may exist.

REM-sleep, which requires complete muscle relaxation, occurred only when lying and mostly in sternal recumbency with the head resting on the ground. Sleep stages generally showed large differences depending on the body position. About half of total sleep time was spent standing, the other half recumbent. SWS-sleep mostly occurred while standing, as well as during Light Sleep.

Furthermore, no influence of late-evening physical exercise on the sleep behavior of fit horses could be shown.

The results of this work suggest, that a certain level of stability as well as interindividual and especially intraindividual repeatability of equine sleep behavior exists under relatively standardized conditions similar to humans. But, in addition to that, even different “sleep-types” seem to exist, which could lead to different demands on stabling and handling horses. To support these assumptions, further electroencephalographic studies must be carried out on a great number of comparable animals. From this, a better understanding of horse welfare and optimal athletic training may be deduced.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

ADAM, K. (1980) Sleep as a restorative process and a theory to explain why. In: "Progress in Brain Research - Adaptive capabilities of the nervous system". McConnel, P.S., Boer, G.J., Romijn, H.J., Van de Poll, N.E., Corner, M.A., eds. Amsterdam, New York: Elsevier/North-Holland Biomedical Press: 289-305.

ADAMSON, L., HUNTER, W.M., OGUNREMI, O.O., OSWALD, I., PERCY-ROBB, I.W. (1974) Growth hormone increase during sleep after daytime exercise. *The Journal of endocrinology*; 62: 473-478.

AKERS, R.M., DENBOW, D.M. (2008) *Anatomy & Physiology of Domestic Animals*, 1 edn. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa, USA

ALEMAN, M., WILLIAMS, D.C., HOLLIDAY, T. (2008) Sleep and Sleep Disorders in Horses. Proceedings of the 54th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners (AAEP). San Diego, CA, USA. 180-185

ASERINSKY, E., KLEITMAN, N. (1955) Two types of ocular motility occurring in sleep. *Journal of applied physiology*; 8: 1-10.

ATKINSON, G., EDWARDS, B., REILLY, T., WATERHOUSE, J. (2007) Exercise as a synchroniser of human circadian rhythms: an update and discussion of the methodological problems. *European journal of applied physiology*; 99: 331-341.

BAEKELAND, F., LASKY, R. (1966) Exercise and sleep patterns in college athletes. *Perceptual and Motor Skills*; 23: 1203-1207.

BAKER, F. (2013) Sex Differences in Sleep. In: "The Encyclopedia of Sleep". Kushida, C.A., ed. London, Burlington, San Diego: Elsevier: 104-

107.

BAROT, N., BAROT, I. (2013) Nutrition and Sleep. In: "The Encyclopedia of Sleep". Kushida, C.A., ed. London, Burlington, San Diego: Elsevier: 108-113.

BAUMGARTNER, M. (2012) Liegerverhalten von Pferden im Offenlaufstall auf unterschiedlichen Bodenmaterialien (Gummimatten, Späne und Sand). München: Tierärztliche Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität

BELL, F.R. (1972) Sleep in the larger domesticated animals. Proceedings of the Royal Society of Medicine; 65: 176-177.

BELLING, T.H. (1990) Sleep patterns in the horse. Equine Practice; 12: 22-27.

BENDER, I. (1999) Praxishandbuch Pferdehaltung. Kosmos Verlag, Stuttgart

BERGER, A., SCHEIBE, K.-M., EICHHORN, K., SCHEIBE, A., STREICH, J. (1999) Diurnal and ultradian rhythms of behaviour in a mare group of Przewalski horse (*Equus ferus przewalskii*), measured through one year under semi-reserve conditions. Applied Animal Behaviour Science; 64: 1-17.

BERGER, H. (1929) Über das Elektroenkephalogramm des Menschen. Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten; 87: 527-570.

BERTOLUCCI, C., GIANNETTO, C., FAZIO, F., PICCIONE, G. (2008) Seasonal variations in daily rhythms of activity in athletic horses. Animal; 2: 1055-1060.

BOGNER, H., GRAUVOGL, A. (1984) Verhalten landwirtschaftlicher

Nutztiere. Ulmer Verlag, Stuttgart

BOHNET, W. (2011) Pferdezücht, -haltung und -fütterung. Empfehlungen für die Praxis. Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut. Brade, W., Distl, O., Sieme, H., Zeyner, A., Braunschweig. 94-128

BORBÉRLY, A.A. (1982) A two process model of sleep regulation. Human Neurobiology; 1: 195-204.

BOYD, L., CARBONARO, D.A., HOUPPT, K.A. (1988) The 24-hour time budget of Przewalski horses. Applied Animal Behaviour Science; 21: 5-17.

BOYD, L., BANDI, N. (2002) Reintroduction of takhi, *Equus ferus przewalskii*, to Hustai National Park, Mongolia: time budget and synchrony of activity pre-and post-release. Applied Animal Behaviour Science; 78: 87-102.

BREDENBRÖKER, D. (2003) Studie zum stereotypen Laufen bei Hauspferden. Berlin: Institut für Tierschutz, Tierverhalten und Labortierkunde des Fachbereichs Veterinärmedizin, Freie Universität

BUTKOV, N. (2010) Atlas of Clinical Polysomnography, 2 edn. Synapse Media, Medford

CAANITZ, H., O'LEARY, L., HOUPPT, K., PETERSSON, K., HINTZ, H. (1991) Effect of exercise on equine behavior. Applied Animal Behaviour Science; 31: 1-12.

CAMPBELL, S.S., TOBLER, I. (1984) Animal sleep: a review of sleep duration across phylogeny. Neuroscience & Biobehavioral Reviews; 8: 269-300.

CARSKADON, M.A., DEMENT, W.C. (1989) Normal Human Sleep: An

Overview. In: "Principles and Practice of Sleep Medicine", 2 edn. Kryger, M.H., Roth, T., Dement, W.C., eds. Philadelphia: W.B. Saunders Company: 3-13.

CARSON, K., WOOD-GUSH, D.G.M. (1983) Equine behaviour: II.A review of the literature on feeding, eliminative and resting behaviour. *Applied Animal Ethology*; 10: 179-190.

CARTMILL, M. (1996) Do horses gallop in their sleep? Consciousness, evolution, and the problem of animal minds. American Museum of Natural History, New York

CATON, R. (1875) The electric currents of the brain. *British Medical Journal*; 2: 610.

CAYADO, P., MUNOZ-ESCASSI, B., DOMINGUEZ, C., MANLEY, W., OLABARRI, B., DE LA MUELA, M.S., CASTEJON, F., MARANON, G., VARA, E. (2006) Hormone response to training and competition in athletic horses. *Equine Veterinary Journal*; 38: 274-278.

CHAPLIN, S.J., GRETGRIX, L. (2010) Effect of housing conditions on activity and lying behaviour of horses. *Animal*; 4: 792-795.

CRICK, F., MITCHISON, G. (1983) The function of dream sleep. *Nature*; 304: 111-114.

DALLAIRE, A., RUCKEBUSCH, Y. (1974a) Sleep patterns in the pony with observations on partial perceptual deprivation. *Physiology & Behavior*; 12: 789-796.

DALLAIRE, A., RUCKEBUSCH, Y. (1974b) Sleep and wakefulness in the housed pony under different dietary conditions. *Canadian journal of comparative medicine. Revue canadienne de medecine comparee*; 38: 65-

71.

DALLAIRE, A. (1986) Rest behavior. In: Vet Clin North Am Equine Pract. 591-607

DEMENT, W.C., KLEITMAN, N. (1957) Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility, and dreaming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*; 9: 673-690.

DIBNER, C., SCHIBLER, U., ALBRECHT, U. (2010) The mammalian circadian timing system: organization and coordination of central and peripheral clocks. *Annual review of physiology*; 72: 517-549.

DINICH, J. (2004) Die Auswirkungen des Chronotypus auf Verhalten und Erleben über die Lebensspanne. Innsbruck: Naturwissenschaftliche Fakultät, Leopold-Franzens-Universität

DUNCAN, P. (1980) Time-budgets of Camargue horses (II): Time-budgets of adult horses and weaned sub-adults. *Behaviour*; 72: 26-49.

DUNCAN, P. (1985) Time-Budgets of Camargue Horses (III): Environmental Influences. *Behaviour*; 92: 188-208.

DUNLAP, J.C. (1999) Molecular bases for circadian clocks review. *Cell*; 96: 271-290.

FADER, C. (2002) Ausscheide- und Ruheverhalten von Pferden in Offenlaufstall- und Boxenhaltung. München: Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Technische Universität

FADERER, C., SAMBRAUS, H.H. (2004) Das Ruheverhalten von Pferden in Laufställen. *Tierärztliche Umschau*; 59: 320-327.

FRASER, A.F. (1978) Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

FREIRE, R., BUCKLEY, P., COOPER, J.J. (2009) Effects of different forms of exercise on post inhibitory rebound and unwanted behaviour in stabled horses. *Equine Vet J*; 41: 487-492.

FRENTZEN, F. (1994) Bewegungsaktivitäten und -verhalten von Pferden in Abhängigkeit von Aufstallungsform und Fütterungsrhythmus unter besonderer Berücksichtigung unterschiedlich gestalteter Auslaufsysteme. Hannover: Tierärztliche Hochschule

FUREIX, C., JEGO, P., HENRY, S., LANSADE, L., HAUSBERGER, M. (2012) Towards an ethological animal model of depression? A study on horses. *PloS one*; 7: 1-9.

GARNER, H.E., AMEND, J.F., ROSBOROUGH, J.P., GEDDES, L.A., ROSS, J.N. (1972) Electrodes for recording cortical electroencephalograms in ponies. *Laboratory animal science*; 22: 262-265.

GEISER, F. (2001) Pferde richtig halten. Ed Schweiz, B.f.V.B.d., Schweiz

GILL, J. (1991) A new method for continuous recording of motor activity in horses. *Comparative biochemistry and physiology. A, Comparative physiology*; 99: 333-341.

GOODWIN, D. (1999) The importance of ethology in understanding the behaviour of the horse. *Equine Veterinary Journal*; 31: 15-19.

GRABOW, J.D., ANSLOW, R.O., SPALATIN, J. (1969) Electroencephalographic recordings with multicontact depth probes in a horse. *American journal of veterinary research*; 30: 1239-1243.

GREENING, L., SHENTON, V., WILCOCKSON, K., SWANSON, J. (2013) Investigating duration of nocturnal ingestive and sleep behaviors of horses bedded on straw versus shavings. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*; 8: 82-86.

GRIEFAHN, B. (2010) Einsatz eines Fragebogens (D-MEQ) zur Bestimmung des Chronotyps bei der Zuweisung eines Schichtarbeitsplatzes. GRIN Verlag für akademische Texte, Dortmund

GRIFFIN, S.J., TRINDER, J. (1978) Physical Fitness, Exercise, and Human Sleep. *Psychophysiology*; 15: 447-450.

GRIGG-DAMBERGER, M.M. (2009) The AASM scoring manual: a critical appraisal. *Current opinion in pulmonary medicine*; 15: 540-549.

GRIGG-DAMBERGER, M.M. (2012) The AASM Scoring Manual four years later. *Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine*; 8: 323-332.

GÜNTNER, K.-U. (2010) Polysomnographische Untersuchungen zum Schlafverhalten des Pferdes. München: Ludwig-Maximilians-Universität

HALE, L.A., HUGGINS, S.E. (1980) The electroencephalogram of the normal "grade" pony in sleep and wakefulness. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*; 66: 251-257.

HAMPSON, B.A., DE LAAT, M.A., MILLS, P.C., POLLITT, C.C. (2010) Distances travelled by feral horses in "outback" Australia. *Equine Veterinary Journal*; 42: 582-586.

HARRIS, C.D. (2005) Neurophysiology of sleep and wakefulness. *Respiratory care clinics of North America*; 11: 567-586.

HASSENBERG, L. (1971) Verhalten bei Einhufern. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg

HAURI, P. (1968) Effects of evening activity on early night sleep. *Psychophysiology*; 4: 267-277.

HAURI, P. (1969) The influence of evening activity on the onset of sleep. *Psychophysiology*; 5: 426-430.

HAUSBERGER, M., GAUTIER, E., BIQUAND, V., LUNEL, C., JEGO, P. (2009) Could work be a source of behavioural disorders? A study in horses. *PloS one*; 4: 7625.

HEDIGER, H. (1980) The biology of natural sleep in animals. *Cellular and Molecular Life Sciences*; 36: 13-16.

HELLER, H.C. (2013) The Function of Sleep. In: "The Encyclopedia of Sleep". Kushida, C.A., ed. London, Burlington, San Diego: Elsevier: 354-358.

HENDERSON, A.J. (2007) Don't fence me in: Managing psychological well being for elite performance horses. *Journal of Applied Animal Welfare Science*; 10: 309-329.

HENNING, J. Pferdehaltungsformen. Vetion.de, ed.: http://www.vetion.de/focus/pages/index.cfm?focus_id=24. (Zugriff 09.10.2013).

HILL, D.W., CURETON, K.J., COLLINS, M.A. (1989) Circadian specificity in exercise training. *Ergonomics*; 32: 79-92.

HOFFMANN, G. (2008) Bewegungsaktivität und Stressbelastung bei Pferden in Auslaufhaltungssystemen mit verschiedenen

Bewegungsangeboten. Gießen: Veterinärmedizin, Justus-Liebig-Universität

HOFFMANN, G., BOCKISCH, F.-J., KREIMEIER, P. (2009) Einfluss des Haltungssystems auf die Bewegungsaktivität und Stressbelastung bei Pferden in Auslaufhaltungssystemen. *Landbauforschung (vTI Agric. For. Res.)*; 59: 105-112.

HÖLZLER, H. (2009) Übertraining im Sport. Möglichkeiten der Diagnostik von Overreaching und Overtraining. Wien: Universität Wien

HORNE, J.A., PORTER, J.M. (1975) Exercise and human sleep. *Nature*; 256: 573-575.

HORNE, J.A. (1981) The effects of exercise upon sleep: a critical review. *Biological psychology*; 12: 241-290.

HORNE, J.A. (1983) Mammalian sleep function with particular reference to man. In: "Sleep mechanisms and functions in humans and animals - an evolutionary perspective". Mayes, A., ed. Birkshire, UK: Van Nostand Reinhold: 262-312.

HORNE, J.A., MINARD, A. (1985) Sleep and sleepiness following a behaviourally "active" day. *Ergonomics*; 28: 567-575.

HORNE, J.A. (1988) Why we sleep: The functions of sleep in humans and other mammals. Oxford University Press, Oxford

HOUP, K.A. (1980) The characteristics of equine sleep. *Equine Practice*; 2: 8-17.

HOUP, K.A. (2005) Maintenance behaviours. In: "The Domestic Horse". The Evolution, Development and Management of its Behaviour".

Mills, D., McDonnel, S., eds. Cambridge: Cambridge University Press: 94-109.

IBER, C., ANCOLI-ISRAELI, S., CHESSON, A., QUAN, S.F. (2007) The AASM Standards Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications, 1 edn. American Academy of Sleep Medicine, Westchester, IL

IHLE, P. (1984) Ethologische Studie über den Tagesrhythmus von Pferden in Abhängigkeit von der Haltungform. Gießen: Institut für Tierzucht und Haustiergenetik, Justus-Liebig-Universität

JASPER, H.H. (1958) The ten twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*; 10: 371-375.

JAWOROWSKA, M. (1976) Verhaltensbeobachtungen an primitiven Pferden, die in einem polnischen Waldschutzgebiet - in Freiheit lebend - gehalten werden. *Zeitschrift für Säugetierkunde*; 24: 241-268.

JOHNSON, C.B., TAYLOR, P.M. (1998) Comparison of the effects of halothane, isoflurane and methoxyflurane on the electroencephalogram of the horse. *British journal of anaesthesia*; 81: 748-753.

JONES, B.E. (1989) Basic Mechanisms of sleep-wake states. In: "Principles and Practice of Sleep Medicine". Kryger, M.H., Roth, T., Dement, W.C., eds. Philadelphia: W.B. Saunders Company:

JONES, B.E. (2013) Chemical Neuroanatomy of Sleep-Wake Systems. In: "The Encyclopedia of Sleep", 1 edn. Kushida, C.A., ed. London, Burlington, San Diego: Elsevier: 390-394.

JOUVET, M. (1967) Neurophysiology of the States of Sleep. *Physiological*

Reviews; 47: 117-177.

KEENAN, S.A., CARILLO, O., CASSERES, H. (2013a) Electroencephalography. In: "The Encyclopedia of Sleep". Kushida, C.A., ed. London, Burlington, San Diego: Elsevier: 66-70.

KEENAN, S.A., HIRSHKOWITZ, M., CASSERES, H. (2013b) Monitoring and Staging Human Sleep. In: "The Encyclopedia of Sleep". Kushida, C.A., ed. London, Burlington, San Diego: Elsevier: 71-79.

KEIPER, R.R., KEENAN, M.A. (1980) Nocturnal Activity Patterns of Feral Ponies. *Journal of Mammalogy*; 61: 116-118.

KILEY-WORTHINGTON, M. (1990) The behavior of horses in relation to management and training: towards ethologically sound environments. *Journal of equine veterinary science*; 10

KLEMM, W.R., HALL, C.L. (1974) Current status and trends in veterinary electroencephalography. *Journal of the American Veterinary Medical Association*; 164: 529-532.

KLEMM, W.R. (2011) Why does rem sleep occur? A wake-up hypothesis. *Frontiers in systems neuroscience*; 5: 73.

KLIMKE, R. (1997) Tierschutz im Pferdesport aus reiterlicher Sicht. In: "Das Buch vom Tierschutz". Sambraus, H.H., Steiger, A., eds. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag: 619-624.

KLINE, C.E., YOUNGSTEDT, S.D. (2013) Exercise and Sleep. In: "The Encyclopedia of Sleep". Kushida, C.A., ed. London, Burlington, San Diego: Elsevier: 114-119.

KLINGLER, L. (1988) Der Einfluss von Haltungssystemen auf die

Fortbewegung von Pferden. Freiburg: Biologische Fakultät der Universität Freiburg, Universität Freiburg

KÖNIG, H.E., LIEBIG, H.-G., MAIERL, J. (2009) Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. Schattauer, Stuttgart

KOWNACKI, M., SASIMOWSKI, i.E., BUDZYNSKI, i.M., JEZIERSKI, T., KAPRON, M., JELEN, B. (1978) Observations of the 24-hour rhythm of natural behaviour of Polish primitive horse bred for conservation of genetic resources in a forest reserve. *Genetica Polonica*; 19: 61-77.

LEE, J., FLOYD, T., ERB, H., HOUP, K. (2011) Preference and demand for exercise in stabled horses. *Applied Animal Behaviour Science*; 130: 91-100.

LEWIN, W. (1998) Eine Methode zur nichtinvasiven EEG-Ableitung am wachen, stehenden Pferd. Berlin: Institut für Veterinär-Physiologie, Freie Universität Berlin

LIMA, S.L., RATTENBORG, N.C., LESKU, J.A., AMLANER, C.J. (2005) Sleeping under the risk of predation. *Animal behaviour*; 70: 723-736.

LINDNER, A. (2008) The Acute Poorly Performing Sport Horse. Wageningen Academic Publishers

LITTLEJOHN, A., MUNRO, R. (1972) Equine recumbency. *The Veterinary Record*; 90: 83-85.

MANNI, R. (2005) Rapid eye movement sleep, non-rapid eye movement sleep, dreams, and hallucinations. *Current psychiatry reports*; 7: 196-200.

MARTEN, J. (1996) Pferdehaltung: Anforderungen des Pferdes, Bauliche

Planungsgrundlagen, Neu- und Umbaubeispiele. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung Landwirtschaft und Forsten (aid) e.V., Bonn

MARTIN, A.-M., ELLIOTT, J.A., DUFFY, P., BLAKE, C.M., ATTIA, S.B., KATZ, L.M., BROWNE, J.A., GATH, V., MCGIVNEY, B.A., HILL, E.W. (2010) Circadian regulation of locomotor activity and skeletal muscle gene expression in the horse. *Journal of Applied Physiology*; 109: 1328-1336.

MCDONNEL, S. (2003) *A Practical Field Guide To Horse Behavior. The Equid Ethogramm.* The Blood-Horse Inc., Hong Kong

MCGINTY, D., SZYMUSIAK, R. (2000) The sleep-wake switch: A neuronal alarm clock. *Nature Medicine*; 6: 510.

MEDDIS, R. (1975) On the function of sleep. *Anim Behav*; 23 (3): 676-691.

MEDDIS, R. (1977) *The sleep instinct*, 1 edn. Routledge & Kegan Paul, London, Henley, Boston

MEDDIS, R. (1983) The Evolution of Sleep. In: "Sleep mechanisms and munctions in humans and animals - an evolutionary perspective". Mayes, A., ed. Birkshire, UK: Van Nostrand Reinhold: 57-106.

MORRIS, D. (1998) *Horsewatching.* Wilhelm Heyne Verlag, München

MORUZZI, G., MAGOUN, H.W. (1949) Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*; 1: 455-473.

MURPHY, B.A. (2010) Chronobiology and the horse: Recent revelations and future directions. *The Veterinary Journal*; 185: 105-114.

MURPHY, B.A., MARTIN, A.-M., FURNEY, P., ELLIOTT, J.A. (2011) Absence of a serum melatonin rhythm under acutely extended darkness in the horse. *Journal of Circadian Rhythms*; 9: 3.

MYSINGER, P.W., REDDING, R.W., VAUGHAN, J.T., PUROHIT, R.C., HOLLADAY, J.A. (1985) Electroencephalographic patterns of clinically normal, sedated, and tranquilized newborn foals and adult horses. *American journal of veterinary research*; 46: 36-41.

NEUNDÖRFER, B. (2002) EEG-Fibel. Das EEG in der ärztlichen Praxis. Urban & Fischer, München, Jena

NICKEL, R., SCHUMMER, A., SEIFERLE, E. (2003) Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band I: Bewegungsapparat, 8. edn. Parey, Berlin

O'CONNOR, P.J., YOUNGSTEDT, S.D. (1995) Influence of exercise on human sleep. *Exercise and sport sciences reviews*; 23: 105-134.

OSWALD, I. (1980) Sleep as a restorative process: Human clues. In: "Progress in Brain Research - Adaptive capabilities of the nervous system". McConnel, P.S., Boer, G.J., Romijn, H.J., Van de Poll, N.E., Corner, M.A., eds. Amsterdam, New York: Elsevier/North-Holland Biomedical Press: 279-288.

PANDI-PERUMAL, S.R., SRINIVASAN, V., MAESTRONI, G.J.M., CARDINALI, D.P., POEGGELER, B., HARDELAND, R. (2006) Melatonin: Nature's most versatile biological signal? *FEBS Journal*; 273: 2813-2838.

PARMEGGIANI, P.L., MORISSON, A., DRUCKER-COLIN, R., MCGINTY, D. (1985) Brain Mechanisms of Sleep: An Overview of Methodological Issues. In: "Brain Mechanisms of Sleep" New York: Raven Press: 1-34.

PEDERSEN, G.R., SØNDERGAARD, E., LADEWIG, J. (2004) The

influence of bedding on the time horses spend recumbent. *Journal of Equine Veterinary Science*; 24: 153-158.

PICCIONE, G., COSTA, A., GIANNETTO, C., CAOLA, G. (2008) Daily rhythms of activity in horses housed in different stabling conditions. *Biological Rhythm Research*; 39: 79-84.

PICCIONE, G., GIANNETTO, C. (2011) State of the art on daily rhythms of physiology and behaviour in horses. *Biological Rhythm Research*; 42: 67-88.

PIOTROWSKI, J. (1992) Gestaltung von Auslauf-Haltungssystemen für Pferde auf der Grundlage von Wahlverhaltensuntersuchungen. In: 1. Seminar der Arbeitsgemeinschaft zum Thema Haltung und Nutzung des Pferde aus der Sicht des Tierschutzes - Zusammenfassung der Referate. Arbeitsgemeinschaft Pferdeschutz im Pferdesport der Tierärztlichen Vereinigung für Tierschutz e.V.

PUROHIT, R.C., MYSINGER, P.W., REDDING, R.W. (1981) Effects of xylazine and ketamine hydrochloride on the electroencephalogram and the electrocardiogram in the horse. *American journal of veterinary research*; 42: 615-619.

RAABYMAGLE, P., LADEWIG, J. (2006) Lying behavior in horses in relation to box size. *Journal of Equine Veterinary Science*; 26: 11-17.

RAMA, A.N., ZACHARIAH, R. (2013) Normal Human Sleep. In: "The Encyclopedia of Sleep". Kushida, C.A., ed. London, Burlington, San Diego: Elsevier: 16-23.

RATTENBORG, N.C., AMLANER, C.J., LIMA, S.L. (2000) Behavioral, neurophysiological and evolutionary perspectives on unihemispheric sleep. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*; 24: 817-842.

RECHTSCHAFFEN, A., KALES, A. (1968) A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects. Brain Information Service/Brain Research Institute of the University of California, Los Angeles, CA, USA

RECHTSCHAFFEN, A. (1998) Current perspectives on the function of sleep. *Perspectives in biology and medicine*; 41: 359-390.

RECHTSCHAFFEN, A., SIEGEL, J.M. (2000) Sleep and Dreaming. In: "Principles of Neuroscience", 4 edn. Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Hessel, T.M., eds. New York: McGraw-Hill: 936-947.

REES, L. (1986) Das Wesen des Pferdes. Albert Müller Rüslikon, Zürich

REICHERT, J. (1990) Zu Angebot und Nachfrage in der Pferdehaltung. In: "Gebrauchspferdehaltung in landwirtschaftlichen Betrieben" Göttingen: Agrarsoziale Gesellschaft e.V.: 5-16.

RODEWALD, A. (1989) Fehler bei der Haltung und Nutzung als Schadensursache bei Pferden in Reitbetrieben. München: Institut für Tierzucht und Tierhygiene der Tierärztlichen Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität

RUCKEBUSCH, Y. (1963) Étude EEG et comportementale des alternances veille-sommeil chez l'âne. *Comptes rendus des séances de la Société de biologie et des filiales*; 157: 840-844.

RUCKEBUSCH, Y. (1970) Un problème controversé: la perte de vigilance chez le cheval et la vache au cours du sommeil. *Les Cahiers de Médecine Vétérinaire*; 39: 210-225.

RUCKEBUSCH, Y., BARBEY, P., GUILLEMOT, P. (1970) Les états de sommeil chez le Cheval (*Equus caballus*). *CR Soc Biol*; 31: 658-665.

RUCKEBUSCH, Y. (1972) The relevance of drowsiness in the circadian cycle of farm animals. *Anim Behav*; 20: 637-643.

RUCKEBUSCH, Y. (1975a) The hypnogram as an index of adaptation of farm animals to changes in their environment. *Applied Animal Ethology*; 2: 3-18.

RUCKEBUSCH, Y. (1975b) Sleep as an index of an animal's adaptation to its environment. *Applied Animal Ethology*; 1: 207.

SAIKIN (1911) Erholung und Schlaf des Pferdes. Jahresbericht der Veterinärmedizin

SAMBRAUS, H.H. (1991) Nutztierkunde. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

SAPER, C.B., CHOU, T.C., SCAMMELL, T.E. (2001) The sleep switch: hypothalamic control of sleep and wakefulness. *Trends in Neurosciences*; 24: 726-731.

SAPER, C.B., SCAMMELL, T.E., LU, J. (2005) Hypothalamic regulation of sleep and circadian rhythms. *Nature*; 437: 1257-1263.

SCHÄFER, M. (1974) Die Sprache des Pferdes. Nymphenburger Verlagsbuchhandlung, München

SCHÄFER, M. (1978) Pferd. In: "Nutztierethologie. Das Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere - Eine angewandte Verhaltenskunde für die Praxis". Sambraus, H.H., ed. Berlin, Hamburg: Paul Parey: 214-248.

SCHÄFER, M. (1991) Ansprüche des Pferdes an seine Umwelt. In: "Pferdehaltung". Pirkelmann, H.H., ed. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag: 15-73.

SCHIBLER, U., SASSONE-CORSI, P. (2002) A Web of Circadian Pacemakers. *Cell*; 111: 919-922.

SCHMIDT, A., MÖSTL, E., WEHNERT, C., MÜLLER, J., AURICH, C. (2009) Belastungssituationen bei Sportpferden - Einfluss unterschiedlicher Stressoren. In: Göttinger Pferdetage 2009, Zucht und Haltung von Sportpferden. FN-Verlag der Deutschen Reiterlichen Vereinigung, Warendorf. 243-249

SCHÖNING, B. (2008) Pferdeverhalten. Franckh-Kosmos, Stuttgart

SCHULZ, K.-H., MEYER, A., LANGGUTH, N. (2012) Körperliche Aktivität und psychische Gesundheit. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*; 55: 55-65.

SCHUURMAN, S.O., KERSTEN, W., WEIJS, W.A. (2003) The equine hind limb is actively stabilized during standing. *Journal of anatomy*; 202: 355-362.

SCHWARTZ, J.R., ROTH, T. (2008) Neurophysiology of sleep and wakefulness: basic science and clinical implications. *Current neuropharmacology*; 6: 367-378.

SIEGEL, J.M. (2003) Why we sleep. *Scientific American*; 289: 92-97.

SIEGEL, J.M. (2005) Clues to the functions of mammalian sleep. *Nature*; 437: 1264-1271.

SIEGEL, J.M. (2013a) Evolution of Sleep (Sleep Phylogeny). In: "The Encyclopedia of Sleep". Kushida, C.A., ed. London, Burlington, San Diego: Elsevier: 38-42.

SIEGEL, J.M. (2013b) REM Sleep Anatomy and Physiology. In: "The

Encyclopedia of Sleep". Kushida, C.A., ed. London, Burlington, San Diego: Elsevier:

SMITH, C. (1985) Sleep states and learning: a review of the animal literature. *Neuroscience and biobehavioral reviews*; 9: 157-168.

SMOLLEY, L.A., RAMIREZ, J.F. (2013) Instrumentation and Methodology. In: "The Encyclopedia of Sleep". Kushida, C.A., ed. London, Burlington, San Diego: Elsevier: 49-51.

SNOW, D.H., SUMMERS, R.J., GUY, P.S. (1979) The actions of the beta-adrenoceptor blocking agents propranolol and metoprolol in the maximally exercised horse. *Research in veterinary science*; 27: 22.

SNYDER, F. (1966) Toward an evolutionary theory of dreaming. *Am J Psychiatry*; 123: 121-136.

STAUNTON, H. (2005) Mammalian sleep. *Die Naturwissenschaften*; 92: 203-220.

STEIDELE, N. (2011) Beobachtungen einer Przewalski-Junggesellenherde im Jahresverlauf unter besonderer Berücksichtigung von Ruheverhalten und Rangordnung München: Tierärztliche Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität

STEINHART, P. (1937) Der Schlaf des Pferdes. Seine Dauer, Tiefe, Bedingungen. München: Tierärztliche Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität München

STICKGOLD, R., WALKER, M.P. (2005) Sleep and Memory: The Ongoing Debate. *Sleep*; 28: 1225-1227.

STURM, A., CLARENBACH, P. (1997) Checkliste Schlafstörungen.

Thieme Verlag, Stuttgart

SUZUKI, H., UCHIYAMA, M., TAGAYA, H., A., O., KURIYAMA, K., ARITAKE, S., SHIBUI, K., TAN, X., KAMEI, Y., KUGA, R. (2004) Dreaming during non-rapid eye movement sleep in the absence of prior rapid eye movement sleep. *Sleep*; 27: 1486-1490.

TILGER, M. (2005) *Biologische Rhythmen bei Nutztieren. Eine Literaturstudie.* München: Institut für Tierschutz, Verhaltenskunde und Tierhygiene der Tierärztlichen Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität

TOBLER, I. (1995) Is sleep fundamentally different between mammalian species? *Behavioural Brain Research*; 69: 35-41.

TOLAAS, J. (1978) REM sleep and the concept of vigilance. *Biol Psychiatry*; 13: 135.

TORSVALL, L., AKERSTEDT, T., LINDBECK, G. (1984) Effects on sleep stages and EEG power density of different degrees of exercise in fit subjects. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*; 57: 347-353.

TRINDER, J., BRUCK, D., PAXTON, S.J., MONTGOMERY, I., BOWLING, A. (1982) Physical fitness, exercise, age and human sleep. *Australian Journal of Psychology*; 34: 131-138.

TRINDER, J., PAXTON, S.J., MONTGOMERY, J., FRASER, G. (1985) Endurance as Opposed to Power Training: Their Effect on Sleep. *Psychophysiology*; 22: 668-673.

TUREK, F.W. (1989) Effects of stimulated physical activity on the circadian pacemaker of vertebrates. *Journal of biological rhythms*; 4: 135-147.

UCHIDA, S., SHIODA, K., MORITA, Y., KUBOTA, C., GANEKO, M., TAKEDA, N. (2012) Exercise effects on sleep physiology. *Frontiers in neurology*; 3: 1-5.

VAN DER REE, M., WIJNBERG, I. (2012) A review on epilepsy in the horse and the potential of Ambulatory EEG as a diagnostic tool. *The Veterinary quarterly*; 32: 159-167.

VAN REETH, O., STURIS, J., BYRNE, M.M., BLACKMAN, J.D., L'HERMITE-BALERIAUX, M., LEPROULT, R., OLINER, C., REFETOFF, S., TUREK, F.W., VAN CAUTER, E. (1994) Nocturnal exercise phase delays circadian rhythms of melatonin and thyrotropin secretion in normal men. *The American journal of physiology*; 266: 964-974.

VAN TWYVER, H., WEBB, W.B., DUBE, M., ZACKHEIM, M. (1973) Effects of environmental and strain differences on EEG and behavioral measurement of sleep. *Behavioral Biology*; 9: 105-110.

VOSWINKEL, L. (2009) Einfluss der Bewegungsaktivität auf Wachstums- und Ausdauerparameter beim Pferd. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Agrar-und Ernährungswissenschaftliche Fakultät, Institut für Tierzucht und Tierhaltung

VUORI, I., URPONEN, H., HASAN, J., PARTINEN, M. (1988) Epidemiology of exercise effects on sleep. *Acta physiologica Scandinavica.Supplementum*; 574: 3.

WALKER, J.M., BERGER, R.J. (1980) Sleep as an adaptation for energy conservation functionally related to hibernation and shallow torpor. In: "Progress in Brain Research - Adaptive capabilities of the nervous system". McConnel, P.S., Boer, G.J., Romijn, H.J., Van de Poll, N.E., Corner, M.A., eds. Amsterdam, New York: Elsevier/North-Holland Biomedical Press: 255-278.

WALKER, M.P. (2005) A refined model of sleep and the time course of memory formation. *Behavioral and brain sciences*; 28: 51-63.

WERHAHN, H., HESSEL, E.F., SCHULZE, H., VAN DEN WEGHE, H.F.A. (2011) Temporary turnout for free exercise in groups: Effects on the behavior of competition horses housed in single stalls. *Journal of Equine Veterinary Science*; 31: 417-425.

WERHAHN, H., HESSEL, E.F., VAN DEN WEGHE, H.F.A. (2012a) Competition Horses Housed in Single Stalls (II): Effects of Free Exercise on the Behavior in the Stable, the Behavior during Training, and the Degree of Stress. *Journal of Equine Veterinary Science*; 32: 22-31.

WERHAHN, H., HESSEL, E.F., VAN DEN WEGHE, H.F.A. (2012b) Competition Horses Housed in Single Stalls (I): Behavior and Activity Patterns during Free Exercise According to its Configuration. *Journal of Equine Veterinary Science*; 32: 45-52.

WILLIAMS, D.C., ALEMAN, M., HOLIDAY, T.A., FLETCHER, D.J., THARP, B., KASS, P.H., STEFFEY, E.P., LECOUTEUR, R.A. (2008) Qualitative and quantitative characteristics of the electroencephalogram in normal horses during spontaneous drowsiness and sleep. *Journal of veterinary internal medicine / American College of Veterinary Internal Medicine*; 22: 630-638.

WILLIAMS, D.C., ALEMAN, M., THARP, B., FLETCHER, D.J., KASS, P.H., STEFFEY, E.P., LECOUTEUR, R.A., HOLLIDAY, T.A. (2012) Qualitative and quantitative characteristics of the electroencephalogram in normal horses after sedation. *Journal of veterinary internal medicine / American College of Veterinary Internal Medicine*; 26: 645-653.

WINCHESTER, C.F. (1943) The Energy Cost of Standing in Horses. *Science*; 97: 24.

WITTE, O.W., HAGEMANN, G., HAUEISEN, J. (2006) Physiologische Grundlagen des EEG. In: "EEG". Ebner, A., Deuschl, G., eds. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG: 1-9.

WÖHR, A.-C., ERHARD, M.H. (2006) Polysomnographische Untersuchungen zum Schlafverhalten des Pferdes. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung. KTBL. 127-135

WÖHR, A.-C., ERHARD, M.H. (2009) Physiologie und Bedeutung des Schlafes beim Pferd. In: 11. Fachtagung zu Fragen von Verhaltenskunde, Tierhaltung und Tierschutz der DVG, München

WÖHR, A.-C., ERHARD, M.H. (2010) Physiologie und Bedeutung des Schlafes bei Tieren. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung. KTBL. 11-21

WÖHR, A.-C., STEIDELE, N., ERHARD, M.H. (2011) Verhalten von Przewalski-Junghengsten in seminaturlicher Umgebung. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung KTBL. 198-212

YOUNGSTEDT, S.D., O'CONNOR, P.J., DISHMAN, R.K. (1997) The effects of acute exercise on sleep: a quantitative synthesis. *Sleep*; 20: 203-214.

ZEEB, K. (1995) Ethologische Anforderungen an die Haltung von Rind und Pferd. Akademie für Tierärztliche Fortbildung, Bonn

ZEEB, K. (1997) Pferd. In: "Das Buch vom Tierschutz". Sambras, H.H., Steiger, A., eds. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag: 160-172.

ZEITLER-FEICHT, M.H., PRANTNER, V. (2000) Liegeverhalten von Pferden in Gruppenauslaufhaltung. *Arch. Tierz*; 43: 327-335.

ZEITLER-FEICHT, M.H. (2001a) Handbuch Pferdeverhalten. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

ZEITLER-FEICHT, M.H. (2001b) Ethologie des Pferdes als Grundlage einer artgerechten Haltung. In: 2. Pferdetag in Mecklenburg-Vorpommern. Ed Sonderausgabe, P. 11-16

ZEITLER-FEICHT, M.H., MÜLLER, C., FRANZKY, A., PETTRICH, M., BOHNET, W., DEININGER, E., DÜE, M., WITZMANN, P. (2009) Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten. Ed Tierschutz. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn

ZEPELIN, H., RECHTSCHAFFEN, A. (1974) Mammalian sleep, longevity, and energy metabolism. *Brain, behavior and evolution*; 10: 425-470.

ZEPELIN, H. (1989) Mammalian Sleep. In: "Principles and Practice of Sleep Medicine", 1 edn. Kryger, M.H., Roth, T., Dement, W.C., eds. Philadelphia: W. B. Saunders Company: 30-49.

ZSCHOCKE, S. (2002) Klinische Elektroenzephalographie. Springer Medizin Verlag, Heidelberg

Entwicklung des Pferdebestands in Deutschland im Zeitraum von 1900 bis 2010 (in Millionen).

<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/163428/umfrage/entwicklung-des-pferdebestands-in-deutschland-seit-1900/>. (Zugriff: 09.10.2013).

Jahrebericht 2012. Warendorf: Deutsche Reiterliche Vereinigung e.V. (FN) & Deutsches Olympiade-Komitee für Reiterei e.V. (DOKR): http://www.pferd-aktuell.de/shop/index.php/cat/c106_Verband.html. (Zugriff: 09.10.2013).

Zahlen & Fakten. Warendorf: Deutsche Reiterliche Vereinigung (FN):
<http://www.pferd-aktuell.de/fn/zahlen--fakten/zahlen--fakten>. (Zugriff:
09.10.2013).

IX. ANHANG

1. Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. M. H. Erhard für die Überlassung des Themas, die immer freundliche und kompetente Beratung und schließlich die zielführende und zeitnahe Korrektur bedanken.

Besonders bedanke ich mich auch bei Frau Dr. Anna-Caroline Wöhr für die Betreuung meiner Arbeit, die Hilfestellung bei der Durchführung, Konzeption und Zusammenschrift sowie die immer freundliche Unterstützung.

Großer Dank gilt zudem Herrn PD Dr. med vet. Sven Reese für sein großes Interesse an meiner Arbeit und die jederzeit kompetente und freundliche Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Auch möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung, allen voran Frau Sigrid Grad, für deren stete Hilfsbereitschaft bedanken.

Mein herzlichster Dank gilt den Pferdebesitzern für die Überlassung ihrer Pferde und hier ganz besonders Petra und Claudia Menge sowie Annemarie Seybold für ihre dauerhafte Unterstützung auch außerhalb des Stalles.

Besonders möchte ich mich auch bei den Inhabern des Reitstalles Schmid für die Möglichkeit zur Durchführung sowie deren freundliche Unterstützung zu jeder Tages- und Nachtzeit bedanken.

Zuletzt bedanke ich mich bei meiner Familie und der Familie Gogolin/Günther, ohne die ich es vermutlich nie bis hierher geschafft hätte.