

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung  
Vorstand: Prof. Dr. M. H. Erhard

Angefertigt unter der Leitung von  
Prof. Dr. M. H. Erhard

## **Polysomnographische Untersuchung zum Schlafverhalten des Pferdes**

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

von  
Kai-Uwe Güntner  
aus Leutkirch

München 2010

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Braun

Referent: Univ.-Prof. Dr. Dr. Erhard

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Gerhards

Tag der Promotion: 24. Juli 2010

# Inhaltsverzeichnis

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG</b>                                 | <b>1</b>  |
| <b>2</b>   | <b>LITERATUR</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2.1</b> | <b>Was ist Schlaf</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2.2</b> | <b>Schlafphysiologie</b>  | <b>5</b>  |
| 2.2.1      | Regulation des Schlafs  | 5         |
| 2.2.1.1    | Zwei-Komponenten-Modell   | 5         |
| 2.2.1.2    | Neuronale und humorale Faktoren                                     | 7         |
| 2.2.1.3    | Melatonin und Schlaf  | 8         |
| 2.2.1.4    | Schlaf und Immunsystem  | 9         |
| 2.2.2      | Schlafstadien   | 10        |
| <b>2.3</b> | <b>Funktion des Schlafes</b>  | <b>13</b> |
| 2.3.1      | Restorative Funktion des Schlafes                                   | 14        |
| 2.3.2      | Circadiane Funktion des Schlafes                                    | 15        |
| 2.3.3      | Multifunktionalität des Schlafes                                    | 16        |
| 2.3.4      | Die Bedeutung des Schlafes für die Gedächtnisfestigung              | 20        |
| <b>2.4</b> | <b>Wie kann Schlaf erfasst werden</b>                               | <b>21</b> |
| 2.4.1      | Zum EEG   | 21        |
| 2.4.1.1    | Definition und Entwicklung  | 21        |
| 2.4.1.2    | Einteilung der EEG-Wellen   | 22        |
| 2.4.1.3    | EEG in der Tiermedizin  | 24        |
| 2.4.2      | Zum EOG   | 25        |
| 2.4.3      | Zum EMG   | 26        |
| 2.4.4      | Übersicht über die Schlafstadieneinteilung mittels EEG, EOG und EMG | 27        |
| 2.4.5      | Zum EKG   | 28        |
| <b>2.5</b> | <b>Schlaf bei Tieren</b>  | <b>28</b> |
| 2.5.1      | Schlafverhalten   | 28        |
| 2.5.2      | Winterschlaf  | 33        |
| 2.5.3      | Schlaf beim Rind  | 33        |
| 2.5.4      | Schlaf beim Schwein   | 35        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 2.5.5      | Schlaf beim Pferd.....  | 36        |
| 2.5.5.1    | Pferdeverhalten .....   | 36        |
| 2.5.5.2    | Schlafverhalten des Pferdes.....  | 37        |
| 2.5.5.3    | Dösen.....  | 42        |
| 2.5.5.4    | Schlummern .....  | 43        |
| 2.5.5.5    | Tiefschlaf .....  | 45        |
| <b>3</b>   | <b>MATERIAL UND METHODIK .....</b>  | <b>47</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Untersuchte Pferde.....</b>  | <b>47</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Polysomnographie .....</b>   | <b>48</b> |
| 3.2.1      | Gerätetechnische Ausrüstung .....   | 48        |
| 3.2.2      | Elektroden und Elektrodenkabel .....  | 49        |
| 3.2.3      | Vorbereitung der Messungen .....  | 49        |
| 3.2.4      | Durchführung der Ableitung .....  | 50        |
| 3.2.5      | Lokalisation der Ableitungsstellen .....  | 51        |
| <b>3.3</b> | <b>Auswertung .....</b>   | <b>56</b> |
| <b>4</b>   | <b>ERGEBNISSE .....</b>   | <b>57</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Besonderheiten der polysomnographischen Aufzeichnungen bei Pferden .....</b> | <b>57</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Gesamtschlafzeit .....</b>   | <b>58</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Schlafstadien .....</b>  | <b>60</b> |
| 4.3.1      | Übersicht.....  | 60        |
| 4.3.2      | Schlaffragmentierung.....   | 69        |
| 4.3.2.1    | Übersicht .....   | 69        |
| 4.3.2.2    | Auswertung .....  | 74        |
| <b>4.4</b> | <b>Einfluss des Alters auf die Schlafdauer und Schlaffragmentierung .</b>       | <b>78</b> |
| <b>4.5</b> | <b>Schlaf im Liegen oder Stehen.....</b>  | <b>80</b> |
| 4.5.1      | Nächtliche Liegezeit.....   | 80        |
| 4.5.2      | Zusammenhang zwischen Körperhaltung und Gesamtschlafzeit.....                   | 85        |
| 4.5.3      | Zusammenhang zwischen Körperhaltung und Schlafstadien.....                      | 87        |

|            |                                   |            |
|------------|-----------------------------------|------------|
| <b>5</b>   | <b>DISKUSSION .....</b>           | <b>94</b>  |
| <b>5.1</b> | <b>Methodenkritik .....</b>       | <b>94</b>  |
| <b>5.2</b> | <b>Gesamtschlafzeit .....</b>     | <b>95</b>  |
| <b>5.3</b> | <b>Schlafstadien .....</b>        | <b>96</b>  |
| <b>5.4</b> | <b>Schlaffragmentierung.....</b>  | <b>99</b>  |
| <b>5.5</b> | <b>Körperposition .....</b>       | <b>101</b> |
| <b>6</b>   | <b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>       | <b>106</b> |
| <b>7</b>   | <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b> | <b>108</b> |

## Tabellenverzeichnis

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Tabelle 1:  | Die Einteilung der Schlafstadien beim Menschen anhand des EEG nach RECHTSCHAFFEN und KALES (1968).....   | 11 |
| Tabelle 2:  | Prozentuale Verteilung der Gesamtschlafzeit bei jungen gesunden Erwachsenen (COOPER, 1994) .....   | 12 |
| Tabelle 3:  | Zusammenhänge zwischen Schlaf und Aufmerksamkeitskomponenten (WEES et al., 1998).....  | 19 |
| Tabelle 4:  | Schlafstadieneinteilung mittels EEG, EOG und EMG nach RECHTSCHAFFEN und KALES (1968) .....   | 27 |
| Tabelle 5:  | Mindest-Liegeflächen für Pferde bei Gruppenhaltung (BMELV, 2009).....  | 41 |
| Tabelle 6:  | Übersicht über die untersuchten Pferde .....   | 47 |
| Tabelle 7:  | Lokalisation der Ableitungsstellen .....   | 52 |
| Tabelle 8:  | Verteilung der Schlafstadien auf die Gesamtschlafzeit innerhalb der untersuchten Nächte (Angaben in Minuten, MW = Mittelwert) .....            | 75 |
| Tabelle 9:  | Prozentuale Verteilung der Schlafstadien auf die Gesamtschlafzeit innerhalb der untersuchten Nächte (Angaben in Prozent, MW = Mittelwert)..... | 76 |
| Tabelle 10: | Im Stehen und Liegen verbrachte Zeit pro Nachtphase, Anzahl der Liegephasen (MW = Mittelwert).....   | 82 |
| Tabelle 11: | Liegephasen der Pferde differenziert nach Brust- und Seitenlage .....  | 84 |

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 12: Im Stehen und Liegen verbrachte Zeit pro Gesamtschlafzeit<br>(MW = Mittelwert) ..... | 86 |
| Tabelle 13: Verteilung der Schlafstadien (min) in Abhängigkeit von der<br>Körperhaltung .....    | 88 |

## Abbildungsverzeichnis

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Abbildung 1:  | Das Zwei-Komponenten-Modell der Schlafregulation. ....   | 6  |
| Abbildung 2:  | Idealisiertes Hypnogramm (COOPER, 1994).....   | 12 |
| Abbildung 3:  | Merkmale der Aufmerksamkeitskomponenten<br>(WEES et al., 1998) .....                                     | 18 |
| Abbildung 4:  | Die für die Polysomnographie wichtigen Elektrodenpunkte<br>A1, A2, C3, C4 (ERLER, 2001) .....            | 24 |
| Abbildung 5:  | Somnoscreen EEG 10-20, Fa. Somnomedics.....  | 48 |
| Abbildung 6:  | Winterdecke „Sleezy“, Fa. Nice-horse-tec.....  | 51 |
| Abbildung 7:  | Schematische Darstellung der Lokalisationen für die<br>EEG-Ableitung.....                                | 53 |
| Abbildung 8:  | Korrektter Sitz der Elektroden am Kopf.....  | 54 |
| Abbildung 9:  | Korrektter Sitz der Elektroden an der Brust.....   | 55 |
| Abbildung 10: | Gesamtschlafzeit aller Pferde (in Minuten/Nachtphase<br>[6 – 10 h]) .....                                | 59 |
| Abbildung 11: | Anteil der Schlafzeit/Nacht (in Prozent) an der<br>gesamten Beobachtungsdauer pro Nacht [6 – 10 h] ..... | 59 |
| Abbildung 12: | Ableitungen bei Bewegung (Pferd 3/Nacht 2) .....   | 62 |
| Abbildung 13: | Ableitungen im Wachzustand (Pferd 3/Nacht 2).....  | 63 |
| Abbildung 14: | Ableitungen im REM-Schlaf (Pferd 6/Nacht 3) .....  | 64 |
| Abbildung 15: | Schlafstadium 1 (Pferd 2/Nacht 2) .....  | 65 |
| Abbildung 16: | Schlafstadium 2 (Pferd 3/Nacht 2) .....  | 66 |

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 17: Schlafstadium 3 (Pferd 6/Nacht 3).....   | 67 |
| Abbildung 18: Schlafstadium 4 (Pferd 6/Nacht 4).....   | 68 |
| Abbildung 19a: Schlaffragmentierung.....   | 70 |
| Abbildung 20: Prozentualer Anteil der einzelnen Schlafstadien an<br>der Gesamtschlafzeit für alle Pferde/Nächte .....  | 74 |
| Abbildung 21: Mittelwerte und Standardabweichungen der<br>prozentualen Schlafstadien-Verteilung bei den für Pferd 6<br>dokumentierten und den übrigen Nächten..... | 77 |
| Abbildung 22: Zusammenhang zwischen dem Lebensalter der Pferde und der<br>mittleren Gesamtschlafzeit/Pferd.....  | 79 |
| Abbildung 23: Zusammenhang zwischen dem Lebensalter der Pferde und der<br>Häufigkeit der Schlafstadienwechsel .....  | 79 |
| Abbildung 24: Zusammenhang zwischen dem Lebensalter der Pferde und<br>der Schlaffragmentierung .....   | 80 |
| Abbildung 25: Relation zwischen Steh- und Liegezeit.....   | 83 |
| Abbildung 26: Prozentualer Anteil des Schlafs im Stehen oder Liegen<br>an der Gesamtschlafzeit.....  | 87 |
| Abbildung 27: Schlafstadien in Abhängigkeit von der Körperposition<br>(ST = Stehen, BL = Brustlage, SL = Seitenlage) .....   | 89 |
| Abbildung 28: REM-Schlaf in Brustlage.....   | 90 |
| Abbildung 29: REM-Schlaf im Stehen (Pferd 6/3).....  | 91 |
| Abbildung 30: REM-Schlaf in rechter Seitenlage (Pferd 6/3) .....   | 92 |
| Abbildung 31: Schlafstadium 4 im Stehen (Pferd 6/3) .....  | 93 |

## Abkürzungen

|       |   |
|-------|---|
| ACh   | Acetylcholin  |
| ACTH  | Adrenocorticotropes Hormon                                  |
| ARAS  | Aufsteigendes Aktivierungssystem der Formatio reticularis   |
| BMELF | Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten |
| COPD  | Chronic Obstructive Pulmonary Disease                       |
| DSIP  | Delta-Sleep Inducing Peptide                                |
| EEG   | Elektroenzephalogramm                                       |
| EKG   | Elektrokardiogramm  |
| EMG   | Elektromyogramm   |
| EOG   | Elektrookulogramm   |
| GH    | Growth Hormone  |
| IL    | Interleukin   |
| M     | Movement  |
| MW    | Mittelwert  |
| n     | Anzahl  |
| NA    | Noradrenalin  |
| NREM  | Non-REM   |
| PDG2  | Prostaglandin D2  |
| REM   | Rapid Eye Movements   |
| SWS   | Slow Wave Sleep   |
| TNF   | Tumor Necrosis Factor                                       |
| VIP   | Vasoaktives intestinales Peptid                             |
| vs.   | versus  |
| W     | Wachzustand   |

## **1 Einleitung und Fragestellung**

Während des Schlafes erfährt das schlafende Individuum verschiedenste Veränderungen bezüglich der Körperfunktion und Bewusstseinslage wie eine stark verminderte Spontanaktivität und eine herabgesetzte Reaktion auf äußere Reize. Diese Veränderungen stellen für Pferde als hochspezialisierte Lauf- und Fluchttiere eine große Herausforderung dar, da ihre Hauptverteidigungsstrategien in hoher Wachsamkeit und rascher Flucht bestehen.

Bisher wurde das Schlafverhalten von Pferden hauptsächlich durch die Beobachtung von Tieren in Einzel-/Boxenhaltung beziehungsweise Gruppenhaltung untersucht. Bei diesen Beobachtungen handelte es sich um subjektive Eindrücke, die bisher noch nicht überzeugend durch objektive Messungen bestätigt wurden. In der Humanmedizin ist es hingegen heute üblich, den Schlaf der Patienten mittels Polysomnographie zu untersuchen. Diese Untersuchungen finden meist in Schlaflabors statt, in denen geeignete Bedingungen und standardisierte Verfahren zur Verfügung stehen.

Bei Pferden war die Polysomnographie bisher aufgrund des hohen technischen Aufwandes nur unzureichend möglich. Durch Einführung tragbarer Polysomnographen stehen nun Geräte zur Verfügung, mit deren Hilfe das Schlafprofil prinzipiell auch bei Pferden untersucht werden kann, da sie eine Untersuchung im heimatlichen Stall ermöglichen. Dies ist von Bedeutung, da eine Umstellung in eine fremde Umgebung und ohne den Kontakt zu den gewohnten Artgenossen eine Beeinflussung der Messergebnisse aufgrund mangelnder Entspannung der Tiere zur Folge hat.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, ein transportables Polysomnographiegerät (Somnoscreen®, Fa. Somnomedics) auf seine Verwendbarkeit für die Polysomnographie bei Pferden unter Praxisbedingungen zu testen. Es sollen folgende Parameter erhoben werden:

- Das Elektroenzephalogramm (EEG),
- das Elektrookulogramm (EOG),
- das Elektromyogramm (EMG),
- das Elektrokardiogramm (EKG)
- sowie die Bestimmung der Körperlage mittels synchroner Videoaufzeichnung.

Anhand der erhobenen Parameter soll festgestellt werden, ob sich unterschiedliche Schlafstadien erkennen lassen und ob sich solche Stadien in ähnlicher Weise wie beim Menschen einteilen lassen.

Langfristig gesehen könnte die Polysomnographie wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse über das Schlafverhalten von Pferden in Boxen-/Einzelhaltung beziehungsweise Gruppenhaltung liefern und so die Diskussion um das Maß der Schlafqualität und der Entspannung der einzelnen Haltungsformen beeinflussen.

## 2 Literatur

### 2.1 Was ist Schlaf

Das Phänomen Schlaf fasziniert die Menschen seit jeher und wurde häufig von Dichtern und Philosophen thematisiert. So wird dem deutschen Dichter Heinrich HEINE (1797-1956) das Zitat zugeschrieben: „Der Schlaf ist doch eine köstliche Erfindung“. Oder der amerikanische Schriftsteller William SAROYAN (1908-1981) erklärte: „Das Beste, das wir haben ist der Schlaf.“ Wesentlich düsterer hingegen sah es der römische Politiker und Philosoph Marcus Tullius CICERO (106 v.Chr. – 43 v.Chr.) in seinen *Tusculanae Disputationes*: „Der Schlaf ist das Bild des Todes.“ Johann Wolfgang von GOETHE (1749-1832) wies auf eine medizinische Bedeutung des Schlafes hin und schrieb 1785 in einem Brief an Charlotte von Stein: „Der Schlaf heilt bei mir vieles“.

Das altgermanische Wort Schlaf lässt sich von „Schlaffwerden“ ableiten, d.h. von der Vorstellung einer im Schlaf eintretenden, erholsamen, körperlichen wie geistigen Erschlaffung (LEUTNER, 1993). Auf wissenschaftlicher Basis handelt es sich beim Schlaf um einen periodisch stattfindenden, meist in einer bestimmten Phase des Tages auftretenden Zustand der (relativen) motorischen Ruhe und (scheinbar) fehlenden sensorischen Reaktivität, d.h. ein „Sich-Abschließen“ des Individuums von der Umwelt. Der Schlafzustand kann darüber hinaus durch die prompte Weckbarkeit, d.h. ein rasches Aufwachen und eine unmittelbar folgende hohe Reaktionsfähigkeit als Antwort auf sensorische Reize definiert werden (KOELLA, 1988). Der Schlaf ist durch relative Immobilität, spezifische Schlafstellung und circadiane Verlaufsform gekennzeichnet (TEMBROCK, 1992). Während des Schlafes entspannt sich der Körper und das Nervensystem regeneriert sich (ZEEB, 1998).

Die Antwort des Organismus auf Umweltreize ist während des Schlafes herabgesetzt, was dazu führt, dass das Individuum nicht durch unterbewusst als unwichtig eingestufte Umweltreize in seiner Ruhephase gestört wird (MEDDIS, 1975). Wie sehr das Bewusstsein aber den Schlaf beeinflusst, kann man beispielsweise an Menschen erkennen, die sehr genau ihre gewünschte Schlafdauer vorher bestimmen können und dann ohne Wecksignal zu dem ge-

wünschten Zeitpunkt aufwachen (HOBSON und STICKGOLD, 1995; MOORCROFT et al., 1997).

Aber während des Schlafes kommt es nicht nur zu einer Veränderung der Bewusstseinslage, sondern durch das Überwiegen des Parasympathikus auch zu Veränderungen von Körperfunktionen. Der Parasympathikus bewirkt unter anderem eine Erhöhung des Tonus der glatten Muskulatur, was zum Beispiel bei Pferden über eine Bronchokonstriktion und einen erhöhten Atemwiderstand zur Verschlechterung einer COPD führen kann (GROS, 2000). Beim Menschen konnte gezeigt werden, dass Patienten mit chronisch-obstruktiven Lungenerkrankungen in stabiler Krankheitsphase tagsüber eine normale Blutoxygenierung, in der Nacht aber eine mangelhafte Sauerstoffsättigung aufwiesen, die zu einer Rechtsherzbelastung führte (RASCHE, 1995).

Ebenso treten charakteristische Veränderungen von Hormonspiegeln, wie ACTH (Adrenocorticotropes Hormon) und Cortisol, auf. Diese Hormone zeigen regelmäßig wiederkehrende Sekretionsmuster mit einem Minimum nach Schlafbeginn und einem Maximum in den frühen Morgenstunden (BORN et al., 1986; FEHM et al., 1986). Bei einer Stresssituation wird im Körper die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse aktiviert und es erfolgt eine ACTH- und Cortisol-Ausschüttung. Das Ansteigen von ACTH und Cortisol zum Schlafende könnte den Organismus auf die Auseinandersetzung mit Umwelteinflüssen während des Tages vorbereiten (MCEWEN, 1998; SCHMIDT-REINWALD et al., 1999).

Der gesunde erwachsene Mensch schläft etwa 7-9 Stunden pro Tag. Erwachsene in westlichen Industrienationen schlafen im Mittel werktags 7,5 Stunden. Menschen mit einer Schlafdauer von täglich 7-8 Stunden haben die höchste Lebenserwartung, und die Sterblichkeit steigt sowohl bei zu kurzer als auch zu langer Schlafdauer an (KALES und KALES, 1984). Trotz der verhältnismäßig langen Zeit, die der Mensch im Schlaf verbringt – etwa ein Drittel seines Lebens -, ist der Schlaf vergleichsweise wenig untersucht und Fragen nach der Funktion des Schlafes oder nach objektiven Kriterien für die Schlafqualität wurden bisher nur in Ansätzen beantwortet (STURM und CLARENBACH, 1997).

## **2.2 Schlafphysiologie**

### **2.2.1 Regulation des Schlafs**

#### **2.2.1.1 Zwei-Komponenten-Modell**

Als grundlegend prägender Rhythmusgeber ist die Rotation der Erde mit dem daraus resultierenden Tag-Nacht-Rhythmus anzusehen. Die Anpassung an Licht- und Temperaturschwankungen legt nahe, dass sich grundsätzlich Ruhe- und Aktivitätszyklen schon früh in der Evolution entwickelt haben. Dies ermöglicht eine ökonomisch bedarfsgesteuerte metabolische Aktivität. Daher könnte sich der elektrophysiologische messbare Schlaf aus der Ruhephase zeitlich koinzidierend mit der Entwicklung komplexer neuronaler Strukturen entwickelt haben (Übersicht STAEDT und STOPPE, 2001 und 2004).

Eine Reihe von Faktoren und Einflußgrößen sind an der Entstehung des Schlafbedürfnisses und des Schlafmusters beteiligt. Der Grad der Müdigkeit erhöht sich während eines Tages proportional zu der Zeit, die seit dem letzten Schlafereignis vergangen ist. Beachtenswert hierbei ist, dass nach einer durchwachten Nacht das Schlafbedürfnis nicht kontinuierlich ansteigt, sondern die Einschlafneigung am folgenden Tag tageszeitabhängig unterschiedlich stark ausgeprägt ist (BORBÉLY, 1982). Diese Beobachtung veranlasste BORBÉLY (1982) zur Aufstellung des Zwei-Komponenten-Modells der Schlafregulation (Abbildung 1). Demzufolge bestimmt ein circadian oszillierender Prozess, die circadiane Komponente C, schlafunabhängig die Einschlafneigung zu den unterschiedlichen Tageszeiten. Ein zweiter Prozess S steigt abhängig von der Wachzeit, aber unabhängig von der Tageszeit kontinuierlich an. Das Schlafbedürfnis wird gemeinschaftlich durch beide Prozesse reguliert und die Schläfrigkeit ist umso höher, je größer der Abstand zwischen den Kurvenverläufen bei der Prozesse ist.

Die Komponente C ist eine innere Uhr, bei der es sich um eine oszillierende Zellgruppe im Hypothalamus handelt. Durch diese werden eine Vielzahl innerer Prozesse wie beispielsweise Körpertemperatur, Hormonfreisetzung und Ruhe- bzw. Aktivitätsphasen gesteuert. Einen physiologischen Parameter zu finden, der den Prozess S verkörpert, erweist sich als wesentlich schwieriger. Hierbei

könnte es sich um eine Substanz handeln, die während der Wachzeit angereichert und während des Schlafes abgebaut wird. Es konnte gezeigt werden, dass Muramylpeptid, eine Substanz aus Bakterienzellwänden, die Freisetzung von Zytokinen durch Makrophagen induzieren, welches dann eine schlaffördernde Wirkung zeigt (BORBÉLY, 1982; LECLERC und CHEDID, 1982). Die Zytokine sind kleine, als Botenstoffe fungierende Proteine. Da sie vorrangig von Immunzellen sezerniert werden, wurde die Beteiligung des Immunsystems an der Schlafregulation diskutiert (siehe Kap. 2.2.1.4).

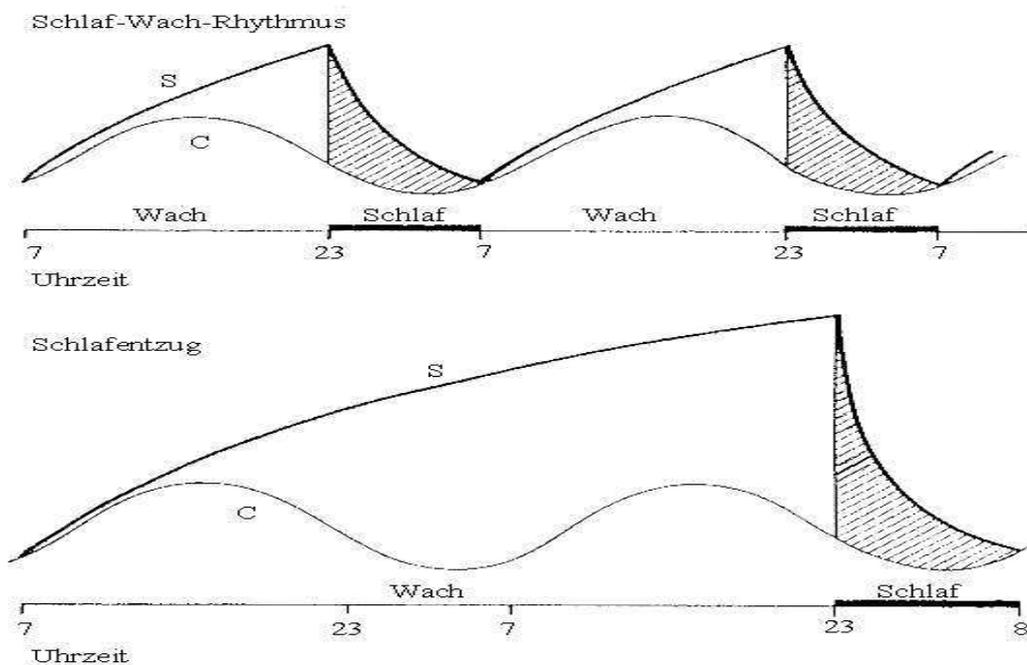


Abbildung 1: Das Zwei-Komponenten-Modell der Schlafregulation.

Es stellt die Einschlafneigung zu einer bestimmten Tageszeit als Differenz des circadian oszillierenden Prozesses C und des homöostatischen Prozesses S dar. Je größer die Differenz zwischen den Prozessen ist, um so größer ist die Einschlafneigung. Der Prozess C verkörpert in diesem Fall die circadian regulierte Fähigkeit zum Wachbleiben. Prozess S ist abhängig von der Dauer des Wachseins (modifiziert nach BORBÉLY, 1982)

### 2.2.1.2 Neuronale und humorale Faktoren

Die Regulation des Schlaf-Wach-Rhythmus erfolgt durch unterschiedliche Kerne des caudalen Hirnstammes, wobei ein so genanntes „aufsteigendes Aktivierungssystem der Formatio reticularis“ (ARAS) für die Aufrechterhaltung des Wachzustandes verantwortlich ist. Die Formatio reticularis übt ihre Weckfunktion („arousal“) über die Neurotransmitter Noradrenalin (NA) und Acetylcholin (ACh) aus, mit denen der Thalamus erregt wird. Beim Einschlafen werden andere Verschaltungen der Formatio reticularis – u.a. mit dem Nucleus raphe – wirksam, die über den Neurotransmitter Serotonin (5HT, 5-Hydroxytryptamin) einen hemmenden Einfluss auf das noradrenerge System ausüben. Gleichzeitig hemmen Kerngebiete im Hirnstamm die Aktivität des Thalamus über den Transmitter Gamma-Aminobuttersäure (GABA). D.h. dass zur Aufrechterhaltung des Wachzustandes über die ARAS der unspezifische Thalamus direkt, zur Schläfeinleitung beziehungsweise zur Abnahme der Aufmerksamkeit der Thalamus indirekt über hemmende Interneurone aktiviert wird (KRYGER et al., 2000).

Einen Meilenstein der Schlafforschung stellte die Beschreibung des so genannten REM-(rapid eye movement)-Schlafes mit schnellen horizontalen Augenbewegungen und des Non-REM-Schlafes mit langsam rollenden Augenbewegungen im Jahre 1953 dar (ASERINSKY und KLEITMAN, 1953). Vier Jahre später wurden Träume nach der Weckung aus dem REM-Schlaf beschrieben (DEMENT und KLEITMAN, 1957). Heute weiß man, dass der beim Menschen regelmäßige Wechsel zwischen REM- und Non-REM-Schlaf vom Nucleus suprachiasmaticus im Hypothalamus kontrolliert wird. Eine im EEG zu beobachtende Synchronisation während des Non-REM-Schlafes erfolgt im Nucleus raphe, Nucleus tractus solarius und im vorderen Hypothalamus (HOBSON, 1990a).

Neben den bereits angesprochenen Botenstoffen ist eine Fülle weiterer Transmitter an der komplexen Regulierung des Schlafes beteiligt. Allgemein wirken cholinerge Impulse allgemein begünstigend auf den REM-Schlaf, serotoninerge und noradrenerge Impulse hingegen hemmend (MAQUET et al., 1996).

JOUVET stellte 1967 die „Serotonin-Theorie“ auf, nach der Serotonin eine Schlüsselrolle bei der Regulierung des Schlaf-Wach-Rhythmus spielt und mit dem Non-REM-Schlaf assoziiert ist (JOUVET, 1967). Später fand er heraus, dass Serotonin nicht direkt, sondern über die Induktion verschiedener schlafbegünstigender Faktoren wirkt, die teilweise spezifisch den REM- oder Non-REM-Schlaf anregen (JOUVET, 1984). Neben verschiedenen endogenen, schlaffördernden Substanzen, wie Muramyl, Delta Sleep-Inducing Peptide (DSIP) und Ölsäure (Cis-9,10-Octadecensäure), existieren auch so genannte Schlaf-Faktoren wie das Growth Hormon (GH) und Prostaglandin D2 (PGD2), die sowohl den REM- als auch den Non-REM-Schlaf beeinflussen. Der REM-Schlaf wird gezielt durch das vasoaktive intestinale Peptid (VIP), Cholezystokinin, Bombesin, Somatostatin und Prolaktin gefördert. Dagegen hemmt Arginin-Vasotocin den REM-Schlaf und fördert – ebenso wie Insulin – den Non-REM-Schlaf (CLARENBACH et al., 1988; RECHTSCHAFFEN und SIEGEL, 2000).

#### 2.2.1.3 Melatonin und Schlaf

Eine Schlüsselstellung im circadianen Rhythmus des Schlafes spielt das Melatonin. Es handelt sich um ein in der Natur sehr weit verbreitetes biogenes Amin, das sich bei Pflanzen, Einzellern, Tieren und beim Menschen findet (REITER et al., 2001). Der Ausgangsstoff für seine Synthese ist die Aminosäure Tryptophan, welche über die Zwischenstufe Serotonin zu Melatonin umgewandelt wird. Der wichtigste Produktionsort im tierischen Organismus ist die Zirbeldrüse, kleinere Mengen werden aber auch in anderen Organen wie Retina oder Dünndarmschleimhaut gebildet (HUETHER, 1994; TOSINI und MENAKER, 1996; PANDI-PERUMAL et al., 2006).

Melatonin beeinflusst sehr viele physiologische Prozesse. Man kann zwischen den klassischen hormonellen Effekten und der antioxidativen Wirkung des Melatonins unterscheiden. Die antioxidative Wirkung beruht auf der Fähigkeit, mit freien Radikalen zu reagieren. Eng verknüpft mit den antioxidativen Eigenschaften des Melatonins sind auch seine alterungsverlangsamende und antikanzergene Wirkung (PIERPAOLI et al., 1994; PANDI-PERUMAL et al., 2006). Die wichtigsten hormonellen Wirkungen des Melatonins zielen auf die Beeinflus-

sung der Gonaden, die circadianen Rhythmen, den Schlaf und das Immunsystem ab (MARCZYNSKI et al., 1964; REITER, 1998).

Die Melatoninproduktion folgt einem vom Nucleus suprachiasmaticus vorgegebenen circadianen Rhythmus. Viele physiologische Prozesse laufen nach einem circadianen Rhythmus ab, wobei der Schlaf-Wach-Zyklus das bekannteste Beispiel ist (MARCZYNSKI et al., 1964; PANDI-PERUMAL et al., 2006). Sein zentraler innerer Zeitgeber ist im Nucleus suprachiasmaticus lokalisiert. Er steuert die Melatoninsekretion, wird aber seinerseits sowohl von äußeren Faktoren als auch vom Melatonin selbst beeinflusst. Die vom inneren Zeitgeber vorgegebene Dauer der circadianen Rhythmen beträgt etwa 25 Stunden. Mit Hilfe des Melatonins kann der Rhythmus an die jeweiligen Lichtverhältnisse angepasst werden. Durch Lichteinwirkung kommt es zu einer Stimulierung der Epiphyse, die daraufhin Noradrenalin ausschüttet, welches die Melatoninproduktion hemmt. Licht wirkt demzufolge inhibitorisch auf die Melatoninsynthese (WALDHAUSER et al., 1998; PANDI-PERUMAL et al., 2006).

Die Melatoninproduktion ist tagsüber durch die Lichteinwirkung gering; sie erreicht ihr Maximum nachts zwischen zwei und vier Uhr (BRZEZINSKI, 1997; ZEITZER et al., 2000). Beim Menschen zeigt das Melatonin eine schlaffördernde Wirkung (WALDHAUSER et al., 1990; JAN et al., 1994; SKENE et al., 1996).

#### 2.2.1.4 Schlaf und Immunsystem

Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass Probanden mit kontrollierten Virusinfektionen neben körperlichen Symptomen wie Fieber und Kopfschmerzen auch an einer Zunahme von Müdigkeit, Depressivität und Angst, Appetitlosigkeit und eine Verlangsamung von Reaktionen leiden. Solche Beobachtungen legen nahe, dass das Immunsystem in die Ausübung von Verhaltensweisen einschließlich des Schlafverhaltens eingreifen kann (SMITH et al., 1987 und 1988; SMITH et al., 1992; SMITH et al., 1993).

Um eine physiologische Rolle in der Schlafregulation wahrnehmen zu können, muss eine Substanz tageszeitlichen oder schlafabhängigen Schwankungen unterliegen; dies ist für das Interleukin IL-1 $\beta$  und den Tumor-Nekrose-Faktor TNF- $\alpha$  der Fall: die zentrale oder systematische Produktion durch Protein und mRNA von TNF- $\alpha$  und IL-1 $\beta$  nimmt während der Wachperiode bis zum Erreichen maximaler Werte zu und fällt während des Schlafens wieder ab (HOHAGEN et al., 1993; BREDOW et al., 1997; FLOYD, 1997; TAISHI et al., 1997). Bei Versuchen mit Ratten konnte gezeigt werden, dass die systemische oder zentrale Gabe von Zytokinen einen Einfluss auf das Schlaf-Wach-Verhalten hat. Zur Ruheperiode verabreicht, konnte nur in wenigen Studien ein Einfluss von IL-1 auf die Non-REM-Schlafdauer festgestellt werden, wobei mittlere Dosierungen den Non-REM-Schlaf zu fördern scheinen und sehr hohe Dosierungen ihn unterdrücken. Gleichzeitig wurde dosisunabhängig ein Anstieg der Slow-wave-Aktivität während des Non-REM-Schlafes gefunden (OPP und KRUEGER, 1991; LANCEL et al., 1996; OPP und TOTH, 1998).

Die Verabreichung von Endotoxinen stimuliert das Immunsystem, welches die Freisetzung von Zytokinen wie TNF- $\alpha$ , IL-6 und auch IL-1 $\beta$  veranlasst. Infolge dieser Zytokinfreisetzung steigen die Plasmawerte der Stresshormone ACTH und Cortisol, die ihrerseits gegenregulatorisch die Freisetzung von IL-1 $\beta$  und TNF- $\alpha$  unterdrücken (BURRELL, 1994).

### 2.2.2 Schlafstadien

Durch die kontinuierliche Ableitung des Elektroencephalogramms (EEG), Elektroofulogramms (EOG) und Elektromyogramms EMG) mit Oberflächen-elektroden während der Nacht konnte man fünf unterschiedliche, wiederkehrende Biosignalmuster klassifizieren (RECHTSCHAFFEN und KALES, 1968).

Die grobe Einteilung des Schlafes erfolgt in REM-Schlaf und Non-REM-Schlaf. Hierbei wird der Non-REM-Schlaf nach RECHTSCHAFFEN und KALES (1968) nochmals in vier Stadien unterteilt (Tabelle 1): Während sich in Stadium 1 vorwiegend ein niederamplitudiges EEG mit gemischten Frequenzen im Thetabereich ohne schnelle Augenbewegungen zeigt, lässt sich in Stadium 2 ein EEG

mit geringamplitudigen Thetawellen, K-Komplexen und Schlafspindeln erkennen. Die Stadien 3 und 4 unterscheiden sich in ihrem zunehmenden prozentualen Deltaschlafanteil. Mit zunehmender Schlaftiefe nimmt der Anteil an den Stadien 3 und 4 zu, die Weckschwelle steigt dabei an.

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

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Stadium W<br>(Wachzustand)          | Das EEG enthält Alpha-Aktivität und/oder niedergespannte, gemischtfrequente Aktivität.   |
| Movement Time<br>(Bewegungsperiode) | Auswertepoche, in der die Polygraphie-Aufzeichnung durch Bewegungen des Probanden überlagert ist und der immer Schlafstadien vorangehen oder folgen.               |
| Stadium 1                           | Ein relativ niedergespanntes, gemischtfrequentes EEG ohne schnelle Augenbewegungen (REM's).  |
| Stadium 2                           | Schlafspindeln mit 12-14 Schwingungen pro Sekunde und K-Komplexen auf dem Hintergrund relativ niedergespannter, gemischtfrequenter Aktivität.                      |
| Stadium 3                           | Moderate Anteile von hochamplitudiger, langsamwelliger Aktivität.  |
| Stadium 4                           | Hohe Anteile von hochamplitudiger, langsamwelliger Aktivität.  |
| Stadium NREM<br>(=Non-REM)          | Die Stadien 1, 2, 3 und 4 zusammengenommen.  |
| Stadium REM                         | Ein relativ niedergespanntes, gemischtfrequentes EEG in Verbindung mit episodisch auftretenden schnellen Augenbewegungen (REM's) und einem niederamplitudigen EMG. |

Das REM-Schlaf-EEG erscheint als desynchronisiertes, Stadium 1-ähnliches EEG. Es treten hier die namensgebenden schnellen Augenbewegungen (Rapid eye movements), aber auch ein geringer Muskeltonus auf. Die Weckschwelle im REM-Schlaf ist insgesamt höher als im Non-REM-Schlaf. Bei Vögeln wurde bislang nur eine Art von REM-Schlaf gefunden, beim Menschen hingegen lässt sich der REM-Schlaf in zwei Typen – „tonic“ und „phasic“ – unterscheiden, wo-

bei der phasische Typ mit Augenbewegungen und Zuckungen in Verbindung gebracht wird (LIMA et al., 2005).

Beim Menschen beginnt ein normaler Schlafzyklus mit dem Non-REM-Schlaf, dabei werden die Stadien 1 bis 4 durchlaufen, und er endet mit dem REM-Schlaf (ACHERMANN und BORBÉLY, 1995). Diese zyklische Abfolge von Non-REM- und REM-Schlaf folgt einem ultracircadianen Rhythmus mit einer Periodik von 3-5 Zyklen zu je 90-100 Minuten pro Nacht (RECHTSCHAFFEN und SIEGEL, 2000, Abbildung 2, Tabelle 2).

Der Schlaf von Vögeln und Säugetieren verläuft in Zyklen, bei denen sich an eine SWS-(slow wave sleep)-Schlafphase eine REM-Schlafphase anschließt. Während eines ausgedehnten Schlafes kommt es zum Ablauf mehrerer Zyklen, wobei die frühen Schlafzyklen vom tiefen SWS-Schlaf dominiert werden, der REM- und der flache SWS-Schlaf erst in den späteren Zyklen vermehrt gesehen werden (LIMA et al., 2005).

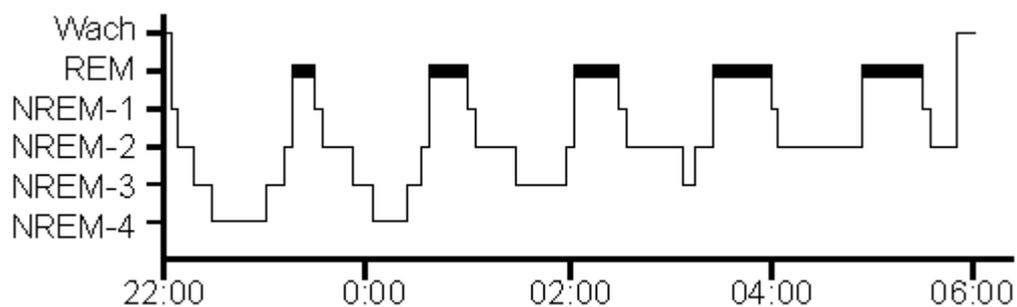


Abbildung 2: Idealisiertes Hypnogramm (COOPER, 1994)

Tabelle 2 Prozentuale Verteilung der Gesamtschlafzeit bei jungen gesunden Erwachsenen (COOPER, 1994)

| Zustand               | Prozentualer Anteil an der Gesamtschlafzeit |
|-----------------------|---|
| REM (Traumschlaf)     | 20-25%                                      |
| NREM 1 (Leichtschlaf) | 2-5%  |

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| NREM 2 (Leichtschlaf) | 45-55% |
| NREM 3 (Tiefschlaf)   | 3-8%   |
| NREM 4 (Tiefschlaf)   | 10-15% |

### **2.3 Funktion des Schlafes**

Schlafforscher bezeichnen die verschiedenen Zustände oder Stufen des Schlafes bzw. Wachseins als Zustände der Vigilanz (Wachsamkeit) (LIMA et al., 2005). Daraus folgt, dass tiefer SWS- und REM-Schlaf mit einer geringeren Vigilanz einhergehen als beispielsweise das Dösen, welchem die höchste Vigilanz während des Schlafens zugeschrieben wird. Nach LIMA et al. (2005) stellen sich zwei Fragen:

- 1 Warum gibt es verschiedene Stadien von Vigilanz bzw. Schlaf?
- 2 Warum wird nicht immer in der maximalen Tiefe geschlafen?

Sie führen drei mögliche Gründe dafür an, warum nicht immer in der maximalen Tiefe geschlafen wird.

- 1 Die weniger intensiven Stadien des Schlafes müssen durchlaufen werden, um in die tieferen Schlafstadien zu gelangen.
- 2 Möglicherweise finden verschiedene Funktionen des Schlafes in den verschiedenen Stadien der Schlafzyklen statt, so dass alle Stufen nötig sind, um die erholsame Funktion des Schlafes zu erreichen.
- 3 Ein weiterer denkbarer Grund ist die Tatsache, dass die höhere Vigilanz des flachen Schlafes das Tier vor Fressfeinden schützen soll.

LIMA et al. (2005) vermuten, dass die Stadien höherer Vigilanz bei Tieren eine wichtige Rolle zum Schutz vor Fressfeinden spielt. Unter dieser Voraussetzung erscheint es ihnen auch plausibel, dass der tiefste SWS-Schlaf am Anfang des Schlafes steht: Das Tier macht schnellstmöglich sein Schlafdefizit wett und verbringt dann den Rest des Schlafens mit erhöhter Vigilanz. Grundlage ihrer Theorie ist der Vergleich mit der Nahrungsaufnahme, bei der das Tier, wenn es

Hunger hat, zunächst intensiv frisst und dabei weniger wachsam ist. Mit zunehmender Sättigung achtet es dann wieder mehr auf seine Umwelt.

Durch die Entdeckung des REM-Schlafes hat sich das wissenschaftliche Interesse am Schlafphänomen sehr verstärkt. Aber trotz aller Bemühungen der letzten 50 Jahre sind die Funktionen des Schlafes weiterhin ungeklärt. Nachfolgend werden einige wichtige Hypothesen über die Funktionen des Schlafes kurz im Überblick dargestellt.

### 2.3.1 Restorative Funktion des Schlafes

Nach Allan RECHTSCHAFFEN (1983) liegt es nahe, dass der Schlaf für die Regulation und Stabilität des inneren Gleichgewichts des Organismus lebenswichtig ist (RECHTSCHAFFEN et al., 1983): bei Ratten erzeugte Schlafentzug u.a. eine Hypothermie und die Autoren zogen hieraus die Schlussfolgerung, dass der Schlafentzug eine Funktionsstörung in den neuronalen Schaltkreisen herbeiführt, die für die Temperaturregelung verantwortlich sind. Bei Menschen konnte nach langdauerndem Schlafentzug gezeigt werden, dass sich im anschließenden Erholungsschlaf die Schlafdauer kaum verlängert, sich aber deutliche Veränderungen in der Schlafarchitektur, d.h. in der Zusammensetzung und Aufeinanderfolge der Schlafphasen, einstellten. In den Erholungsnächten zeigten sich im Verhältnis zum Normalschlaf größere Anteile an Tief-Schlaf- und REM-Phasen. Vorrangig wurde in Erholungsnächten der Tiefschlaf nachgeholt, erst sekundär zeigte sich auch ein REM-Rebound. Insgesamt kann die Erholungphase mehrere Nächte lang andauern (DEMENT, 1976).

Aus physiologischer Sicht entspricht der Non-REM-Schlaf einer Energie-sparenden Ruhephase. Es kommt zu einer Abnahme der Körpertemperatur, der Herz- und Atemfrequenz, des Metabolismus, des Muskeltonus und zu einer Verlangsamung und Synchronisation des EEG. Im REM-Schlaf hingegen findet sich eine gegenläufige Tendenz mit Zunahme der Körpertemperatur, des Metabolismus und Blutflusses sowie der neuronalen Aktivität, die dem Muster des Wach-EEG ähnelt. Viele Tierspezies weisen im Non-REM-Schlaf eine Abnahme und im REM-Schlaf eine Erhöhung der Körpertemperatur auf. Beim Men-

schen lassen sich diese Beziehungen nicht so eindeutig nachweisen. Allerdings führt auch beim Menschen körperliche Aktivität (Erwärmung) zu einer Zunahme des langsamwelligen Non-REM-Schlafes, während die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von REM-Schlaf mit sinkender Körpertemperatur wächst. Die Erhöhung der Temperatur des ZNS durch die REM-Phasen könnte durch eine schnellere Verarbeitungs-/Reaktionsmöglichkeit auf externe Reize (Arousal) aus dem Schlaf heraus einen wichtigen Selektionsvorteil bedeutet haben. Dazu passend findet sich auch im REM-Schlaf eine erhöhte Reagibilität auf externe Reize (STAEDT, 2005).

### 2.3.2 Circadiane Funktion des Schlafes

Die circadiane Theorie des Schlafes (EDMUNDS, 1988; MONTPLAISIER und GODBOUT, 1990) betrifft weniger die Funktion als die Steuerung des Schlafes und besagt, dass Organismen schlafen, weil eine innere Uhr dieses veranlasst. Evolutionsbiologisch lässt sich dies damit begründen, dass es zu bestimmten Zeiten für das Individuum besser ist, zu schlafen, als wach zu sein. Beispielsweise wird es dadurch vor den Gefahren der Dunkelheit geschützt, wenn die Befriedigung überlebenswichtiger Bedürfnisse wie die Nahrungs- oder Partner-suche gefährlicher und weniger erfolgsversprechend ist als bei Tageslicht. Hieraus ergibt sich eine Sicherungsfunktion des Schlafes.

Untersuchungen zum Schlafverhalten von Säuglingen oder Isolierungen von Versuchspersonen von der Außenwelt in eine „zeitfreie“ Umgebung – eine Laborsituation, der jeder Anhaltspunkt zur Einschätzung der Tageszeit entzogen wurde – zeigen, dass die Schlaf- und Wachperioden unter diesen Bedingungen von einem Rhythmus gesteuert werden, der vom 24-Stunden-Rhythmus nur geringfügig abweicht (LAVIE und WEBB, 1975): als neuronales Korrelat der circadianen Uhr zur Steuerung des Schlaf-Wach-Rhythmus werden Gebiete des Hypothalamus, und hier insbesondere der Nucleus suprachiasmaticus, diskutiert, weil dieser eng mit dem visuellen System verbunden ist und somit Informationen über die Lichtverhältnisse erhält (RALPH et al., 1990). Es haben aber auch endokrine und andere biologische (stoffwechselbedingte) Faktoren Einfluss auf die circadiane Steuerung des Schlafes. So schlafen Versuchspersonen

sonen in zeitfreien Umgebungen, wenn die Körpertemperatur ihren niedrigsten Wert erreicht (LAVIE, 1999). Allerdings zeigte sich in längeren, mehrere Wochen andauernden Isolationsexperimenten, dass beide Rhythmen – Körpertemperatur und Aufeinanderfolge von Schlaf-Wachperioden – sich trennten und eine eigene Periodizität beibehielten (CZEISLER et al., 1986), obwohl unter natürlichen Bedingungen beide eine Periodizität von 24 Stunden haben.

Im weiteren Forschungsverlauf entdeckte man, dass jeder dieser beiden Rhythmen zusätzlich in die Steuerung weiterer Systeme involviert ist. Der Körpertemperaturrhythmus überwacht die Sekretion des Hormons Kortisol, die Ausscheidung von Kalium aus den Nieren und das Einsetzen des REM-Schlafes, während der Schlaf-Wach-Rhythmus einen Einfluss auf die Sekretion des Wachstumshormons hat (LAVIE, 1999).

### 2.3.3 Multifunktionalität des Schlafes

Im Vergleich mit anderen Spezies ist der Schlaf-Wach-Rhythmus des Menschen durch einen einmaligen Wechsel zwischen Wachen und Schlafen gekennzeichnet. Andere Säuger verfügen dagegen über ein polyphasisches Schlafmuster wie beispielsweise Ratten, die mehrmals am Tag über 2-3 Stunden schlafen. Auch niedere Tiere brauchen Schlaf: es gibt Hinweise darauf, dass auch Fliegen und andere Insekten einen schlafähnlichen Zustand erreichen, indem sie täglich mehrmals einige wenige Minuten in Ruhe verbringen (FLEISSNER und FLEISSNER, 1988; KILDUFF, 2000). Möglicherweise deutet die Heterogenität der Schlafmuster daraufhin, dass der Schlaf bei den einzelnen Spezies auch unterschiedliche Funktionen erfüllt und neben einer lebenserhaltenden Aufgabe könnten dem Schlaf je nach Individuum noch andere Funktionen zukommen. So wird dem menschlichen Schlaf neben einer Beteiligung am Konservieren der metabolischen Energie auch der Erhalt der höheren mentalen Funktionen, der Thermoregulation, der neuralen Maturation, der mentalen Gesundheit (RECHTSCHAFFEN und SIEGEL, 2000) sowie eine gedächtnisbildende Funktion zugeschrieben (BORBÉLY, 1986; HORNE, 1988; HOBSON, 1990b).

Nach MEDDIS (1975 und 1977) schützt der Schlaf die Tiere vor Fressfeinden, indem die Ruhigstellung während des Schlafens jede überflüssige Aufmerksamkeits-erregung durch das gefährdete Tier selbst verhindert (MEDDIS, 1975 und 1977). RECHTSCHAFFEN (1998) meldete allerdings Bedenken gegen diese Erklärung an. Denn die Theorie von MEDDIS (1975 und 1977) kann seiner Meinung nach weder die Beobachtungen erklären, die zeigen, dass es nach einem Schlafentzug oft zu einem Nachholen an Schlafdauer und –intensität kommt. Ebenfalls kann die Theorie nicht erklären, warum es verschiedene Schlafstadien gibt. LIMA et al. (2005) sind dagegen der Auffassung, dass der „Blackout“ des gesamten Gehirns die Antwort auf die Gefahr vor möglichen Fressfeinden ist und dass der „Blackout-Schlaf“ die unterschiedlichen Funktionen des Schlafes am besten widerspiegelt.

Grundlage ihrer Theorie sind verschiedene Annahmen:

- 1 Der Schlaf hat verschiedene Funktionen bei der Pflege bzw. Wiederherstellung des Nervengewebes.
- 2 Das Gehirn besteht aus verschiedenen untereinander vernetzten Bereichen.
- 3 Diese verschiedenen Bereiche können nicht voneinander getrennt schlafen.

Auf der Basis dieser Annahmen ist es sicherer, den Schlaf in einen einzelnen kurzen Block zusammenzufassen und den Rest der Zeit wach bzw. nur im Leichtschlaf und reaktionsbereit zu sein. LIMA et al. (2005) sehen den „Blackout-Schlaf“ als den besten Weg für das Gehirn, eine „Off-line“-Zeit zur Regeneration und Wahrung seiner Funktion zu verwirklichen.

CARTMILL (1996) sieht die Aufgabe des Schlafes in einer Wiederherstellung der Ordnung im Zentralnervensystem, welche durch die verschiedenen Einflüsse der Wachphase in Unordnung kommt. Wird einem Organismus zwangsweise der Schlaf vorenthalten, so kommt es zu krankhaften Veränderungen in Form von Entgleisungen des Stoffwechsels, Gereiztheit, Ohnmachtsanfälle und Halluzinationen (CARTMILL, 1996). Die Entstehung von Gereiztheit wurde auch bei zwangsweise wach gehaltenen Tieren beobachtet (RUCKEBUSCH, 1972b).

Nach CARTMILL (1996) scheint der Körper ein besonderes Bedürfnis nach REM-Schlaf zu besitzen, welches sich allerdings mit dem Alter verändert. Auch wird erwähnt, dass bei jungen Säugetieren der paradoxe Schlaf (REM-Schlaf) länger dauert als bei adulten Tieren der gleichen Spezies. Eine Besonderheit sind hier die Nestflüchter, bei denen die Jungtiere von Geburt an dasselbe REM-Schlafmuster aufweisen wie die adulten Tiere.

Eine schlechte Schlafqualität, beispielsweise infolge von SWS- oder REM-Schlaf-Suppression oder verlängerte Wachphasen, führt zu einer verminderten Erholungsfunktion des Nachtschlafes. Dies hat negative Auswirkungen auf die nicht der bewussten Kontrolle unterliegende zentralnervöse Aktivierung, welche ihrerseits die der bewussten Kontrolle unterliegenden Aufmerksamkeitskomponenten Vigilanz, geteilte und selektive Aufmerksamkeit beeinträchtigen (WEES et al., 1998; vgl. Abbildung 3). Die selektive Aufmerksamkeit beinhaltet die Fähigkeit eines Individuums, aus der Summe aller auf das Individuum einströmenden Reize eine selektive Auswahl relevanter Reize zu treffen. Die Vigilanz bezieht sich auf eine unspezifische Reaktionsbereitschaft des Organismus, die Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum auf einem hohen oder höheren Niveau zu halten. Unter geteilter Aufmerksamkeit wird in erster Linie die Fähigkeit zur schnellen, automatisierten und kontrollierten Informationsverarbeitung sowie die Fähigkeit zu serieller und paralleler Informationsverarbeitung verstanden (WEES et al., 1998).

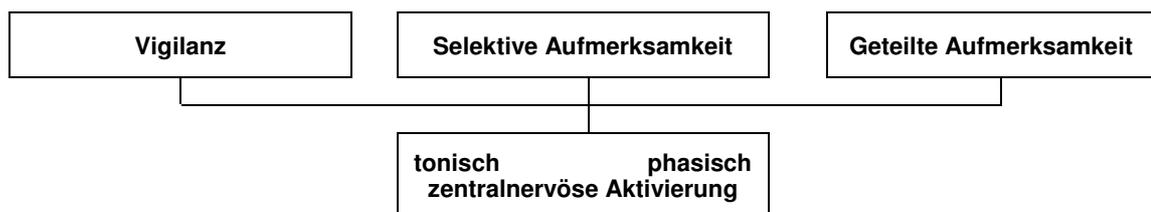


Abbildung 3: Merkmale der Aufmerksamkeitskomponenten (WEES et al., 1998)

Gemäß POSNER und RAFAL (1987) wird zwischen der der Aufmerksamkeit vorausgehenden zentralnervösen Aktivierung, der selektiven Aufmerksamkeit, der Vigilanz und der geteilten Aufmerksamkeit unterschieden (POSNER und RAFAL, 1987). Hierbei wird unter zentralnervöser Aktivierung die generelle Bereitschaft des zentralen Nervensystems verstanden wird, auf interne und exter-

ne Stimuli zu reagieren. Sie wird weiter unterteilt in eine tonische und eine phasische Komponente (WEES et al., 1998, Abbildung 3). Die phasische Komponente bezieht sich auf intermittierende, in der Regel durch einen Warnreiz ausgelöste Signale, die vom Organismus eine Reaktion erfordern und in der Folge zu einem vorübergehenden Anstieg der zentralnervösen Aktivierung führen. Sie beschreibt beispielsweise die Fähigkeit eines Individuums, bei ruhigem Sitzen auf Zurufen seine allgemeine Wachsamkeit (tonische Aktivierung) vorübergehend zu erhöhen. Unterschiedliche Wachheitsgrade werden auf die diurnale Fluktuation des tonischen Erregungssystems (z.B. Schlaf-Wach-Rhythmus) zurückgeführt.

Die Zusammenhänge zwischen Schlaf- und Aufmerksamkeitskomponenten fassen WEES et al. (1998) wie in Tabelle 3 gezeigt zusammen.

Tabelle 3: Zusammenhänge zwischen Schlaf und Aufmerksamkeitskomponenten (WEES et al., 1998)

| Aufmerksamkeitskomponente | Merkmale  |
|---------------------------|---|
| Aktivierung, tonisch      | <ul style="list-style-type: none"><li>– Circadianer Aspekt des allgemeinen Erregungsniveaus, der Wachheit</li><li>– Unterliegt nicht der bewussten Kontrolle</li><li>– der Vigilanz, der selektiven und geteilten Aufmerksamkeit vorausgehend</li></ul> |
| Aktivierung, phasisch     | <ul style="list-style-type: none"><li>– Fähigkeit, das tonische Aktivierungsniveau auf einen kritischen Stimulus hin zu erhöhen</li></ul>   |
| Selektive Aufmerksamkeit  | <ul style="list-style-type: none"><li>– Fähigkeit, unter hohem Tempo die Aufmerksamkeit über längere Zeiträume, für eine bestimmte Aufgabe aufrecht zu erhalten</li><li>– Fähigkeit, Störreize, Interferenzen und Ablenkungen „auszublenden“</li></ul>  |
| Geteilte Aufmerksamkeit   | <ul style="list-style-type: none"><li>– Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung</li><li>– Fähigkeit zu geteilter und paralleler Informationsverarbeitung</li><li>– Fähigkeit zu automatisierter und kontrollierter Verarbeitung</li></ul>          |

|          |   |
|----------|---|
| Vigilanz | <ul style="list-style-type: none"><li>- Unspezifische organismische Reaktionsbereitschaft über lange Zeiträume auf seltene und zufällig auftretende Reize zu reagieren</li><li>- Unterliegt der bewussten Kontrolle</li></ul> |
|----------|---|

#### 2.3.4 Die Bedeutung des Schlafes für die Gedächtnisfestigung

Anfang des 20. Jahrhunderts begann die systematische empirische Erforschung des Zusammenhangs zwischen Schlaf und Gedächtnis (HEINE, 1914; JENKINS und DALLENBACH, 1924). Neuere Studien konnten nachweisen, dass Schlaf – nicht aber Wachheit - nach dem Lernen die Gedächtnisbildung fördert (FISCHER et al., 2002; WALKER et al., 2002; WALKER et al., 2003). Des Weiteren wurde nachgewiesen, dass dieser positive Effekt nicht nur unmittelbar nach dem Schlafen festzustellen war, sondern dass auch noch mit einer zeitlichen Verzögerung von bis zu einer Woche die Gedächtnisabfrage positiv beeinflusst wird (SMITH, 1995; SMITH und SMITH, 2003).

In den 90er Jahren wurde der Unterschied von SWS- und REM-Schlaf auf das deklarative vs. nondeklarative Gedächtnis untersucht (PLIHAL und BORN, 1997). In dieser Studie zeigte sich, dass der SWS-reiche Schlaf besonders förderlich für die deklarative Gedächtnisbildung war, d.h. für das bewusste Abrufen von Fakten und Ereignissen in Form des Lernens von Wortpaar-Assoziationen. Der REM-reiche Schlaf zeigte seine fördernde Wirkung dagegen bei der nondeklarativen Gedächtnisbildung, d.h. beim Lernen ohne Zugriff auf bewusste Gedächtnisleistung (Spiegelzeichnen). In einer Nachfolgestudie ergab sich das gleiche Muster, wenn das deklarative Gedächtnis mit einer nonverbalen Aufgabe (räumliche Rotation) statt des Wortpaarlernens und das nondeklarative Gedächtnis mit einer verbalen Aufgabe (Vervollständigen von Wortfragmenten, priming) statt des Spiegelzeichnens erfasst wurde (PLIHAL und BORN, 1999).

Allerdings scheint es innerhalb des nondeklarativen Gedächtnisses eine gewisse Aufgabenspezifität der Schlafphaseneffekte zu geben. So fanden GAIS et al. (2000) bei einer perzeptuellen nondeklarativen Aufgabe (visuelle Unterscheidungsaufgabe, „visual discrimination task“), dass der späte REM-reiche Schlaf nicht für sich genommen die Gedächtnisleistung verbesserte, sondern nur in

Kombination mit dem vorausgehenden frühen SWS-reichen Schlaf (GAIS et al., 2000).

## **2.4 Wie kann Schlaf erfasst werden**

Der Schlaf kann unter Berücksichtigung von Augenbewegungen und Spannungszustand der Muskulatur in verschiedene Schlafstadien eingeteilt werden (RECHTSCHAFFEN und KALES, 1968). Diese Schlafstadien können mittels somnographischer Untersuchungen erfasst werden. Dazu werden nach RECHTSCHAFFEN und KALES (1968) das EEG (Elektroenzephalogramm), das EOG (Elektrookulogramm) und das EMG (Elektromyelogramm) abgeleitet.

### **2.4.1 Zum EEG**

#### **2.4.1.1 Definition und Entwicklung**

Bei einem EEG handelt es sich um die Ableitung der Hirnströme bzw. Potentialschwankungen und deren Aufzeichnung auf Papier (KOELLA, 1988). Die messbaren Potentialdifferenzen entstehen dadurch, dass „die Axone, die aus dem Thalamus aufsteigen, dicht unter der Oberfläche des Cortex mit Dendriten corticaler Pyramidenzellen Synapsen bilden. Bei Erregung dieser Synapsen entsteht ein excitatorisches postsynaptisches Potential mit entsprechenden Ionenströmen in postsynaptischen Neuronen. Damit ergibt sich eine Potentialdifferenz zu umliegenden, nicht erregten Membranbezirken“ (FREY, 2000). Werden mehrere corticale Pyramidenzellen gleichzeitig erregt, werden die Potentiale verstärkt. Werden benachbarte Pyramidenzellen jedoch teils hyperpolarisiert und teils depolarisiert, kommt es zu einer Abschwächung der Potentiale (FREY, 2000).

Bereits 1874 gelang es dem englischen Physiologen CANTON, bei Kaninchen und Affen Stromschwankungen an den Großhirnhemisphären nachzuweisen, er gilt deshalb im Allgemeinen als der Entdecker der Hirnströme (RÖSSNER,

1970a). Als Entdecker des Elektroencephalogramms gilt der Jenaer Professor Hans BERGER (NIEBELING, 1980), dem erstmals nachvollziehbare Ableitungen von der Schädeloberfläche gelangen und der den Begriff Elektroencephalogramm empfahl (BERGER, 1929). Internationale Anerkennung bekamen die Leistungen von BERGER aber erst, nachdem seine Erkenntnisse 1934 in Cambridge von dem englischen Elektrophysiologen Lord ADRIAN in Zusammenarbeit mit MATHEWS nachgeprüft worden waren (NIEBELING, 1980).

Untersuchungen von CREUTZFELD und STRUCK (1962) zeigten, dass für die autonome rhythmische Aktivität im EEG Impulszuflüsse aus subcortikalen Strukturen notwendig sind und hier vor allem die Kerngebiete des Thalamus synchronisierende afferente Impulse geben .

Eine immer feiner werdende Gerätetechnik und Spezialisierung führte dazu, dass die Anwendung der Elektroencephalographie Einzug in mehrere medizinische Teilgebiete, die Neurophysiologie, die Neuropharmakologie und die Klinik fand (RÖSSNER, 1970b). In der Neurophysiologie und Neuropharmakologie geht es dabei nicht nur um die Entstehungsmechanismen des EEG und die Auswirkung bestimmter Substanzen im Gehirn, sondern auch um die Auswirkung von Vorgängen im Gehirn auf den Organismus (RÖSSNER, 1970b).

Im klinischen Bereich hat die Elektroenzephalographie ihr traditionelles Einsatzgebiet bei der neurologischen und psychiatrischen Routinediagnostik. Und die EEG-Ableitung stellt bei zerebralen Funktionsstörungen eine relativ günstige und für den Patienten nicht belastende Untersuchungsmethode dar (LÜDERS und NOCHATAR, 1994).

#### 2.4.1.2 Einteilung der EEG-Wellen

Das Entscheidungskriterium für die Einteilung der EEG-Wellen ergibt sich aus den abgeleiteten Frequenzen (in Hz) im Verhältnis zu deren Spannungshöhe (Amplitude) (KUBICKI und HÖLLER, 1980; NIEBELING, 1980).

Die einzelnen Frequenzen werden in Banden zusammengefasst und mit griechischen Buchstaben bezeichnet.

Delta-Wellen weisen eine niedrige Frequenz von 1 bis 4 Hz auf. Sie sind typisch für die traumlose Tiefschlafphase. Als Theta-Welle wird ein Signal im Frequenzbereich zwischen 3 und 8 Hz bezeichnet. Theta-Wellen treten vermehrt in den leichten Schlafphasen auf, in denen man nur noch auf wichtige oder starke Umweltreize reagiert. Ein Signal im Frequenzbereich zwischen 8 und 13 Hz stellt die Alpha-Welle dar. Ein verstärkter Anteil von Alpha-Wellen wird mit leichter Entspannung beziehungsweise entspannter Wachheit assoziiert. Beta-Wellen nehmen einen Frequenzbereich zwischen 14 und 30 Hz ein. Betawellen kommen bei etwa 8 % aller Menschen als normale EEG-Variante vor; sie entstehen aber auch als Folge der Einwirkung bestimmter Psychopharmaka oder im REM-Schlaf. Als Gamma-Welle wird ein Signal im Frequenzbereich über 30 Hz bezeichnet. Sie treten zum Beispiel bei starker Konzentration oder Lernprozessen auf und sind auf einem EEG-Streifen mit bloßem Auge nicht zu sehen (HERRMANN et al., 1980; KUBICKI und HÖLLER, 1980; NIEBELING, 1980). Die Veterinärmedizin hat zur besseren Kommunikation zwischen Human- und Tiermedizin diese Bandgrenzen und ihre Bezeichnung für die Tiere übernommen (KLEMM und HALL, 1974; OTTO et al., 1994).

Weitere für die Schlafstadieneinteilung interessante EEG-Kriterien sind Schlafspindeln und K-Komplexe (RECHTSCHAFFEN und KALES, 1968). Schlafspindeln sind kurze Betawellenzüge, welche aber nicht gewertet werden sollen, sofern sie nicht mindestens 0,5 sec. andauern. K-Komplexe sind definiert als EEG-Wellenformen, die aus einer gut abgrenzbaren, scharfen, negativen Welle mit unmittelbar folgender positiven Komponente bestehen. Die Gesamtdauer des Komplexes sollte 0,5 sec. übersteigen (RECHTSCHAFFEN und KALES, 1968).

In der Humanmedizin werden zur Ableitung des EEG Napfelektroden aus Silber/Silberchlorid, oder besser noch goldbeschichtete Napfelektroden, mit langen flexiblen Kabeln auf die Kopfhaut aufgelegt und nach dem Entfetten der Haut mit Alkohol mit einer gipsähnlichen Paste befestigt, die nach Aushärtung für den sicheren Halt der Elektroden sorgt.

Die Positionierung der Elektroden erfolgt in der Humanmedizin nach dem 10/20-System (RECHTSCHAFFEN und KALES, 1968) mit maximal 19 Elektroden. Für die somnographische Untersuchung sind allerdings nur 4 Punkte maßgeblich: die Punkte C3 und C4 und als Referenzpunkte A1 und A2 (SCHULZ, 1997).

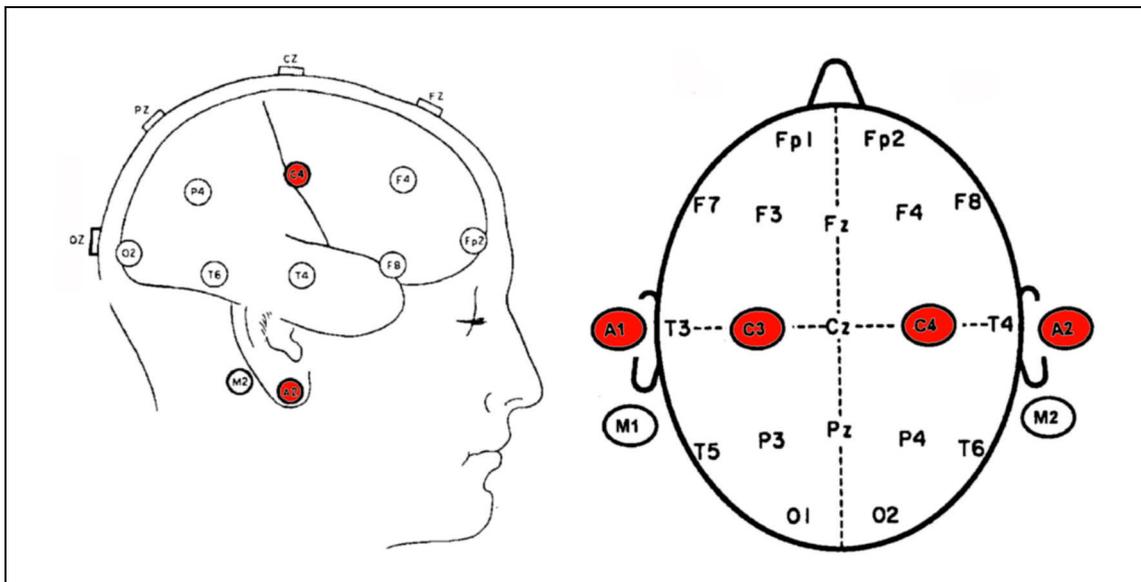


Abbildung 4: Die für die Polysomnographie wichtigen Elektrodenpunkte A1, A2, C3, C4 (ERLER, 2001)

### 2.4.1.3 EEG in der Tiermedizin

Die Nutzung des EEG ist in der klinischen Veterinärmedizin hingegen noch begrenzt und vorrangig Forschungszwecken vorbehalten. Probleme in der Ableitmethode bei den einzelnen Tierarten und Rassen, aber auch die mit dem apparativen und zeitlichen Aufwand verbundenen Kosten machen den Einsatz für Nutztiere von vornherein irrelevant (WEBER, 1975). Vorwiegend in den USA und Großbritannien wird das EEG in der Kleintiermedizin bei Fragestellungen der Epilepsieforschung und bei der Einteilung und Verlaufskontrolle der

Anfallsleiden verwendet (KLEMM, 1989; JAGGY und HEYNOLD, 1996). Im Rahmen der Verhaltensforschung findet das EEG vor allem zur Ermittlung der Rhythmik von Aktivität und Ruhe seinen Einsatz (STROMBERG et al., 1962; PAMPLIGONE, 1965; HALE und HUGGINS, 1980; OTTO, 1986). Ein weiteres Gebiet stellt die veterinärmedizinische Anästhesiologie dar: hier gibt es Veröffentlichungen über Medikamentenwirkungen, Bestimmungen der Narkosetiefe oder Untersuchungen über die Wirksamkeit verschiedener Anästhetika aber auch über die mit Operationen verbundenen Schmerzen (SCHNEIDER und BOCKLISCH, 1980; OTTO und SHORT, 1991; OTTO et al., 1993; SHORT und EKSTRÖM, 1993; MILLER et al., 1995; OTTO et al., 1996).

Veranlasst durch die in Brasilien herrschenden Klimabedingungen wurden dort EEG-Untersuchungen zur thermischen Belastung von Tieren und einer hieraus resultierenden Optimierung der Haltungsbedingungen durchgeführt (SINHA, 2003 und 2004).

Eine weitere Einsatzmöglichkeit des EEG's ist die Untersuchung, ob sich die Gehirnstrukturen bei Jungtieren bzw. sogar bei Föten der Art entsprechend entwickeln (BERGAMASCO et al., 2006). So lassen sich bei Ziegenjungen im Entwicklungszeitraum vom 2. bis zum 75. Lebenstag ein Anstieg im Bereich des Beta-Bandes und eine leichte Abnahme im Bereich des Theta-Bandes registrieren. Diese EEG-Veränderungen sollen Ausdruck der Gehirnentwicklung sein.

#### 2.4.2 Zum EOG

Das Auge entspricht entlang der Bulbusachse einem elektrischen Dipol. Die Cornea stellt den Pluspol, die Retina den Minuspol dar. Diese Tatsache macht man sich bei der Ableitung des EOG zunutze, da man das Bestandpotential zwischen Cornea und Retina messen kann. Die Potentialveränderungen werden benutzt, um die Stärke und Richtung von Augenbewegungen zu messen, und die Messung dieser Augenbewegungen hilft, das genaue Schlafstadium zu ermitteln.

Sowohl beim Einschlafen (die Bewegungen der Augen sind langsam und pendelnd) als auch im REM-Schlaf (hier sind die Augenbewegungen rasch und konjugiert) lassen sich informative EOG-Ableitungen für die Einteilung zu entsprechenden Schlafphasen finden. Augenbewegungen im Schlaf sind meist konjugiert d.h. die Bulbusbewegungen sind gleichgerichtet. Des Weiteren lassen sich mit Hilfe von langsamen Augenbewegungen und Blinzeln Unterscheidungen zwischen Wach- und Stadium 1 aufzeigen (SCHULZ, 1997).

Um Verwechslungen zwischen Augensignalen und anderen elektrischen Signalen zu vermeiden, wird eine Zweikanal-EOG-Ableitung empfohlen (RECHTSCHAFFEN und KALES, 1968). Diese Art der Ableitung hat auch den Vorteil, dass Augenbewegungen im Wachzustand und im REM-Schlaf gegenläufig aufgezeichnet werden. Artefakte und EEG-Einflüsse hingegen führen zu gleichgerichteten Ausschlägen (SCHULZ, 1997).

Beim erwachsenen Menschen werden zur Ableitung des EOG die Elektroden an einem Auge ca. 1 cm seitlich und etwas oberhalb des äußeren Augenrandes, am anderen Auge ca. 1 cm seitlich und etwas unterhalb des äußeren Augenrandes befestigt. Als Bezugselektroden gelten die A1- und A2-Elektroden am gleichseitigen Mastoid (SCHULZ, 1997).

### 2.4.3 Zum EMG

Beim Menschen wird zur Ableitung der Muskelaktivität meist der Kinnmuskel (M. mentalis) gewählt, da dieser im REM-Schlaf die ausgeprägteste Muskelatonie zeigt. Bei Bartträgern wird aber auch auf die Schultergürtelmuskulatur zurückgegriffen. Die Platzierung erfolgt links und rechts des jeweiligen Muskelberges des Kinns im Abstand von 3 - 4 cm. Diese Ableitung erfolgt bipolar, d.h., die Elektroden werden gegeneinander abgeleitet (SCHULZ, 1997).

Die tonische EMG-Aktivität kann während des Schlafes auf sehr niedrige Werte sinken, deshalb muss man bei der Messung eine relativ große Eingangsempfindlichkeit wählen (RECHTSCHAFFEN und KALES, 1968).

#### 2.4.4 Übersicht über die Schlafstadieneinteilung mittels EEG, EOG und EMG

In der folgenden Tabelle sind die unterschiedlichen EEG-, EOG- und EMG-Befunde zusammengestellt, die in den einzelnen Schlafstadien nach RECHTSCHAFFEN und KALES (1968) zu finden sind.

Tabelle 4: Schlafstadieneinteilung mittels EEG, EOG und EMG nach RECHTSCHAFFEN und KALES (1968)

|                                  | EEG   | EOG  | EMG   |
|----------------------------------|---|--|---|
| Wachzustand bei geöffneten Augen | Bei geöffneten Augen: Beta-Wellen mit einer Frequenz von 13-32 Hz.<br>Bei geschlossenen Augen: Alpha-Wellen mit einer Frequenz von 8-12 Hz. | Rasche kleine Augenbewegungen oder beim Übergang zum Schlaf langsame Bewegungen. | Wechselnder Tonus, hohe Amplitude.          |
| Stadium 1                        | Unregelmäßige Aktivität, gemischte Frequenz von 4-8 Hz (Theta-Wellen).  | Langsame, gegensätzliche rollende Augenbewegungen.                               | Wechselnder Tonus, hohe Amplitude.          |
| Stadium 2                        | Frequenz wie im Stadium 1, jedoch tauchen immer wieder so genannte Schlafspindeln und K-Komplexe auf.                                       | Keine Augenbewegungen.   | Wechselnder Tonus, abnehmende Amplitude.    |
| Stadium 3                        | 30-50% Deltawellen, jedoch muss die Amplitude größer sein als 75 µV.  | Keine Augenbewegungen.   | Wie in Stadium 2.                           |
| Stadium 4                        | Mehr als 50% Deltawellen.   | Keine Augenbewegungen.   | Wechselnder Tonus, sehr niedrige Amplitude. |
| REM-Schlaf                       | Niederamplitudiges EEG mit Theta-Wellen, gemischte Frequenz mit so genannten „Sägezahnwellen“.  | Schnelle konjugierte Augenbewegungen.  | Niedrigste Amplitude.                       |
| Stadium W                        | Es ist der Wachzustand  | Meist ist ein hoch gespannt-   | Oft sind REM's und Lid-                     |

|  |  |                    |                    |
|--|--|--------------------|--------------------|
|  | und charakterisiert durch Alpha-Aktivität und/oder ein gemischtfrequentes, niedergespanntes EEG. | tes EMG vorhanden. | schläge zu finden. |
|--|--|--------------------|--------------------|

#### 2.4.5 Zum EKG

Eine wichtige zusätzliche Messgröße bei der Polysomnographie ist das Elektrokardiogramm (EKG). Auf der einen Seite kann man mit seiner Hilfe eventuell auftretende Herzrhythmusstörungen während des Schlafes erkennen. Auf der anderen Seite dient die EKG-Aufzeichnung der Überprüfung, ob bestimmte Kurvenmerkmale in EEG, EOG oder EMG nur Artefakte sind, welche durch die Herztätigkeit ausgelöst werden (SCHULZ, 1997).

Bei der Polysomnographie wird in der Regel eine sog. „Ein-Kanal-EKG-Messung“, d.h. eine Messung mit nur einer Ableitung, durchgeführt. Diese Art der Ableitung genügt, um obige Anforderungen zu erfüllen, hat aber den Nachteil, dass beispielsweise Störungen der Erregungsleitung nicht sicher erfasst werden können. Die Einkanalmessung darf also nicht für die kardiologische Diagnostik herangezogen werden (SCHULZ, 1997).

### 2.5 Schlaf bei Tieren

#### 2.5.1 Schlafverhalten

Ein Schlafverhalten ist nicht nur bei den Säugetieren zu beobachten, sondern wir finden es bei allen Wirbeltieren, und selbst bei wirbellosen Tieren können wir schlafähnliche Ruheperioden finden: beispielsweise ist der Seehase, eine Riesenschnecke, tagsüber aktiv und zieht sich bei Sonnenuntergang zurück (BORBÉLY, 1998).

Die meisten Tierarten zeigen ein polyphasisches Schlafmuster, d.h. es verteilen sich mehrere Schlafperioden über 24 Stunden. Eine Ausnahme stellen Prima-

ten dar, die wie der Mensch ein monophasisches, aber auch ein biphasisches Schlafmuster aufweisen (TOBLER, 1995).

Tiere bevorzugen eine arttypische Schlafstellung. Es gibt hier beispielsweise die eingerollte Bauchlage (Kaninchen, Fuchs, Pferd), die Seitenlage (Katze, Känguru), die sogenannte Bilchlage, bei der der Körper von der Nasenspitze bis zum Schwanz bäuchlings eingekrümmt ist (Hyäne) oder aber die seltenere Rückenlage, die von Löwen eingenommen wird. Einige Tiere haben sehr außergewöhnliche Schlafstellungen, wie die in Reitlage auf Ästen schlafenden Geparden oder die kopfüberhängenden Fledermäuse (BORBÉLY, 1998). Nach ALLISON und VAN TWYVER (1970) sind die Schlafdauer und das Schlafmuster einer Tierart abhängig von der Sicherheit des Schlafplatzes. Auch sollen jagende Tiere einen konstanteren Schlaf aufweisen als Tiere, die zur Beutegruppe zählen. Tierarten, die in gefahrenreichen Umgebungen leben, verbringen wesentlich weniger Zeit im Tiefschlaf als Raubtiere mit wenigen Feinden (ALLISON und VAN TWYVER, 1970). Neuere Studien von LIMA et al. (2005) zeigen, dass Säugetiere und Vögel, sobald sie sich bedroht fühlen, mehr Zeit ihres Schlafes im Leichtschlaf verbringen. Auch diese Autoren stellen fest, dass Säugetiere, die sich vor Fressfeinden in Acht nehmen müssen, eine kürzere Gesamtschlafdauer und ein geringeres Vorkommen von REM-Schlaf zeigen als Räuber, die keine Angriffe befürchten müssen.

Eine Möglichkeit, Tiere anhand ihres Schlafverhaltens zu unterscheiden, ist, sie nach ihrer Schlaflänge zu untergliedern. So gehören z.B. die Fledermaus (20 Stunden), das Opussum (18-19 Stunden) und der Igel (17-18 Stunden) zur Gruppe der Langschläfer, während die Kuh, das Pferd und der Elefant mit lediglich drei bis vier Stunden Schlaf dagegen eher Kurzschläfer sind. Schlafdauer und Anteil des REM-Schlafes korrelieren nicht miteinander (BORBÉLY, 1998). Nach BORBÉLY (1998) lässt sich verallgemeinernd feststellen, „dass ein kurzes intensives Leben mit einer langen Schlafdauer und kurzem Schlafzyklus einhergeht“.

Eine weitere Möglichkeit der Unterscheidung des Schlafverhaltens ist die Tatsache, ob Tiere allein oder in einer Gruppe schlafen. Es gibt sogar Tiere, wie z.B. die Mausmakis, die in ihrer Aktivitätsphase ein Einzelgängerleben bevorzugen, sich aber zum Schlafen in einer Gruppe zusammen finden

(RADESPIEL, 2000). Diese Schlafgruppen haben für die Tiere sowohl Vor- als auch Nachteile: Ein Vorteil ist beispielsweise der verringerte energetische Aufwand für die Thermoregulation, ein anderer, dass sich Angreifer schwieriger auf das Einzeltier als Beute konzentrieren können. Nachteile hingegen sind ein höherer Infektionsdruck, besonders für Parasitosen, und eine höhere Auffälligkeit der gesamten Gruppe gegenüber Räubern (ARNOLD, 1988; BEAUCHAMP, 1999; OSTNER, 2002). Daher wechseln einige Tierarten ihre Schlafplätze häufig, was zu einer Senkung der Parasitenbelastung und zu einer größeren Tarnung gegenüber Raubtieren führt (LEWIS, 1996; HAKKARAINEN et al., 2001).

Vor allem Tiere mit einem hohen Räuberdruck suchen sich geschützte Schlafplätze wie Höhlen oder Baue. Diese geschützten Plätze werden dann oftmals auch zur Aufzucht der Nachkommen genutzt (KAPPELER, 1998). Einige Tierarten stellen sehr hohe Anforderungen an ihren Schlafplatz, sei es an seine Isolationseigenschaften, seinen Feuchtigkeitsgehalt oder seine Höhenlage (SCHMID, 1998). Die Wahl des Schlafplatzes ist unter anderem von den zur Verfügung stehenden Stellen abhängig, deren Bevorzugung durch Futterangebot, Tieranzahl, Angriffsmöglichkeiten für Raubtiere sowie thermodynamische Gesichtspunkte beeinflusst wird (BAKKEN, 1992). Dabei müssen die sichersten Schlafplätze nicht notwendigerweise mit einem tiefen Schlaf einhergehen, denn sicher ist oft auch eine Stelle, von der aus ein möglicher Räuber schon sehr früh erkannt werden kann. Dieses frühe Erkennen kann allerdings nur dann Erfolg haben, wenn das Tier nicht allzu tief schläft (KRAUSE und RUXTON, 2002).

Nicht alle Tiere verlassen sich auf Bauten und Höhlen als Schutzeinrichtungen, manche Tiere, wie beispielsweise einige Primatenarten, bevorzugen Schlafbäume, die durch ihre Höhe und Belaubung einen gewissen Schutz während des Schlafes bieten. Auf diesen Schutzeffekt verlassen sich auch viele Vogelarten (ANDERSON, 1998).

Tiere legen sich nicht einfach zum Schlafen hin, sondern stimmen sich mithilfe vorbereitender Handlungen auf den Schlafzustand ein. So scharren beispielsweise Füchse den Boden auf und führen einige Kreisbewegungen zur Bildung einer Liegemulde aus, bevor sie sich legen (BORBÉLY, 1998). Auch Pferde zeigen vor dem Niederlegen ein besonderes Verhalten: haben sie einen geeig-

neten Ruheplatz gefunden, folgt häufig ein Scharren mit einem Vorderbein und die Fläche wird ausgiebig mit gesenktem Kopf auf ihre Gerüche hin untersucht (BOGNER und GRAUVOGL, 1984).

Es wurde nachgewiesen, dass Säugetiere und Vögel auf ähnliche Art und Weise schlafen (SIEGEL et al., 1998). Ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Schlaf von Vögeln und Säugetieren liegt aber in der Dauer des REM-Schlafes. Während Säugetiere etwa 15-20 % des Schlafes im REM-Schlaf verbringen, sind es bei den Vögeln nur rund 5 %. Des Weiteren ist die Dauer der einzelnen REM-Epoche verkürzt: es konnten Perioden von weniger als zehn Sekunden beobachtet werden. Non-REM-Schlaf und REM-Schlaf konnten praktisch bei allen bisher untersuchten Säugetieren beobachtet werden. Ausnahmen bilden der Delfin und der Ameisenigel, bei denen kein REM-Schlaf festgestellt wurde (BORBÉLY, 1998).

Säugetiere und Vögel sind die einzigen Tiere, die REM- und SWS-Schlaf zeigen. Das Fehlen des SWS-Schlafes bei Reptilien legt nahe, dass die gemeinsamen Vorfahren von Säugetieren und Vögeln spezielle für den SWS-Schlaf nötige neuroanatomische und neurophysikalische Eigenschaften entwickelten (RATTENBORG, 2006).

Säugetiere, die sich auf ein Leben im Meer eingestellt haben, haben die Fähigkeit entwickelt, Schlaf und Aktivität zu entkoppeln. Sogar bei den Walen wurde der SWS-Schlaf nachgewiesen. Er erfolgt hier unihemisphärisch, und der REM-Schlaf kommt sehr reduziert beziehungsweise in einer veränderten Form vor. D.h. diese Tiere schlafen nur mit einer Hälfte des Gehirns, während die andere Hirnhälfte beispielsweise das regelmäßige Atmen steuert, zu dem die Tiere an die Wasseroberfläche gelangen müssen (RATTENBORG et al., 2000). Das Auftreten dieser USWS (unihemispheric slow wave sleep) konnten RATTENBORG et al. (2000) auch im Rahmen einer Studie an vier Monate alten Enten während einer Photoperiode von 12 Stunden Licht und 12 Stunden Dunkelheit beobachten. Als Vorteil dieser Schlafform sehen die Autoren die Möglichkeit, Feinde und Veränderungen in der Umgebung früher wahrnehmen zu können (RATTENBORG et al., 1999b). Während des USWS ist das der wachen Hirnhälfte kontralaterale Auge offen und beobachtet die Umgebung (RATTENBORG et al., 2000).

Inwieweit der USWS die Schlafeffizienz beider Gehirnhälften erreicht, ist nach RATTENBORG et al. (1999) noch unklar. Die meisten Vögel sind in der Lage, nur mit einer Gehirnhälfte (unihemispherisch) oder mit beiden Gehirnhälften gleichzeitig (bihemispherisch) zu schlafen (AMLANER und BALL, 1994).

Entwicklungsgeschichtlich gesehen ist der bihemispherische Schlaf als wertvoller anzusehen (RATTENBORG et al., 1999b und a). RATTENBORG et al. zeigten bei Versuchen mit Stockenten, dass die Enten, welche in der Mitte der Gruppe – also an einem sichereren Platz – schliefen, einen bihemispherischen Schlaf aufwiesen, während bei Enten, welche am Rand der Gruppe – also an einem gefährdeteren Platz – schliefen, nur wenig bihemisphärischen und dagegen mehr unihemisphärischen-Schlaf auftrat (RATTENBORG et al., 1999b und a). Auch bei Reptilien gibt es Anhaltspunkte dafür, dass der USWS-Schlaf vorkommt (RATTENBORG et al., 2000).

Das Wach-Schlafverhalten kann nach RUCKEBUSCH (1975) als ein Indikator für die Adaptation eines Tieres an seine Umwelt verwendet werden, da Veränderungen in Haltung und Umwelt meist zu einer Veränderung dieses Rhythmus führen. Als Messgrößen können die Gesamtschlafzeit, der Anteil des Leicht- bzw. Tiefschlafes an dieser Zeit, die Anzahl der Leichtschlaf- und Tiefschlafperioden sowie Verschiebungen des Beginns der Schlafenszeit einer Tierart dienen. Das Sich-Wiedereinstellen des ursprünglichen Rhythmus kann als eine Anpassung des Individuums an seine neue Umwelt verstanden werden (RUCKEBUSCH, 1975).

BOGNER und GRAUVOGEL (1984) fassen unter dem Begriff „Ausruhen“ die verschiedenen Schlafstadien einer Tierart zusammen. Nach RUCKEBUSCH durchlaufen die Individuen über das Dösen, den Leichtschlaf bis zum Tiefschlaf verschiedene Stadien der verminderten Reizwahrnehmung, die zu einer weitestgehenden Teilnahmslosigkeit am Umweltgeschehen führen können (RUCKEBUSCH et al., 1974). Gleichzeitig ist die Skelettmuskulatur entspannt und die physiologischen Frequenzen sind herabgesetzt. Dabei nimmt das Tier eine dem Schlafstadium entsprechende spezielle Körperstellung ein. Eine Form des Ausruhens ist das Dösen, welches aber nicht dem Schlafen im eigentlichen Sinne zugeordnet wird. Das EEG während des Dösens zeigt sowohl schnelle Wellen, wie sie für den Wachzustand normal sind, aber auch langsamere Wel-

len wie wir sie für den Non-REM-Schlaf kennen. Der Übergang vom Dösen zum Schlafen ist bei vielen Tieren fließend. So sehen wir dösende, wiederkäuende Kühe, welche in den eigentlichen Schlaf hinübergleiten und dabei weiter wiederkäuen (BORBÉLY, 1998).

### 2.5.2 Winterschlaf

Säugetiere können im Winter der Kälte, anders als z.B. viele Vogelarten, nicht durch eine Wanderung entrinnen und haben als Überlebensstrategie einen schlafähnlichen Zustand entwickelt. Diesbezüglich unterscheidet man zwischen Winterschlaf, Winterruhe und Winterstarre.

Beim Winterschlaf kommt es zu einem Absinken der Körpertemperatur bis fast zum Nullpunkt und zu einer drastischen Abnahme der Körperfunktionen. Auf diese Art überwintern beispielsweise Hamster und Murmeltiere. Eichhörnchen und Bären hingegen halten nur eine Winterruhe, bei der die Körpertemperatur auf Normalwerten bleibt. Amphibien und Reptilien fallen in eine so genannte Winterstarre: Ihre Körpertemperatur passt sich, da diese Tiere ihren Körper nicht aktiv erwärmen können, der Umgebungstemperatur an. Im EEG erkennt man während des Winterschlafes keinen REM-Schlaf, man sieht lediglich im flachen Winterschlaf typische Non-REM-Muster, und im tiefen Winterschlaf ist die Kurve flach und nicht mit bekannten Schlafkurven vergleichbar (BORBÉLY, 1998; BOSCH, 2001).

### 2.5.3 Schlaf beim Rind

Das Verhalten der Rinder wird vorwiegend von der Tag-Nachtrhythmik bestimmt (RIST et al., 1992). Rinder sind überwiegend tagaktiv und beschäftigen sich hauptsächlich mit Grasens, Wiederkäuen und Ruhen (HOUPPT, 1998).

Nach BOGNER und GRAUVOGL (1984) existieren im Tagesablauf der Rinder zwei bevorzugte Liegeperioden, eine zur Mittagszeit und eine weitere in der Nacht. Die tägliche Liegezeit ist nach METHLING und UNSHELM (2002) von der zur Futteraufnahme verbrauchten Zeit abhängig. Die tägliche Liegedauer ist auf der Weide und im Laufstall kürzer als die im Anbindestall beobachtete Lie-

gezeit (SAMBRAUS, 1978). Auch das Alter und das Gewicht haben Einfluss auf die Liegedauer: ältere und schwerere Kühe liegen länger als jüngere (SAMBRAUS, 1971). Das wichtige physiologische Verhalten des Wiederkäuens ist stark mit dem Ruheverhalten der Rinder gekoppelt und wird im Stehen oder Liegen durchgeführt (BOGNER und GRAUVOGL, 1984).

Wir unterscheiden nach BOGNER und GRAUVOGL (1984) beim Rind bezüglich der Ruhestadien das Dösen sowie den Halbschlaf, Leichtschlaf und Tiefschlaf. Der Tiefschlaf ist nach RIST (1992) durch seine charakteristische Liegeposition zu erkennen, bei der der Hals des Tieres zu einer Körperseite gewendet und der Kopf auf die Flanke oder auf den Boden gestützt ist. Eine Seitenlage wird nur beim Kalb gehäuft gesehen. Beim adulten Rind kommt die Seitenlage selten vor und wird nach höchstens 12 Minuten unterbrochen, unabhängig davon, ob das Tier auf der rechten oder linken Körperseite liegt (KOCH, 1968). Die Tiefschlafdauer beträgt beim Rind etwa 30 Minuten pro Tag, unterteilt in sechs bis zehn etwa vierminütige Perioden. Die Gesamtschlafzeit eines Rindes nimmt täglich circa vier Stunden/Tag, das Dösen 7,7 Stunden in Anspruch (ZEPELIN, 1989).

Der REM-Schlaf geht bei den Rindern mit einer Reduktion der Pansenkontraktion und fehlendem Ruktus einher. Des Weiteren wird er nur bei Rindern gesehen, welche an ihre Umgebung gewöhnt sind, denn jede Störung und Beunruhigung führt zu einer Reduzierung oder gar zum Verschwinden des REM-Schlafes (RUCKEBUSCH et al., 1974). ZEPELIN (1989) gibt für den Schlafzyklus eines Rindes, definiert als die Dauer einer Leichtschlafperiode und der folgenden REM-Schlafperiode, eine Dauer von etwa 16 Minuten an.

Aufschlussreiche Beobachtungen machte RUCKEBUSCH (1975) bei einem Rind mit Klauenproblemen. Das Rind zeigte vor der Behandlung kaum Tiefschlaf und viele kurze Leichtschlafperioden. In der ersten Nacht nach der Behandlung zeigte das Tier lange Leichtschlafphasen und neun Tiefschlafphasen, was der Autor als Anzeichen eines nachlassenden Schmerzgeschehens interpretierte (RUCKEBUSCH, 1975).

#### 2.5.4 Schlaf beim Schwein

Schweine ruhen mit etwa 19 Stunden pro Tag mehr als irgendeine andere Haustierart. Als ein besonderes Merkmal der Schweine beschreibt HOUP (1998) eine extreme Muskelrelaxation der Schweine während des Schlafes.

Die mit Ruhen verbrachte Zeit teilt sich in Dösen (fünf Stunden pro Tag), Schlafen ohne REM (sechs Stunden pro Tag) und REM-Schlaf (1,75 Stunden aufgeteilt in 33 Perioden) auf (HOUP, 1998). Nach ZEPPELIN (1989) schlafen Schweine durchschnittlich 9,1 Stunden pro Tag, wovon der Tiefschlaf 2,4 Stunden in Anspruch nimmt, und 11,6 Stunden verbringen sie mit Dösen.

Auch SAMBRAUS (1978) nennt eine 19stündige Gesamtruhezeit für Hausschweine. Dies gilt nach seinen Beobachtungen allerdings nur bei rationierter Fütterung: werden die Schweine ad libitum gefüttert, verkürzt sich diese Zeit auf 17,5 Stunden täglich.

Wildschweine verbringen dagegen nur 13 bis 16 Stunden täglich mit Ruhen oder Schlafen. Von dieser Zeit fallen etwa 11 Stunden in die Nachtstunden, und während der Mittagszeit werden weitere zwei bis fünf Stunden geruht (HÖRNING et al., 1992). Hausschweine in Weidehaltung zeigen nach BOGNER und GRAUVOGL (1984) ein ähnliches Ruheverhalten wie wildlebende Schweine, was einer um bis zu 30% igen Reduzierung des Ruheverhaltens gegenüber den im Stall gehaltenen Artgenossen entspricht.

Der Schlaf verteilt sich im Wesentlichen auf zwei bis drei Perioden während der Nachtstunden. Im Gegensatz zu Pferden und Rindern, bei denen der Tiefschlaf nur in den Dunkelphasen der Photoperiode beobachtet wird, ist die Schlafphase bei Schweinen nicht auf die Nachtstunden beschränkt (RUCKEBUSCH, 1972a).

Ob Schweine auf Spaltenböden oder in mit Stroh eingestreuten Boxen leben, hat nur geringgradigen Einfluss auf die mit Schlafen verbrachte Zeit. Jedoch verbringen auf Spaltenböden gehaltene Tiere mehr Zeit mit Dösen als Tiere, die in eingestreuten Boxen waren, da diese die Beschäftigungsmöglichkeit mit der Einstreu mehr zum aktiven Wachsein nutzen (LADEWIG und ELLENDORFF, 1983).

Mithilfe von Dunkelheit, monotonen Geräuschen und einer Reduzierung der sensorischen Stimulation konnte beim Schwein innerhalb weniger Minuten ein Schlafverhalten induziert werden. Dies ließ sich durch wiederholten Einsatz der Maßnahmen noch beschleunigen (RUCKEBUSCH, 1972a).

## 2.5.5 Schlaf beim Pferd

### 2.5.5.1 Pferdeverhalten

Das Pferd gehört zusammen mit Esel, Halbesel und Zebra zur zoologischen Familie der Unpaarhufer (Equidae). Entsprechend bestimmter Merkmale werden unsere echten Pferde zu Rassen zusammengefasst (LÖWE und MEYER, 1979).

Bei einigen Equiden, beispielsweise Eseln, überwachen territoriale Hengste ein bestimmtes Gebiet, in welchem ihre Herde mit weiblichen Tieren und Jungtieren lebt. Dagegen leben Pferde im engen Verband der Herde und legen weite Entfernungen zur Nahrungssuche zurück (KLINGEL, 1972; ISENBÜGEL, 1999). Innerhalb der Herde bilden Pferde, wie die meisten Equiden, stabile Familienverbände (ISENBÜGEL, 1999). Da sie jederzeit auf die Flucht vor Feinden vorbereitet sein müssen, weisen sie hoch leistungsfähige Sinnes-, Atmungs- und Bewegungsorgane auf. Trotz Domestikation, Einflüssen über das Zuchtgeschehen und Umweltveränderungen sind diese Eigenschaften bis heute erhalten geblieben, woraus sich die Ansprüche an artgerechte Haltungformen ableiten (PIRKELMANN, 2002).

Pferden stehen nur wenige Möglichkeiten zur Verfügung, sich gegen Angreifer zu verteidigen. So ist ihre maximale Geschwindigkeit mit 50 km/h nur etwa halb so schnell wie diejenige eines Leoparden. Nach FLADE (1999) ist es deshalb für Pferde wichtig, sich im Herdenverband rechtzeitig gegenseitig vor Angreifern zu warnen. Um diese Aufgabe zu bewältigen, steht ihnen ein ausgeprägter Gesichtssinn zur Verfügung (FLADE, 1999).

Der Tagesablauf der Pferde wird von der Futtersuche bzw. -aufnahme und den dazwischen liegenden Ruheperioden bestimmt. Die Tiere unterliegen dabei

exogenen und endogenen Einflüssen, welche zu Abweichungen von der homöostatischen Konstanz führen (SMIDT et al., 1991). Daher können unterschiedliche Haltungsformen den natürlichen diurnalen Tagesrhythmus von Pferden verändern (HASSENBERG, 1971).

Etwa 50-70 % des Tages wird mit der Nahrungsaufnahme verbracht. Den Großteil der restlichen Zeit verbringen Pferde im Stehen, hiervon verbringen sie 5-20 % im wachen Zustand und 10-20 % im Dösen. Nur 5-15 % des Tages bewegen sich Pferde unabhängig von der Futteraufnahme (ZEITLER-FEICHT, 2001b).

Die für die Reproduktion verwendete Zeit wird von der Zeit für die Nahrungsaufnahme abgezogen, während die Ruheperioden unverändert bleiben (DUNCAN, 1980).

#### 2.5.5.2 Schlafverhalten des Pferdes

Beim Ausruhverhalten von Pferden können drei Stadien unterschieden werden: Dösen, Schlummern und Tiefschlaf (SCHÄFER, 1993). Im angloamerikanischen Sprachgebrauch wird der Wachzustand (alert wakefulness) von der Schläfrigkeit (drowsiness), dem traumlosen Tiefschlaf (slow wave sleep) sowie dem REM-Schlaf mit vollständiger Muskelrelaxation (paradoxical sleep) differenziert (CARSON und WOOD-GUSH, 1983). HOUPPT grenzt den „Schlaf des Körpers“ (paradoxical sleep) vom „Schlaf des Geistes“ (slow wave sleep) ab (HOUPPT, 1980). Allerdings ist es generell schwierig, Intensitätsgrade des Schlafes rein visuell, ohne neurophysiologische Untersuchung, zu beurteilen (HASSENBERG, 1971). Das Ausruhen im Liegen kann in vier verschiedenen Positionen erfolgen: im sternalen oder lateralen Liegen jeweils auf der rechten oder linken Körperseite (LITTLEJOHN und MUNRO, 1972).

Die sieben- bis neunstündige Gesamtruhezeit der Pferde wird entsprechend der Perioden der Nahrungsaufnahme in mehrere Phasen von jeweils etwa 20 Minuten Dauer über den gesamten Tag verteilt (ZEITLER-FEICHT, 2001b). Das Ausruhverhalten ist unter anderem auch altersabhängig, so ruhen sich Fohlen fast ausschließlich im Liegen aus und dies meist in Seitenlage. Ältere Pferde

und hochtragende Stuten hingegen legen sich nur noch sehr selten hin (HASSENBERG, 1971; SCHÄFER, 1993; FLADE, 1999). Aber nicht nur Alter und Trächtigkeit beeinflussen das Ruheverhalten sondern auch weitere Faktoren wie beispielsweise die Temperatur, der Luftdruck und die Luftfeuchtigkeit (IHLE, 1984). IHLE stellte fest, dass die Dauer des Ruhens mit steigender Temperatur sinkt, wobei es allerdings ab einer Umgebungstemperatur von 23°C wieder zu längeren Ausruhperioden kommt. Bezüglich der Luftfeuchtigkeit konnte eine Verlängerung des Ausruhens ab 60% nachgewiesen werden und hinsichtlich des Luftdrucks war eine Abnahme der Tiefschlafdauer bei einem Druck über 740 bar zu verzeichnen. Auch SCHÄFER (1993) beobachtete, dass sich die Ruhezeiten der Pferde im Sommer verlängern, wenn die Pferde auf Grund der höheren Temperaturen vermehrt dösen.

Im Sommer ruhen die Pferde während der Zeit zwischen 9 und 14 Uhr meistens (TYLER, 1972). Generell findet die Hauptruhezeit morgens, mittags und nachts statt (IHLE, 1984). Allerdings zeigt jedes Pferd einen eigenen Wach-Schlafrhythmus, der geringere Variationen aufweist als die interindividuellen Unterschiede zu den Haltungsgefährten (DALLAIRE und RUCKEBUSCH, 1974b).

Neben den Klimabedingungen hat nach SCHÄFER (1993) eine starke Fliegenplage einen verlängernden Einfluss auf die mittägliche Ausruhezeit. Es wurde in einer Ponyherde als Reaktion auf eine Fliegenplage während des Ruhens auch eine Reduzierung des Abstandes zueinander beobachtet, wobei sich aber die Gruppengröße der Familienverbände nicht veränderte (RUTBERG, 1987).

Sowohl die Fütterungszeiten als auch der sonstige Umgang des Menschen mit dem Pferd legen häufig einen Tagesrhythmus fest, an den das Pferd seine Ausruhperioden anpasst. Besonders das Schlummern und der Tiefschlaf werden von der Haltungsform beeinflusst, das Dösen hingegen erfährt seine Beeinflussung mehr durch das Klima und die Größe der Fläche, die den Pferden zur Verfügung steht. Je größer diese ist, umso mehr dösen die Pferde (IHLE, 1984; BOYD, 1988).

Bei polnischen Primitivpferden wurden auch geschlechtsabhängige Unterschiede in den Liegezeiten festgestellt: die Stuten lagen 3,6% des Tages, Hengste dagegen nur 2,4% (KOWNACKI, 1978).

Wie lange und in welcher Lage ein Pferd ruht, wird auch durch die Zusammensetzung seiner Futterration beeinflusst. So konnten DALLAIRE und RUCKEBUSCH (1974a) beobachten, dass nach einer Futterration aus Heu die von ihnen untersuchten Ponys durchschnittlich 252 Minuten/Nacht ruhten. Die Ruhephase wurde dabei von den Tieren in sechs oder sieben einzelne Perioden unterteilt. Die Zeit, welche in Sternal- oder Seitenlage verbracht wurde, unterschied sich von Tier zu Tier. Etwa 20% der Gesamtruhezeit verbrachten die Ponys in Seitenlage, aufgeteilt in Perioden von ein bis zwölf Minuten. Wurde diesen Ponys anstatt Heu eine Getreideration gefüttert, so verlängerte sich die Ruhezeit um 20 %. Die Phasen des leichten Schlafes und des Tiefschlafes verlängerten sich dabei in gleicher Weise. Die verlängerte Ruhezeit wurde zum Großteil in Sternallage verbracht, während die Zeit in Seitenlage im Wesentlichen gleich blieb. Die Getreidefütterung führte zu einer Reduktion der Fresszeit von 740 Minuten auf 420,3 Minuten am Tag und von 400 Minuten auf 105,3 Minuten in der Nacht.

Bei Verhaltensbeobachtungen an Islandpferden wurde die Qualität des Weidewuchses als Einflussfaktor auf das Verhalten der Tiere untersucht (HECHLER, 1972): bei schlechtem Nahrungsangebot wurde die Zeit für die Regeneration fast vollständig reduziert.

Als Steppenbewohner wählen Pferde für lange Ruhephasen, welche die ganze Herde erfassen, einen übersichtlichen trockenen Ort aus (BOGNER und GRAUVOGL, 1984). Zum Schlafen bevorzugt werden offene, kurz abgefressene Weideflächen mit uneingeschränkter Sicht nach allen Seiten und guter Fluchtmöglichkeit (PIRKELMANN, 1991). SCHÄFER (1993) konnte bei Pferden in Freilandhaltung feststellen, dass immer dieselben Schlafplätze aufgesucht werden. Diese befanden sich unabhängig von der Jahreszeit an möglichst offenen und kurz abgefressenen Weidestellen mit einer guten Sicht und Witterungsmöglichkeit nach allen Seiten. ZEEB (1998) konnte dagegen bei Dülmener Pferden kein Aufsuchen eines bestimmten Schlafplatzes feststellen.

Das Schlafen als Gemeinschaftsaktion wird bei Pferden stark durch das ranghöchste Tier beeinflusst. Ranghohe Tiere beanspruchen in der Gruppe auf Grund ihrer Verantwortung für die Herde die besten Schlafplätze (HEINTZELMANN-GRÖNGRÖFT, 1984; KILEY-WORTHINGTON, 1990; SCHÄFER, 1991; ZEEB, 1998). Der Rang hat nach RUCKEBUSCH (1975) auch einen entscheidenden Einfluss auf den Zeitpunkt des Niederlegens: in seiner Untersuchung legte sich zunächst das Leittier, 62-72% der übrigen Ponies folgten nach 10-30 Minuten. Sowohl im Stall als auch auf der Weide wurde in 15% der Fälle das gleichzeitige Ablegen aller Tiere innerhalb von fünf Minuten beobachtet. Durch das Entfernen des ranghöchsten Tieres wurde eine solche Synchronisation im Wesentlichen aufgehoben.

Das Sicherheitsbedürfnis ruhender Pferde ist besonders groß: niemals befinden sich alle Tiere einer Gemeinschaft gleichzeitig im Tiefschlaf (PIRKELMANN, 1991) und normalerweise bleiben ein oder mehrere Tiere als Wachposten stehen (SCHÄFER, 1978; ZEEB und SCHNITZER, 1979). Auch bei Zebras ist zu beobachten, dass immer mindestens ein Herdenmitglied stehend Wache hält (KLINGEL, 1967). Für Stallpferde, die ohne Geruchs-, Hör- und Sichtkontakt zu anderen Pferden gehalten werden, ist es folglich nicht möglich, vollständig zu entspannen und zu regenerieren (SCHÄFER, 1991). Auch kann man beobachten, dass ein für das Pferd erschreckendes Erlebnis zu Beginn einer Tiefschlafphase zu einer Störung des Wach-Schlafrhythmus führt und das Tier den Rest der Nacht wach bleibt (RUCKEBUSCH, 1972a).

Pferde halten auch während des Ruhens eine Individualdistanz ein (ZEEB, 1981). Dementsprechend benötigen Pferde in Gruppenhaltung während des Ruhens eine Fläche von etwa 6 qm. Wird die Individualdistanz aus Platzgründen nicht eingehalten, kann es zu ständigen Auseinandersetzungen kommen (GRAUVOGL, 1996). Die heutzutage zunehmende Tendenz zur Gruppenauslaufhaltung ist bei falscher Gestaltung der Fläche oder bei zu großen Gruppen mit massiven Problemen vor allem für rangniedere Tiere verbunden (PIRKELMANN, 1991; ZEEB und POLLMANN, 1996). Eine Untersuchung von POLLMANN (1999) zeigt, dass eine Strukturierung des Liegebereiches durch Wände, die als Sichtschutz und Laufbarriere fungieren, durch längere Liegezeiten zu einer Verbesserung des Ruheverhaltens führt (POLLMANN, 1999). Die

bedarfsgerechte Gestaltung einer Gruppenhaltung ist besonders wichtig, da es sich bei unseren Stallpferden nicht wie bei Wildpferden um gewachsene Gemeinschaften handelt, sondern um inhomogene Gruppen, in denen leicht Rivalitäten entstehen können (PIRKELMANN, 2002). Die Integration neuer Gruppenmitglieder vereinfacht sich aber mit zunehmender Bestandsgröße, vorausgesetzt die räumlichen Bedingungen und tierhalterischen Fähigkeiten entsprechen den diesbezüglichen Anforderungen (KURTZ et al., 2000). Das Referat Tierschutz des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz berücksichtigt in seinen aktuellen Leitlinien verschiedene Formen der Gruppenhaltung, denen die Liegefläche angepasst werden muss (BMELV, 2009, Tabelle 5).

Tabelle 5: Mindest-Liegeflächen für Pferde bei Gruppenhaltung (BMELV, 2009)

| Form der Gruppenhaltung   | Platzbedarf   |
|---|---|
| Liegefläche im geschlossenen Laufstall (Einraum-Innenlaufstall, Mehrraum-Innenlaufstall, Einraum-Außenlaufstall oder Mehrraum-Außenlaufstall) | $\geq (2 \times \text{Widerristhöhe})^2/\text{Pferd}$<br>(Angabe ohne den Platz für den Fressbereich)   |
| Liegefläche im Offenlaufstall ohne Trennung von Liege- und Fressbereich (Einraum-Außenlaufstall mit Auslauf)                                  | $\geq (2 \times \text{Widerristhöhe})^2/\text{Pferd}$<br>(Angabe ohne den Platz für den Fressbereich)   |
| Liegefläche im Offenlaufstall mit Trennung von Liege- und Fressbereich (Mehrraum-Außenlaufstall mit Auslauf)                                  | $\geq 3 \times \text{Widerristhöhe}^2/\text{Pferd}$<br>(Angabe ohne den Platz für den Fressbereich)<br>Eine Reduzierung ist möglich bis $2,5 \times \text{Widerristhöhe}^2/\text{Pferd}$ , wenn günstige Voraussetzungen hinsichtlich Raumstruktur und Management vorhanden sind. |

Das gebräuchlichste Aufstallungssystem bei Pferden stellt allerdings immer noch die Einzelhaltung in Boxen dar. Hier sollte mindestens eine Fläche von  $(2 \times \text{Widerristhöhe})^2$  zur Verfügung stehen, um zu gewährleisten, dass das Tier sich ausstrecken kann (ZEEB, 1981; PIRKELMANN, 2002; BMELV, 2009). Wichtig hierbei ist, dass die schmale Seite nicht kürzer als  $1,75 \times$  Widerristhöhe sein darf (BMELV, 2009).

Nach FINK widerspricht jede Art von Stallhaltung dem artspezifischen Verhalten von Pferden, allerdings ist eine Aufstallung auf Grund äußerer Umstände oftmals unumgänglich (FINK, 2000). Die Aufstallungsart ist dabei gemäß den Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten (BMELV, 2009) so zu wählen, dass dem einzelnen Pferd die nach Umständen der Nutzung größtmögliche Entfaltung seines arttypischen Verhaltens ermöglicht wird. Es muss vor Schaden bewahrt werden und darf in seiner Entwicklung nicht behindert werden.

Equiden bevorzugen zum Liegen einen trockenen Untergrund. Wenn die Einstreu einen Feuchtigkeitsgehalt von 60% übersteigt, kommt es zu einer Verkürzung der Liegezeiten (ZEEB, 1994). In einer Untersuchung von PIRKELMANN wurden Pferde in einer Box, die nur mit Gummimatten ausgelegt war, aufgestellt. Das Ergebnis war eine um bis zu 70% kürzere Liegezeit im Vergleich zu Boxen mit einer Einstreu aus Stroh (PIRKELMANN et al., 1976).

#### 2.5.5.3 Dösen

Dösende Pferde sind an ihrer typischen Körperhaltung zu erkennen. Sie zeigen bei waagrecht getragem Kopf einen entspannten Gesichtsausdruck („Dösgesicht“), der sich in zur Seite fallenden Ohren, halb geschlossenen Augen und einer locker herab hängenden Unterlippe äußert (HASSENBERG, 1965). Durch die anatomische Anordnung von Sehnen und Knochen der Ellenbogen- und Kniegelenke („Spannsägenmechanismus“) kann das Pferd seine Muskulatur im Stehen weitgehend entspannen, ohne dass es niederstürzt (LEBELT, 1998). Als Ausruhverhalten überwiegt eine normale Belastung beider

Vorderbeine, während eine Hintergliedmaße geschildert wird (SCHÄFER, 1993).

Beim Stehen der Pferde kann man zwischen Stehen im wachen Zustand (pro 24 Stunden etwa 5-20%) und Stehen im dösenden Zustand (etwa 10-20%) unterscheiden (ZEITLER-FEICHT, 2001a).

Haben Pferde die Möglichkeit, so richten sie sich nicht nur bei ihren Ruhezeiten, sondern auch beim Aufsuchen bevorzugter Ruheplätze nach klimatischen Gegebenheiten. Durch das Aufsuchen erhöhter Plätze während der Mittagszeit nutzen die Pferde die Luftzirkulation an diesen Orten aus, um sich vor Hitze und Fliegen zu schützen (KING, 2002). Sie stehen bei feuchtkaltem, windigen Wetter mit der Kruppe zur Wetterseite gerichtet, wobei der Schweif als Wind- und Nässeschutz dient. Bei hohen Temperaturen bzw. starker Fliegenplage wird der Schweif zur Fliegenabwehr und zur Erhöhung der Luftzirkulation eingesetzt. Durch das Aufstellen in verkehrt paralleler Stellung während des Dösens wird dieser Effekt unterstützt (IHLE, 1984; SCHÄFER, 1993). Neben dem Schweifschlagen werden während des Dösens auch Hautzucken, Kopfschütteln und Aufstampfen der Hufe, um Insekten zu vertreiben, beobachtet (STEINHART, 1937; HASSENBERG, 1965 und 1971; ZEEB, 1998).

Nach RUCKEBUSCH (1972a) kann die Anzahl der Stunden, die ein Individuum dösend verbringt, gesteigert werden, indem das Tier in eine sichere Umgebung verbracht wird, in der ihm Futter zur freien Verfügung steht und keine Fressfeinde vorhanden sind.

#### 2.5.5.4 Schlummern

Beim Schlummern (auch: „leichter Schlaf in Kauerstellung“, slow wave sleep, HOUPPT, 1980) legen sich die Pferde hin. Dazu werden bei gesenktem Kopf zunächst alle vier Gliedmaßen unter dem Körper versammelt. Anschließend knicken alle Gliedmaßen fast gleichzeitig ein, wobei jedoch die vordere Hälfte des Körpers den Boden kurz vor der hinteren Hälfte erreicht (SAMBRAUS, 1991). Zum Aufstehen werden dann die Vorderextremitäten einzeln oder gleichzeitig nach vorne gestreckt. Durch ein kräftiges Abstoßen der Hinterhand

wird der Rumpf über die gestreckten Vorderbeine nach oben gestemmt. Die Gelenke der Vorderbeine werden dabei sehr stark belastet. Dies kann ältere oder kranke Pferde, denen ein schnelles Aufstehen nicht mehr möglich ist, dazu veranlassen, sich nicht mehr hinzulegen (SCHÄFER, 1978).

Beim Schlummern liegen die Pferde in Brustlage mit angewinkelten Beinen und getragenen oder aufgestütztem Kopf. Obgleich das Schlummern eine tiefere Form des Ruhens als das Dösen darstellt, erwachen die Pferde relativ leicht und können sich wegen der unter dem Körper versammelten Gliedmaßen relativ schnell erheben (SCHÄFER, 1978). In der Bauchlage ist nach DALLAIRE und RUCKEBUSCH (1974a) kein Tiefschlaf möglich. Das fehlende Ohrenspiel im Schlummern weist darauf hin, dass die Pferde nur noch ein geringes Umweltinteresse haben (IHLE, 1984).

Nach VON BUTLER-WEMKEN (2003) ist der SWS-Schlaf als der eigentliche Schlaf anzusehen. Es besteht noch eine leichte Weckbarkeit, was zeigt, dass das Tier im Schlummern - im Gegensatz zur REM-Phase – nicht vollständig von der Umwelt abgeschnitten ist: das Gehirn ist inaktiv, die Muskeln aber noch aktiv.

Pferde legen sich nur unter bestimmten Voraussetzungen hin, das heißt, sie brauchen ein absolutes Gefühl der Sicherheit. Außerdem spielen die Untergrund- und Umgebungsbedingungen eine große Rolle. Zum Hinlegen suchen Pferde flache, zugfreie Plätze auf (ZEEB, 1981). JEZIERSKI (1979) beobachtet bei Pferden, dass sie sich oft in das nach dem Fressen übrig gebliebene Heu legten – ein Verhalten, welches Fohlen erst nach ein paar Lebenswochen erlernten (JEZIERSKI, 1979). Das Schlummern ist den Beobachtungen von SCHÄFER (1978) zufolge die häufigste Form des Ausruhens junger Pferde.

Liegedauer und Liegehäufigkeit werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst. So hängt die Liegehäufigkeit von Stallgröße und Alter ab, die Liegedauer aber vor allem von der Rangordnung (ZEITLER-FEICHT, 2001b). Des Weiteren spielt das Gewicht für die Liegedauer eine wichtige Rolle, da auf Grund der Schwerkraft im Liegen die Zirkulation des Blutes wie auch die Atmung beeinträchtigt werden können (VON BUTLER-WEMKEN, 2003).

HOUPT et al. (2001) beobachteten über einen Zeitraum von 6 Monaten eine Herde von 16 Stuten. In dieser Herde fanden sie 9 Stuten, die sich während der gesamten Studiendauer nicht hinlegten. Nach Meinung der Autoren lag die Ursache hierfür in der geringen Stallgröße. Pferde ruhen sich etwa zwei Stunden am Tag im Liegen aus (LITTLEJOHN und MUNRO, 1972). Unterschiede bestehen in Abhängigkeit vom Alter der Pferde und den Haltungsbedingungen.

#### 2.5.5.5 Tiefschlaf

Pferde können den Hauptanteil ihres Halbschlafes im Stehen verbringen, aber zu wirklichem Tiefschlaf müssen sie sich hinlegen (CARSON und WOODGUSH, 1983).

Tiefschlaf stellt sich nur bei Pferden ein, welche sich in gewohnter Umgebung befinden, und auch dann nur in ruhigen Tageszeiten und in der Nachtphase (IHLE, 1984).

Adulte Pferde legen sich zum Tiefschlaf flach auf die Seite. Sie nehmen in diesem Stadium keine Sinneseindrücke mehr wahr und zeigen diese Ausruhlage auch nur bei absoluter Sicherheit. Fohlen liegen sehr viel mehr auf der Seite. Sie liegen in der ersten Zeit nach der Geburt die Hälfte des gesamten Tages und reduzieren dieses Schlafverhalten allmählich, bis etwa im 7. Lebensmonat das Niveau der adulten Pferde erreicht ist (HOUPT, 1980).

Pferde legen sich nicht aus dem Stand auf die Seite, sondern liegen zunächst eine gewisse Zeit in Brustlage (SCHÄFER, 1978). Im Tiefschlaf wird die Atmung der Pferde tief und hörbar, es können während des REM-Schlafs auch Lautäußerungen zu hören sein und Laufbewegungen sowie schnelle, ruckartige Bewegungen unterhalb des Lides (SCHÄFER, 1978; FRASER, 1979) und Ohrbewegungen auftreten (JAWOROWSKA, 1976).

Im Tiefschlaf werden keine Sinneseindrücke mehr wahrgenommen, und ein Erwachen erfolgt nur langsam und stufenweise (DALLAIRE und RUCKEBUSCH, 1974a). Die Pferde verbringen aber selten mehr als 30 Minuten in Seitenlage. Diese Zeitspanne wird von IHLE (1984) bestätigt. Sie ver-

weist allerdings darauf, dass Pferde, welche aus einer Anbindehaltung in eine Einzelboxenaufstallung gebracht werden, zunächst eine längere Liegedauer zeigen. Untersuchungen zum Schlafverhalten von fünf unter natürlichen Bedingungen gehaltenen Ponys ergaben eine Gesamtschlafzeit von  $178,5 \pm 11,4$  bis  $237,0 \pm 2,6$  Minuten. Auf den Tiefschlaf fielen im Durchschnitt 25 % der Gesamtschlafzeit, wobei der Tiefschlaf in den frühen Nachtstunden von 20.00 bis 24.00 Uhr in der Sternallage stattfand, in der Zeit von 24.00 bis 4.00 Uhr und von 4.00 bis 8.00 Uhr vor allem in der Seitenlage (DALLAIRE und RUCKEBUSCH, 1974b).

SCHÄFER (1993) gibt für den Tiefschlaf eine tägliche maximale Zeitspanne von einer Stunde an, welche bei erwachsenen Pferden vor allem zwischen Mitternacht und Sonnenaufgang liegt. Diese Zeitspanne wird von BOYD (1988) noch enger gefasst. Er beobachtete das Ausruhen im Liegen häufig in der Zeit zwischen Mitternacht und 4 Uhr. Beim Vergleich von Rindern, Schafen und Pferden verbrachten Pferde die wenigste Zeit – nämlich 1,1 Stunden pro Tag - im Liegen (BOYD, 1988).

Die Dauer eines Schlafzyklus, d.h. die Zeit zwischen zwei REM-Perioden. wird von DALLAIRE und RUCKEBUSCH (1974b) mit durchschnittlich 13,5 Minuten angegeben.

### 3 Tiere, Material und Methodik

#### 3.1 Untersuchte Pferde

Für die Versuche zur Ableitung polysomnographischer Daten standen 7 Pferde zur Verfügung (Tabelle 1). Dabei handelte es sich um Warmblutstuten und -wallache im Alter von 6 - 20 Jahren, welche in unterschiedlichen Sparten des Reitsports genutzt werden. Die Pferde standen in zwei Stallungen, welche etwa 0,6 km voneinander entfernt waren.

Tabelle 6: Übersicht über die untersuchten Pferde

| Pferd Nr. | Geschlecht | Alter    | Widerrist-<br>höhe | Gewicht | Anzahl der<br>Nächte |
|-----------|------------|----------|--------------------|---------|----------------------|
| 1         | Männlich   | 18 Jahre | 167 cm             | 565 kg  | 2                    |
| 2         | Männlich   | 7 Jahre  | 167 cm             | 650 kg  | 2                    |
| 3         | Weiblich   | 5 Jahre  | 174 cm             | 650 kg  | 2                    |
| 4         | Weiblich   | 6 Jahre  | 165 cm             | 670 kg  | 2                    |
| 5         | Weiblich   | 15 Jahre | 164 cm             | 600 kg  | 2                    |
| 6         | Männlich   | 13 Jahre | 164 cm             | 550 kg  | 4                    |
| 7         | Männlich   | 20 Jahre | 168 cm             | 560 kg  | 2                    |

Die Pferde wurden in Einzelboxen (3,5 m x 3,9 m) gehalten, die Sicht- und Hörkontakt zu ihren Artgenossen erlaubten.

Morgens wurden alle Pferde um ca. 8.00 Uhr auf die Weide gebracht und verblieben dort, außer um geritten zu werden, bis zum Einsetzen der Dämmerung. Anschließend wurden die Tiere in ihre jeweilige Einzelbox verbracht, wo sie ihre Abendration Heu und Krafffutter bekamen. Ab 22.30 Uhr herrschte Nachtruhe.

Alle Pferde wurden vor dem Beginn der Messungen klinisch untersucht und zeigten keinerlei neurologische Auffälligkeiten oder Verhaltensstörungen.

## 3.2 Polysomnographie

### 3.2.1 Gerätetechnische Ausrüstung

Für die Durchführung der Messungen wurde das Gerät „Somnoscreen EEG 10-20“ der Firma Somnomedics verwendet, ein komplett tragbarer Polysomnograph (Abbildung 5).



Abbildung 5: Somnoscreen EEG 10-20, Fa. Somnomedics

Beim Somnoscreen stehen bis zu 28 Kanäle mit der Möglichkeit zur kabellosen Datenübertragung auf einen PC zur Verfügung. Bei den 28 Kanälen handelt es sich um 10 AC-Kanäle (Referential und 2 Differential) sowie 11 respiratorische und AUX-Kanäle sowie 7 integrierte Kanäle (SPO2, Puls Rate, Plethysmogramm, Körperlage, Umgebungslicht, Patienten-Marker, Thorax Atembewegung). Diese Daten werden synchron mit dem Bild einer Videokamera auf dem Bildschirm des Computers angezeigt. Als Kamera stand eine kompakte Infrarot-Videokamera mit integriertem Leuchtfeld und integriertem Funk-

modul zur Verfügung. Sowohl Audio- als auch Videodaten konnten aus bis zu 100 Metern Entfernung übertragen werden. Das Somnoscreen kann durch seine geringe Größe (140 x 70 x 28 mm) und sein geringes Gewicht von nur 220 g (inkl. Batterie) mit Hilfe eines Gurtes im kranialen Halsbereich fixiert werden.

Für die Versuche werden 12 Ableitungen benötigt um das EEG, EOG re. und li., EMG und EKG abzuleiten. Die Datenaufzeichnung erfolgt mit einer Auflösung von 16 Bit. Ein generelles 4-fach Oversampling zur Rauschreduzierung sorgt für ein besonders klares Signal. Die anfallenden Daten werden entweder auf einer High Speed Kompakt-Flashkarte mit 512 MB und einer Aufzeichnungskapazität von 50 Stunden oder auf der Festplatte des Computers gespeichert. Von dort können die Daten dann problemlos auf DVD gespeichert werden.

### 3.2.2 Elektroden und Elektrodenkabel

Zur Ableitung der Daten werden goldbeschichtete Napfelektroden mit langen flexiblen Kabeln verwendet. Diese werden, nachdem die Haut rasiert und mit Hilfe von Alkohol entfettet wurde, mit Kollodium auf die Haut geklebt. Der Kopf der Elektrode besitzt einen Durchmesser von 1 cm mit einer zentralen Öffnung. Mit Hilfe der Öffnung kann der Hohlraum unter der Elektrode mit einer Paste ausgefüllt werden, um so die elektrische Ableitung zu verbessern.

### 3.2.3 Vorbereitung der Messungen

Die Bereiche, auf die die Elektroden aufgeklebt werden sollen, müssen rasiert sein. Da es beim Entfernen der Haare zu Hautirritationen kommen kann, wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung die Rasur zwei Tage vor der ersten Messung durchgeführt und die Haut anschließend einer jodhaltigen Salbe abgedeckt.

Auch wurden die Pferde bereits zwei Tage vor der ersten Messung an den umhängenden Somnographen und an eine im Stall angebrachte 7-Watt-Lampe

gewöhnt. Auch wurden bei diesem Termin die Tiere eingehend klinisch untersucht.

Mit Ausnahme des Pferdes Nr. 6 (vier Nächte) wurden die Versuche an jeweils zwei Nächten pro Pferd durchgeführt (vgl. Tabelle 6, S. 47).

#### 3.2.4 Durchführung der Ableitung

Alle Ableitungen wurden in der für die Pferde gewohnten Umgebung des heimischen Stalles gemacht, und es wurde darauf geachtet, dass so wenig wie möglich in den normalen Tagesablauf der Tiere eingegriffen wurde.

Nach der Abendfütterung wurden die Pferde in ihren eigenen Boxen an den Polysomnographen angeschlossen. Dazu wurden die zwei Tage zuvor rasierten Stellen erst mit Alkohol gereinigt und entfettet. Anschließend wurden die Elektroden mit Kollodium aufgeklebt. Um das Ankleben zu erleichtern, wurde ein Tropfen Sekundenkleber an einer Stelle des Elektrodenrandes aufgebracht. Auf diese Weise konnte das Kollodium aushärten, ohne dass man die Elektrode über längere Zeit an den Pferdekopf pressen musste. Für die am Tier durchzuführenden Manipulationen stand immer die gleiche, den Pferden vertraute Person als Hilfe zur Verfügung. Das „Somnoscreen“ selbst wurde mit Hilfe eines Riemens im kranialen Halsbereich befestigt.

Abschließend wurde die Signalübertragung noch einmal geprüft und in Fällen hoher Impedanz zur Verbesserung der Ableitung eine Elektrodenpaste aufgebracht.

Nach dem Eindecken mit einer „Winter-Sleezy-Decke“, Fa. Nice-horse-tec, wurden die Pferde dann alleingelassen, und sie konnten sich ohne Einschränkung in ihrer Box bewegen.

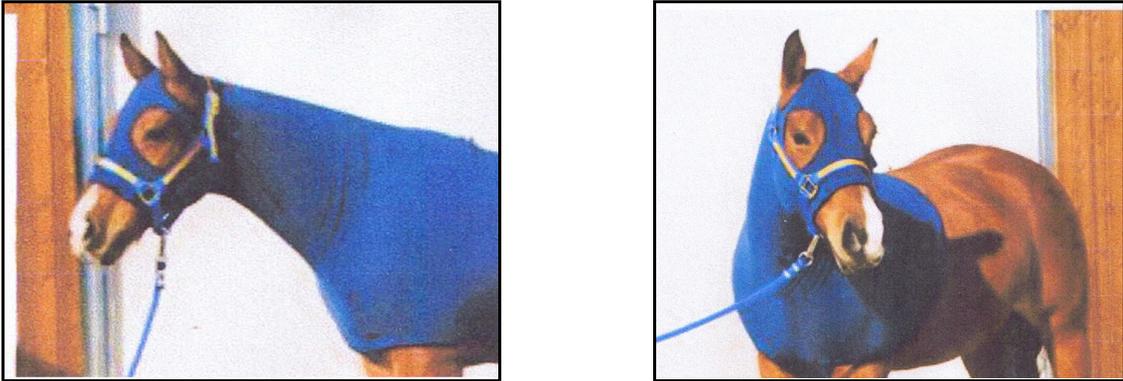


Abbildung 6: Winterdecke „Sleezy“, Fa. Nice-horse-tec

Um eine bessere Sicht zu erhalten, wurde im Stall eine 7-Watt-Birne angebracht. Hierdurch war es möglich, selbst bei Pferden in Seitenlage noch kleinste Ohrenbewegungen zu erkennen.

Nach einer abschließenden Kontrolle des Computermonitors wurde der Stall verlassen. Am nächsten Morgen wurden die Pferde während der Morgenfütterung abgekabelt, von Klebresten befreit und die rasierten Stellen wieder mit einer pflegenden Zinksalbe abgedeckt.

### 3.2.5 Lokalisation der Ableitungsstellen

Die Lokalisationen der Ableitungsstellen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst (Tabelle 7). Die anschließenden Abbildungen verdeutlichen den korrekten Sitz der Elektroden in situ.

Tabelle 7: Lokalisation der Ableitungsstellen

| Ableitung | Kabel-<br>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.<br>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  |
| EKG       | grün               | auf dem rechten M. pectoralis descendens   |
| EKG       | gelb               | eine Handbreit links der ventralen Mittellinie und eine Handbreit caudal des Ellenbogenhöckers bei senkrecht gestellter Gliedmaße. |

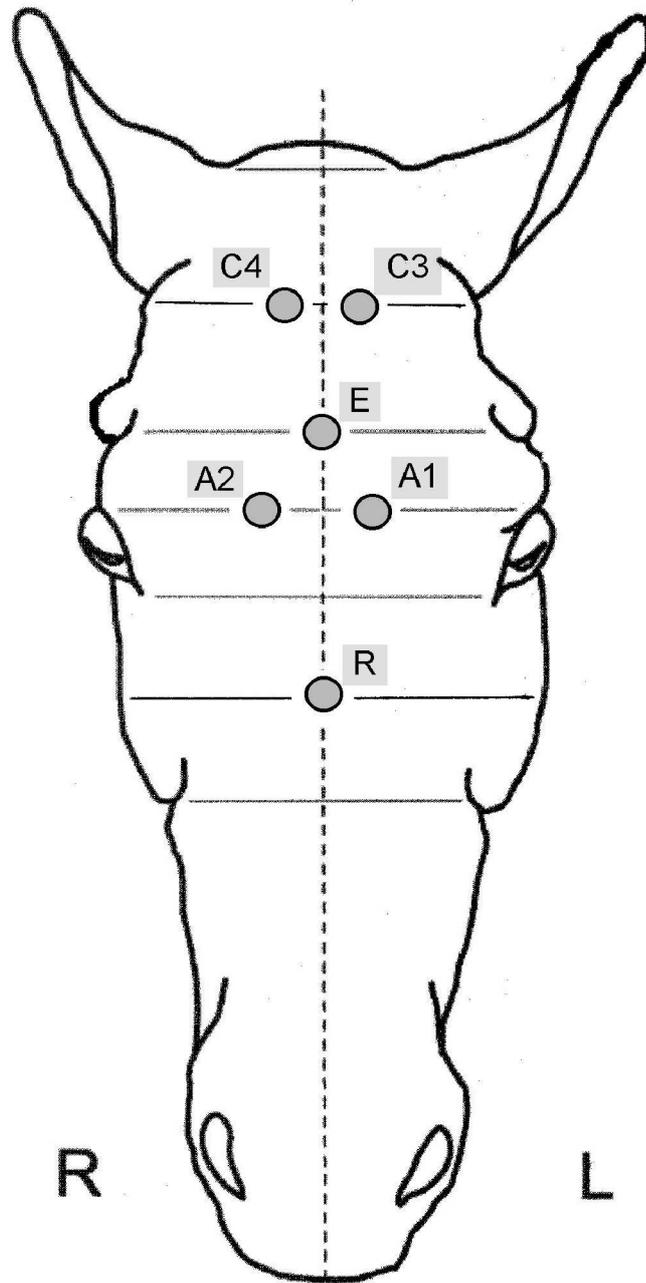


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Lokalisationen für die EEG-Ableitung

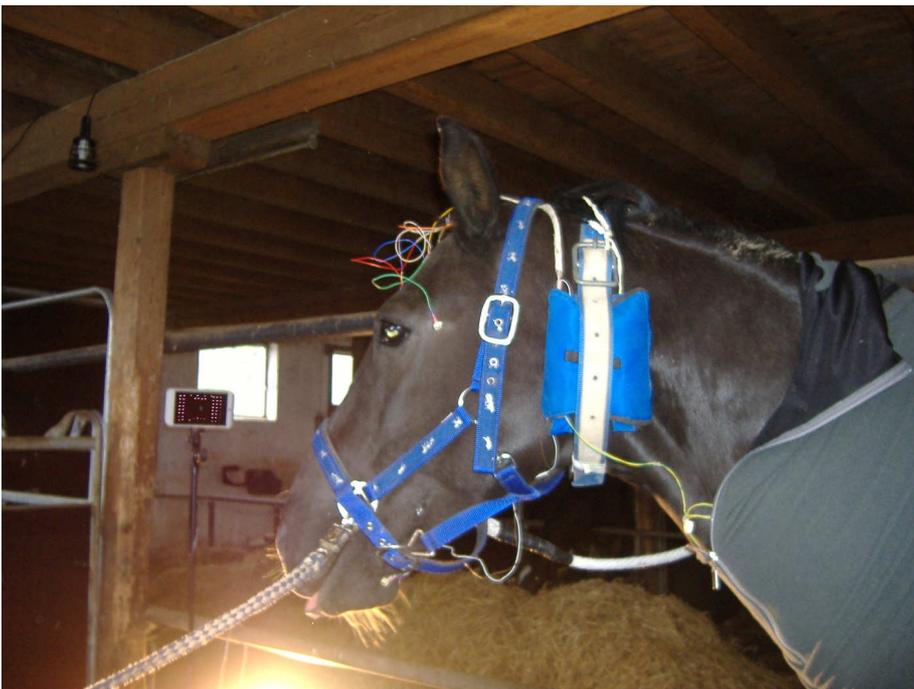
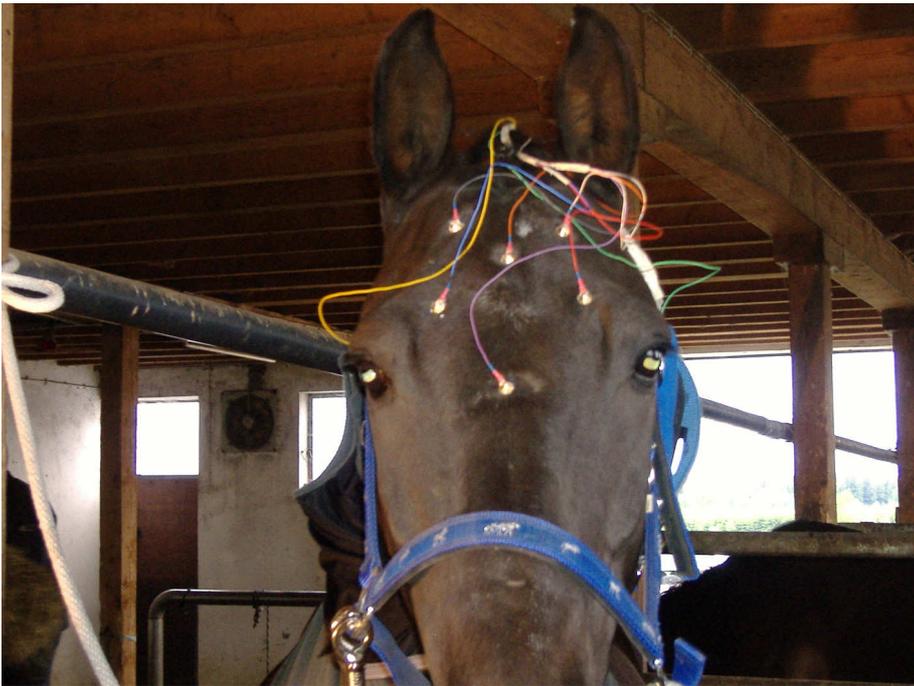


Abbildung 8: Korrekter Sitz der Elektroden am Kopf

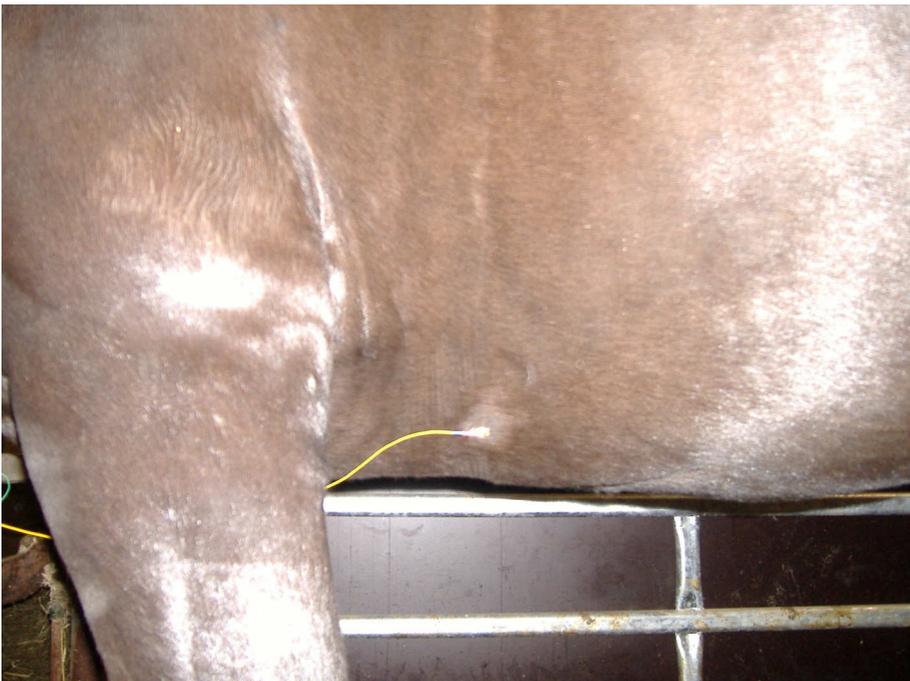
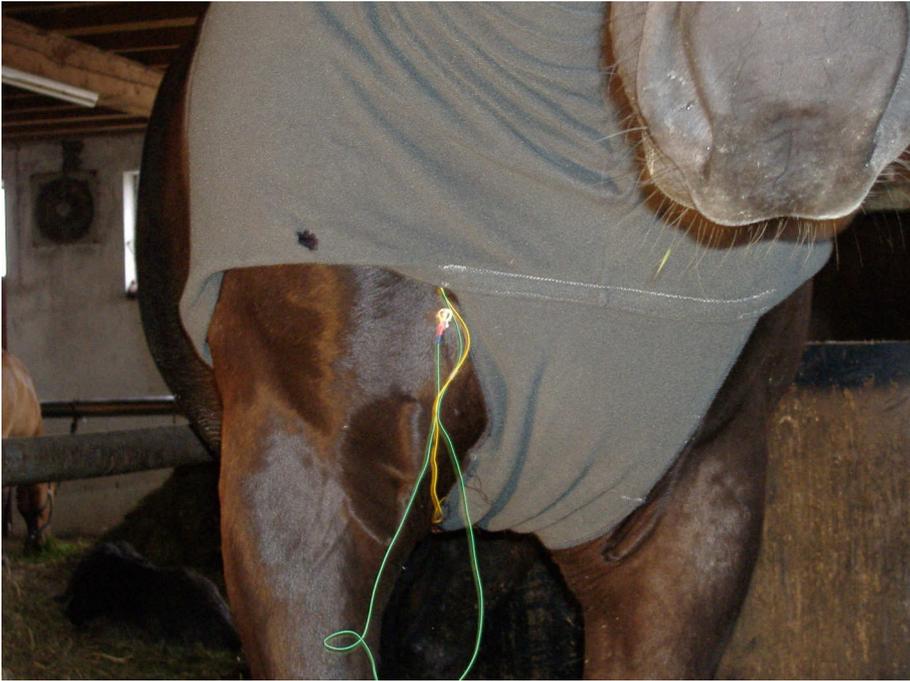


Abbildung 9: Korrekter Sitz der Elektroden an der Brust

### **3.3 Auswertung**

Da die vorliegende Studie explorativen Charakter hat, wurde nur eine kleine Anzahl an Pferden in die Untersuchungen einbezogen. Daher wurden die Daten mittels Methoden der deskriptiven Statistik ausgewertet. D.h. die Daten wurden parameterabhängig gruppiert und für die Gesamtgruppe als statistische Größen Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima und Maxima ermittelt.

Weil für Pferd 6 insgesamt vier Nächte polysomnographisch erfasst werden konnten, wurden die Daten dieses Pferdes teilweise zusätzlich zur Auswertung der Gesamtgruppe separat analysiert.

Um einen Einfluss des Lebensalters der Pferde auf die Schlafdauer und -fragmentierung zu untersuchen, wurden die Mittelwerte der entsprechenden Daten gegen die Altersangaben aufgetragen, die Ausgleichsgerade eingezeichnet sowie der Regressionskoeffizient  $R$  bestimmt.

Alle Ergebnisse wurden in tabellarischer und graphischer Form dargestellt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Besonderheiten der polysomnographischen Aufzeichnungen bei Pferden

Das Gerät Somnoscreen® wurde für die Anwendung am Menschen konzipiert und berechnet auf Grund einer Fülle von Rohdaten des EEG, EOG, EMG und EKG (beispielsweise Häufigkeit und Amplitude von Alpha-, Beta- und Delta-Wellen, Rapid Eye Movements, EMG- und EKG-Signale) alle 250 ms die Zugehörigkeit dieses kleinen Zeitabschnitts zu verschiedenen Zuständen oder Schlafstadien des Menschen: Wach (W), Bewegung (Movement), REM oder Schlafstadium 1-4. Da naturgemäß nicht immer alle gleichzeitig erhobenen Parameter mit den vordefinierten Spannweiten der Werte dieser Stadien übereinstimmen, wird darüber hinaus jeweils eine Treffsicherheit in drei Kategorien angegeben: 70-100%, 40-70% und <40%.

Für alle Schlafprofile, die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung gewonnen wurden, gelten folgende regelhaft auftretenden Befunde:

- Für die Kriterien „Wachzustand“ und „Movement“ wurde in der überwiegenden Anzahl der Aufzeichnungen eine 70-100%ige Sicherheit angegeben. Nur in wenigen Einzelfällen betrug die Sicherheit 40-70%. Daher konnten alle als „W“ oder „M“ bezeichneten Teilabschnitte ausgewertet werden.
- Für den REM-Schlaf wurden alle drei Sicherheitskategorien etwa gleich häufig vergeben. In die Auswertung gelangten nur diejenigen Aufzeichnungsteilabschnitte, die eine mindestens 40-70%ige Sicherheit aufwiesen.
- Für die vier Non-REM-Stadien betrug die Sicherheit in keinem Aufzeichnungsteilabschnitt 70-100%. In die Auswertung gelangten nur diejenigen Aufzeichnungsteilabschnitte, die eine 40-70%ige Sicherheit aufwiesen.
- Artefakte wurden in den Aufzeichnungen nicht berücksichtigt.

In den folgenden Auswertungen ist daher immer daran zu denken, dass die Einteilung in Schlafstadien am menschlichen Schlaf orientiert ist und eine Übereinstimmung mit etwa beim Pferd vorkommenden Schlafstadien dadurch nicht a priori als bestätigt gelten kann.

Der Somnoscreen wertet neben weiteren Kriterien, die in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt wurden, wie beispielsweise Schnarchen, Apnoe usw., auch die Körperlage des Probanden aus. Da auf Grund der fehlenden anatomischen Übereinstimmung zwischen Mensch und Pferd diese Angaben nicht übernommen werden konnten, wurden Körperhaltung und Verhalten anhand der synchronen Videoaufzeichnungen erfasst und manuell dokumentiert.

#### **4.2 Gesamtschlafzeit**

Die nächtliche Beobachtungsdauer reichte von 6 und 10 Stunden bei einem Mittelwert von  $8:13 \pm 1:02$  Stunden pro Pferd bzw. Nacht.

Die Gesamtschlafzeit der Pferde unterlag einer großen Variationsbreite (Abbildung 10). Die Schlafdauern reichten von 47,0 min bis 249 min bei einer mittleren nächtlichen Gesamtschlafzeit von  $130,2 \pm 53,6$  min. Die Minimal- und Maximalwerte traten beide bei Pferd 6 auf, für das insgesamt vier Nächte dokumentiert sind.

Bezogen auf die nächtliche Beobachtungsdauer nahm die Schlafzeit zwischen 9,8% und 49,0% ein – diese beide Extremwerte stammen wiederum von Pferd 6 (Abbildung 11). Im Durchschnitt betrug der prozentuale Anteil der Schlafzeit  $26,1 \pm 9,9\%$ .

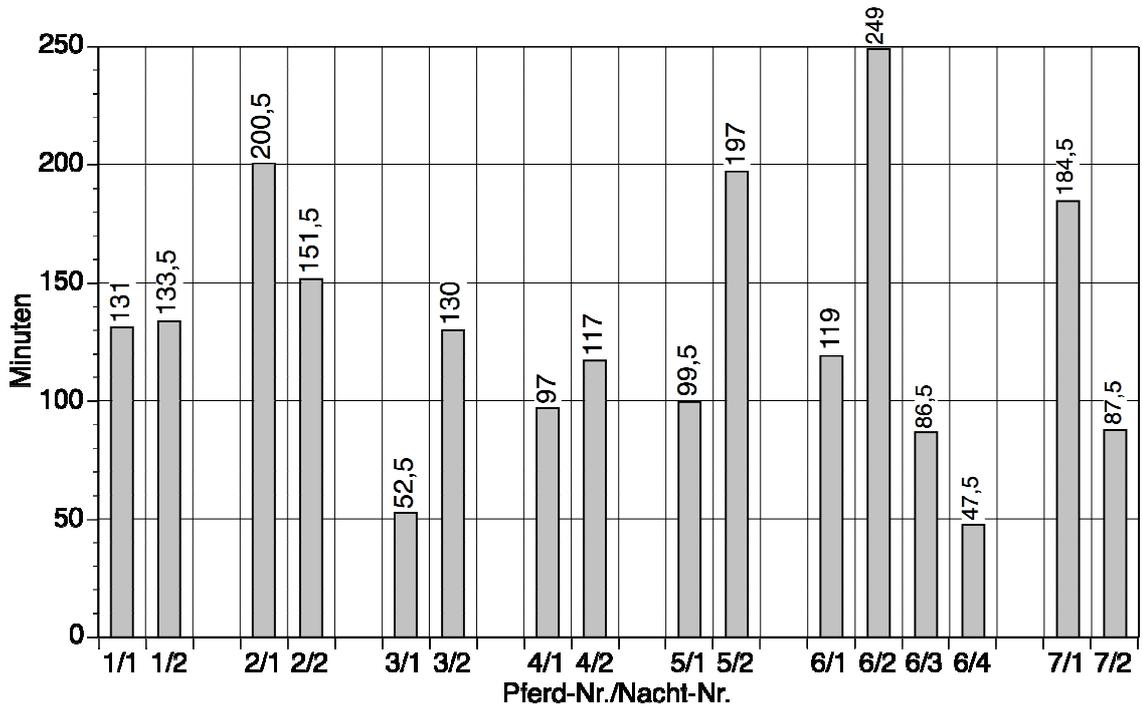


Abbildung 10: Gesamtschlafzeit aller Pferde (in Minuten/Nachtphase [6 – 10 h])

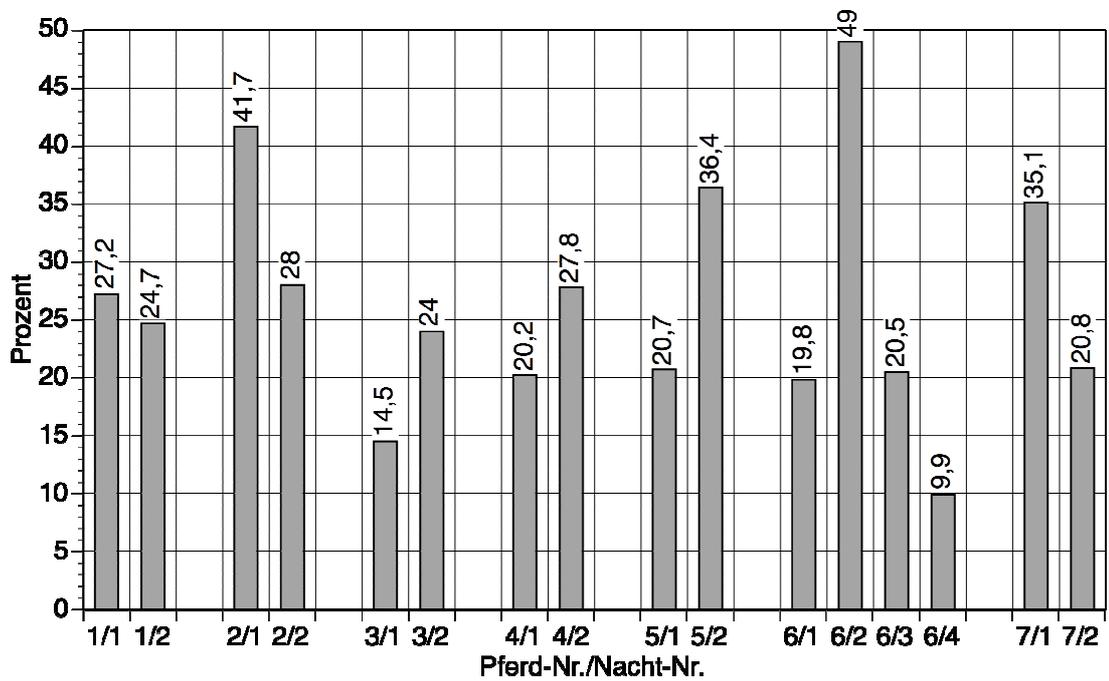


Abbildung 11: Anteil der Schlafzeit/Nacht (in Prozent) an der gesamten Beobachtungsdauer pro Nacht [6 – 10 h]

## **4.3 Schlafstadien**

### **4.3.1 Übersicht**

Auf den folgenden Abbildungen werden exemplarisch Beispiele für die vom Somnoscreen® erfassten Schlafstadien, einschließlich der Befunde im Wachzustand und bei Bewegungen, dokumentiert.

Eine sichere Erfassung des Wachzustandes und der Bewegungen mittels des Somnoscreen® kann vorausgesetzt werden. Dies gilt auch für den REM-Schlaf: es sind jeweils schnelle konjugierte Augenbewegungen mit sehr geringen EMG-Amplituden erkennbar.

Die dem Stadium 1 beim Menschen entsprechenden Aufzeichnungen beim Pferd weisen kleine, regelmäßige Augenbewegungen auf. Das EMG zeigte einen wechselnden Tonus bei einer hohen Amplitude. Auch beim Pferd besteht im EEG eine unregelmäßige Aktivität mit Mischfrequenzen. Allerdings treten in unregelmäßigen Abständen einige Wellen über 75  $\mu$ V auf: da diese sich innerhalb eines Zeitraums von 3 Minuten wiederholen, entsprechen sie dem Kriterium von K-Komplexen, so dass eine Abgrenzung zum Stadium 2 des Menschen schwierig ist. Dagegen treten in den Teilabschnitten des Polysomnogramms, die dem humanen Stadium 2 zugeordnet werden, immer noch kleine regelmäßige Augenbewegungen auf, und es ist zusätzlich keine Absenkung des Muskeltonus erkennbar.

Die Zeitabschnitte, die den Stadien 3 und 4 zugeordnet werden, sind bei Mensch und Pferd im EEG durch einen hohen Anteil an Delta-Wellen mit einer Frequenz über 75 $\mu$ V gekennzeichnet. Eine Unterscheidung zweier unterschiedlicher Stadien ist mit Hilfe des EMG's möglich, das in Stadium 4 bei beiden Spezies mit einer sehr geringen Amplitude verläuft und eine Tiefschlafphase kennzeichnet. Abweichend vom Menschen weist das EOG beim Pferd allerdings auch in den als Stadium 3 und 4 kategorisierten Zeitabschnitten regelmäßige Augenbewegungen auf, die im Stadium 4 sogar heftiger verlaufen als im Stadium 3. Bezüglich des parallel zu den polysomnographischen Aufzeichnungen beobachteten Verhaltens fällt auf, dass vor allem das als Tiefschlaf bezeichnete Stadium 4 nicht mit einem Liegen des Tieres verbunden ist, sondern

zumeist im Stehen stattfindet. Die Beziehungen zwischen den Schlafstadien und der Körperposition werden in den folgenden Kapiteln noch näher analysiert. Auch in den Stadien 3 und 4 herrscht nicht zwingend eine völlige Bewegungslosigkeit der Pferde vor: neben den auch beim Menschen gelegentlich auftretenden kurzen Muskelzuckungen kommt auch hier gelegentlich ein Ohrenspiel vor.

Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft polysomnographische Ableitungen (Abbildung 14 ff), die für die verschiedenen Schlafstadien typisch sind. Der Vollständigkeit halber sind auch Ableitungen während der Bewegung (Abbildung 12) beziehungsweise während des Wachzustandes (Abbildung 13) dargestellt.

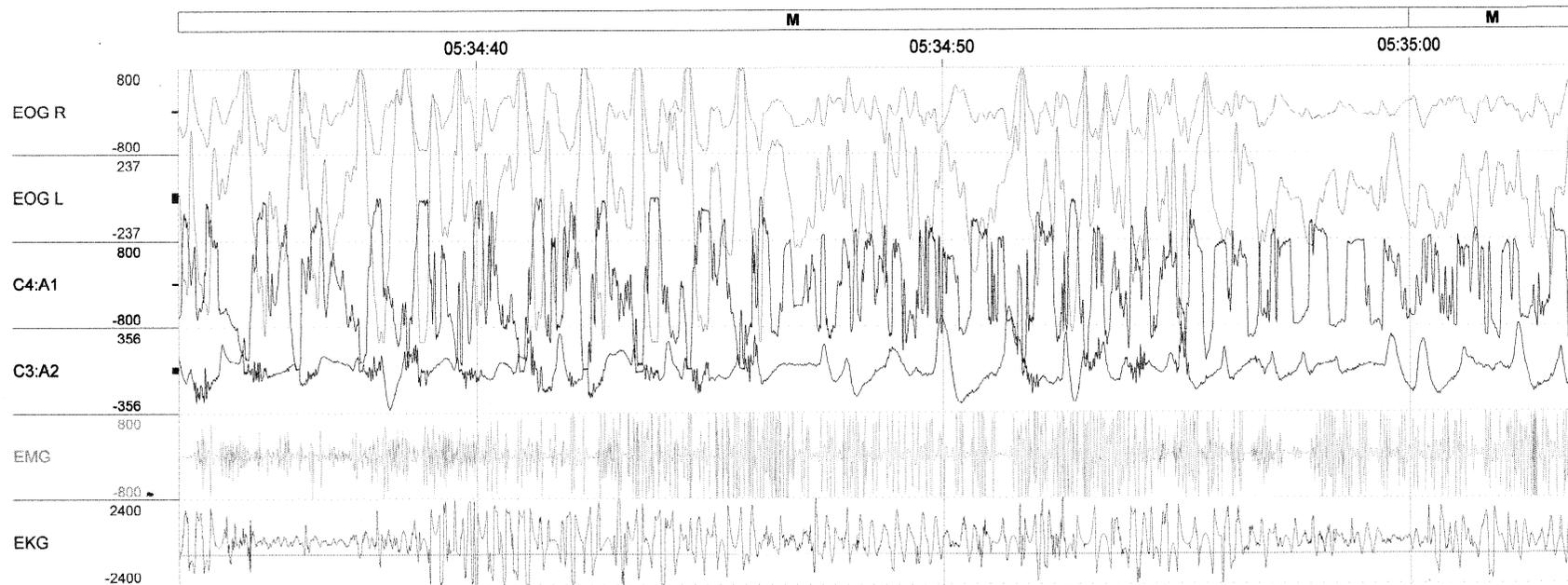


Abbildung 12: Ableitungen bei Bewegung (Pferd 3/Nacht 2)

Die Aufzeichnungen von EOG, EEG, EMG und EKG verlaufen unregelmäßig, hochfrequent und weisen hohe Amplituden auf.

M = Movement; EOG R/L = Elektrokulogramm rechts/links; C4:A1 = EEG-Ableitung Elektroden C4:A1;

C3:A2: = EEG-Ableitung Elektroden C3:A2; EMG = Elektromyogramm; EKG = Elektrokardiogramm

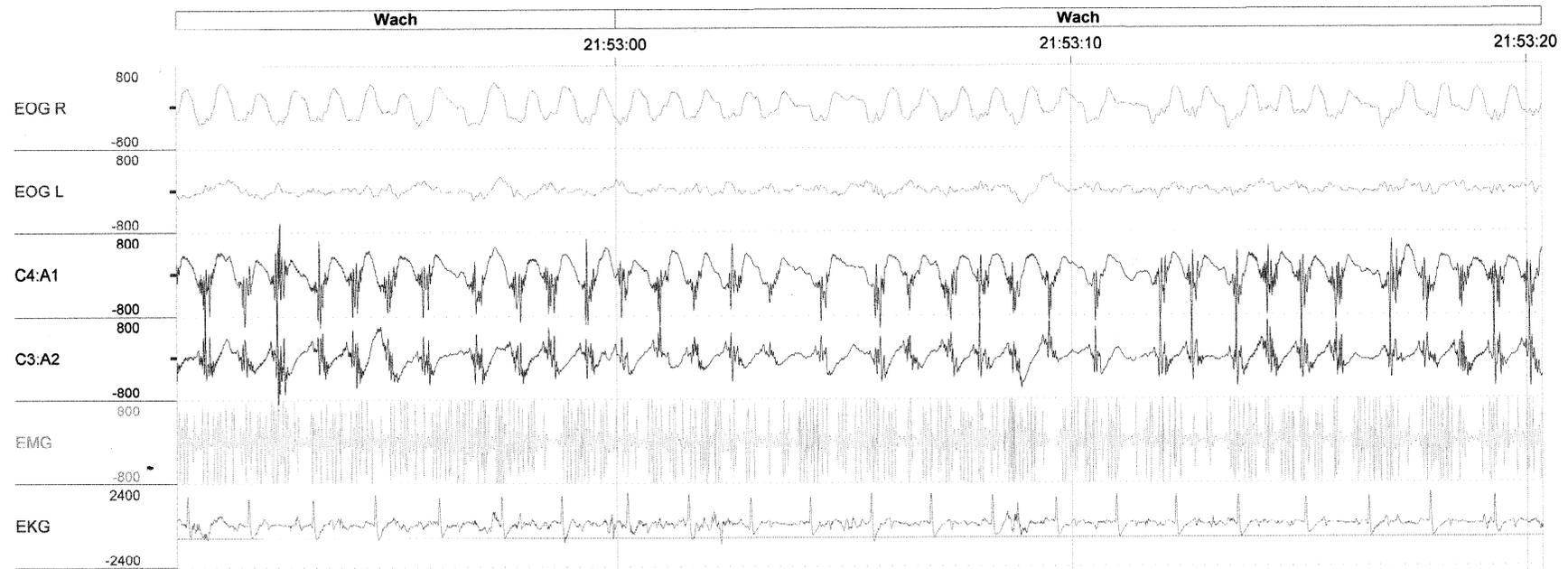


Abbildung 13: Ableitungen im Wachzustand (Pferd 3/Nacht 2)

Man erkennt man im EOG regelmäßige, schnelle Augenbewegungen. Das EEG zeigt eine unregelmäßige Aktivität bei hohen Amplituden, das EMG eine hochgespannte Aktivität bei 800  $\mu$ V.

EOG R/L = Elektrookulogramm rechts/links; C4:A1 = EEG-Ableitung Elektroden C4:A1; C3:A2: = EEG-Ableitung Elektroden C3:A2; EMG = Elektromyogramm; EKG = Elektrokardiogramm

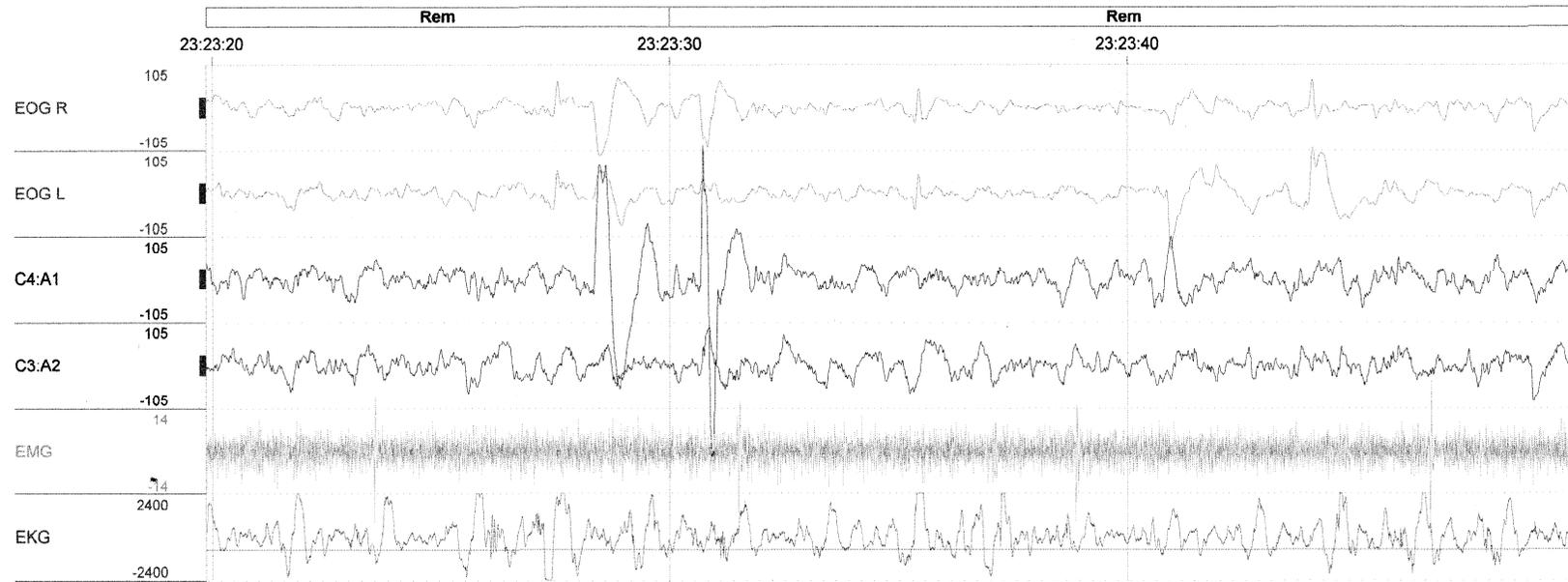


Abbildung 14: Ableitungen im REM-Schlaf (Pferd 6/Nacht 3)

Etwa um 23:23:30 Uhr sind Rapid eye movements zu sehen, die mit starken Amplituden im EEG korrelieren. In der gesamten Aufzeichnungsphase verläuft das EMG sehr niederamplitudig bei einem Maximum von 14 µV.

Rem = Rapid eye movements; EOG R/L = Elektrookulogramm rechts/links; C4:A1 = EEG-Ableitung Elektroden C4:A1; C3:A2 = EEG-Ableitung Elektroden C3:A2; EMG = Elektromyogramm; EKG = Elektrokardiogramm

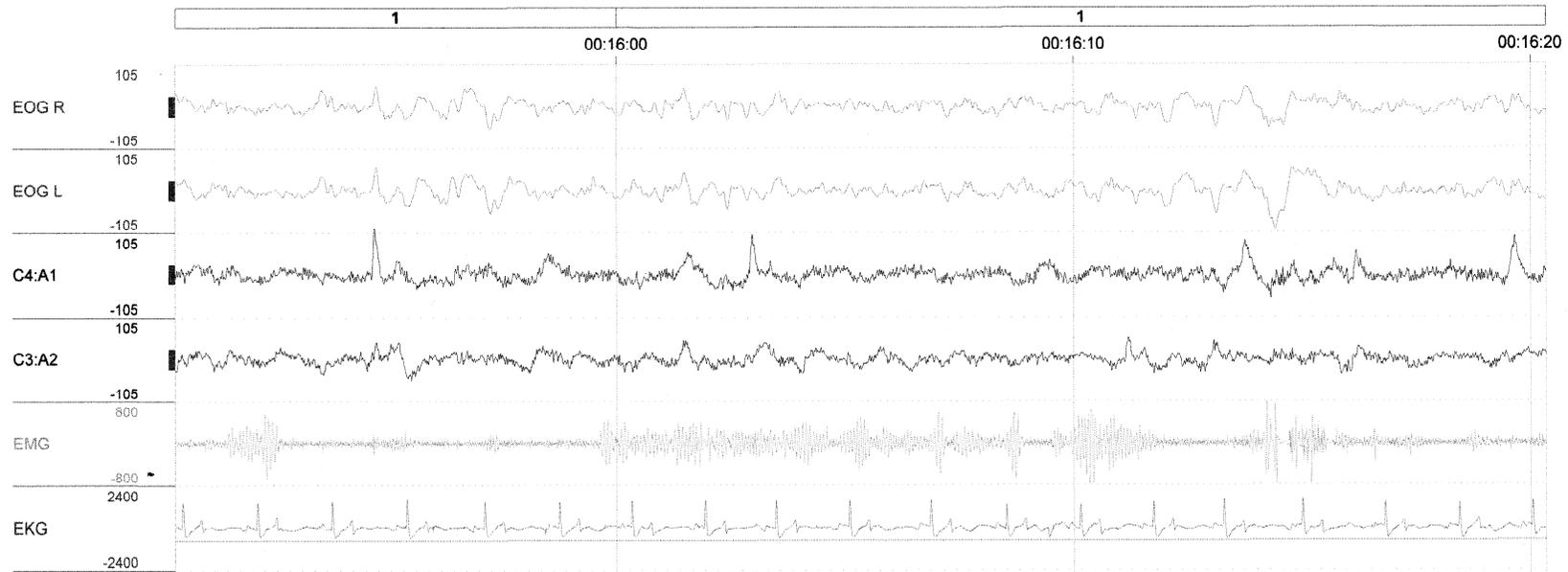


Abbildung 15: Schlafstadium 1 (Pferd 2/Nacht 2)

Das Pferd zeigt kleine Augenbewegungen. Im EEG ist eine unregelmäßige, gemischtfrequente Aktivität zu sehen. Das EMG weist einen wechselnden Tonus bei einer hohen Amplitude auf.

1 = Schlafstadium 1; EOG R/L = Elektrookulogramm rechts/links; C4:A1 = EEG-Ableitung Elektroden C4:A1; C3/A2: = EEG-Ableitung Elektroden C3/A2; EMG = Elektromyogramm; EKG = Elektrokardiogramm

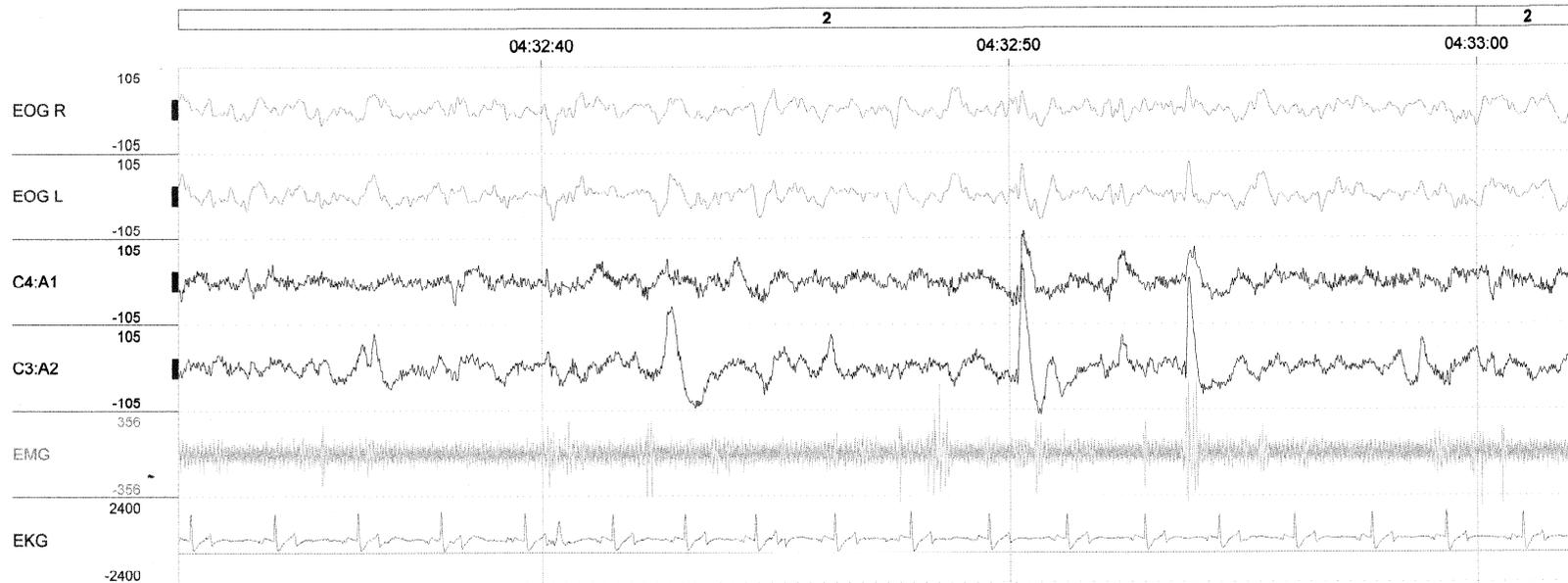


Abbildung 16: Schlafstadium 2 (Pferd 3/Nacht 2)

Im EOG sind gleichmäßige Augenbewegungen erkennbar. Das EEG weist eine gemischtfrequente Aktivität auf. Vereinzelt sind K-Komplexe erkennbar, beispielsweise gleichzeitig bei der C3- und C4-Ableitung um 04:32:50. Das EMG zeigt eine gleichmäßige Aktivität, unterbrochen von einigen kurzen Zyklen mit höherer Amplitude.

2 = Schlafstadium 2; EOG R/L = Elektroofulogramm rechts/links; C4:A1 = EEG-Ableitung Elektroden C4:A1; C3:A2: = EEG-Ableitung Elektroden C3:A2; EMG = Elektromyogramm; EKG = Elektrokardiogramm

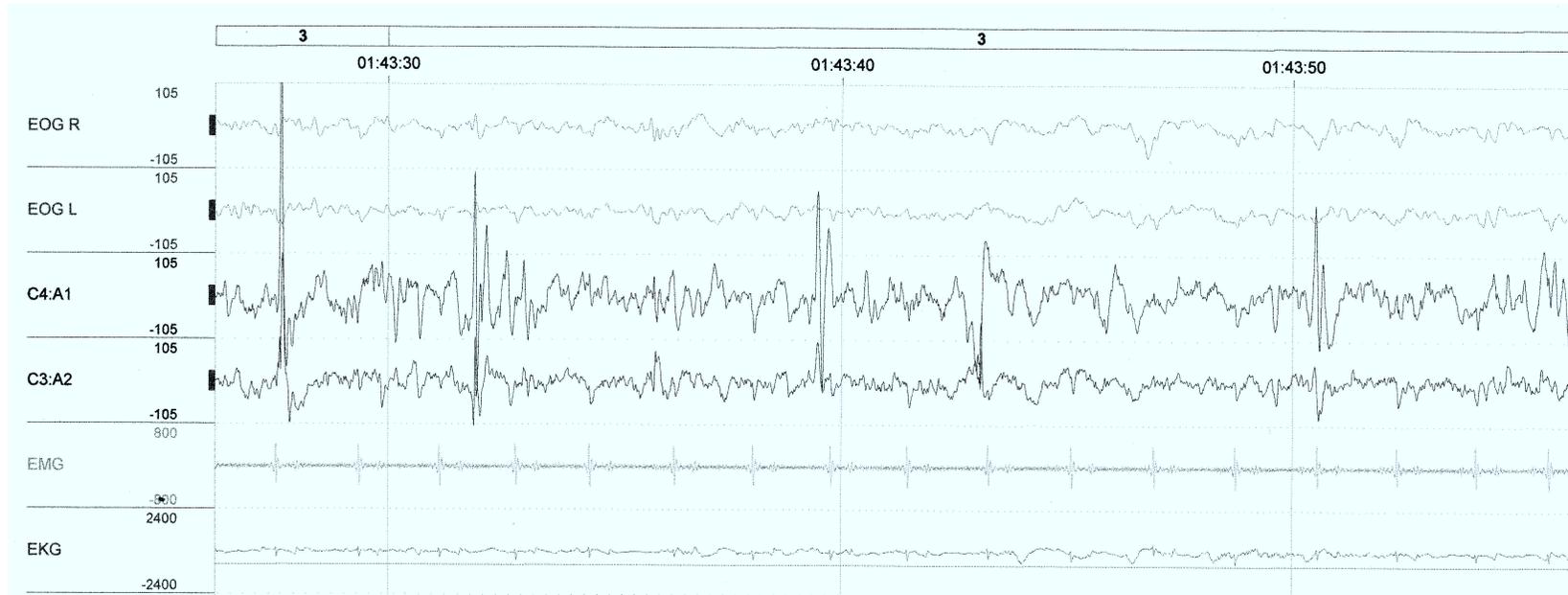


Abbildung 17: Schlafstadium 3 (Pferd 6/Nacht 3)

Im EOG ist eine geringe Aktivität erkennbar. Das EEG weist in regelmäßigen Abständen Wellen von über 100 µV auf. Auch außerhalb dieser Wellen ist eine hochfrequente Aktivität erkennbar. Das EMG verläuft gleichmäßig bei einer geringen Amplitude. Hier scheint es Überlagerungen durch den Pulsschlag zu geben, denn es sind sehr regelmäßig kleine Ausschläge in immer der gleichen Amplitude zu sehen.

3 = Schlafstadium 3; EOG R/L = Elektrookulogramm rechts/links; C4:A1 = EEG-Ableitung Elektroden C4:A1; C3:A2: = EEG-Ableitung Elektroden C3:A2; EMG = Elektromyogramm; EKG = Elektrokardiogramm

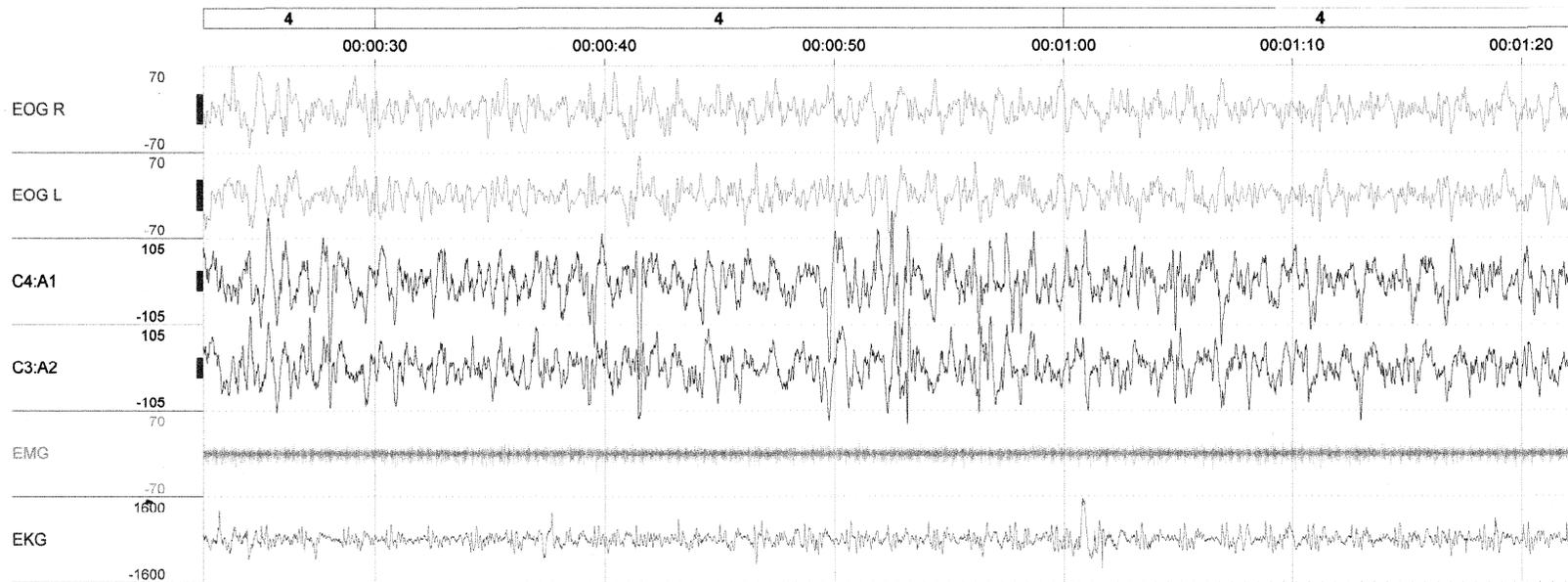


Abbildung 18: Schlafstadium 4 (Pferd 6/Nacht 4)

Im EOG sind treten immer noch Augenbewegungen bei niedriger Amplitude auf. Das EEG zeigt einen sehr hohen Anteil hochamplitudiger Wellen um 100  $\mu$ V und darüber. Das EMG verläuft sehr regelmäßig bei geringer Spannung.

4 = Schlafstadium 4; EOG R/L = Elektrookulogramm rechts/links; C4:A1 = EEG-Ableitung Elektroden C4:A1; C3:A2: = EEG-Ableitung Elektroden C3:A2; EMG = Elektromyogramm; EKG = Elektrokardiogramm

## 4.3.2 Schlafragmentierung

### 4.3.2.1 Übersicht

In den folgenden Übersichten ist die Schlafragmentierung der einzelnen Pferde dargestellt (Abbildung 19a-d). Bereits auf diesen Übersichten ist erkennbar, dass kein speziesspezifisches Schlafmuster, beziehungsweise ein regelmäßiger Wechsel zwischen Schlafen und Wachen oder zwischen einzelnen Phasen mit unterschiedlicher Schlaftiefe vorhanden ist. Auch scheint kein individuelles Muster zu bestehen, wie die Aufzeichnungen über 4 Nächte bei Pferd 6 dokumentieren. Vielmehr besteht innerhalb der Schlafzeiten ein sehr unregelmäßiger, kurzphasiger Wechsel – teilweise im „Minutentakt“ – zwischen allen beim Menschen bekannten Schlafstadien. Dies wird aus einer Auswertung des Somnoscreen® deutlich, welche den Schlafstadienwechsel pro Stunde Schlaf errechnet. Demnach findet ein Schlafstadienwechsel beim Pferd durchschnittlich  $33,5 \pm 5,6$  mal pro Stunde statt. Die Spannweite der Werte reichte von 22,3 bis 38,5 Stadienwechsel/Stunde.

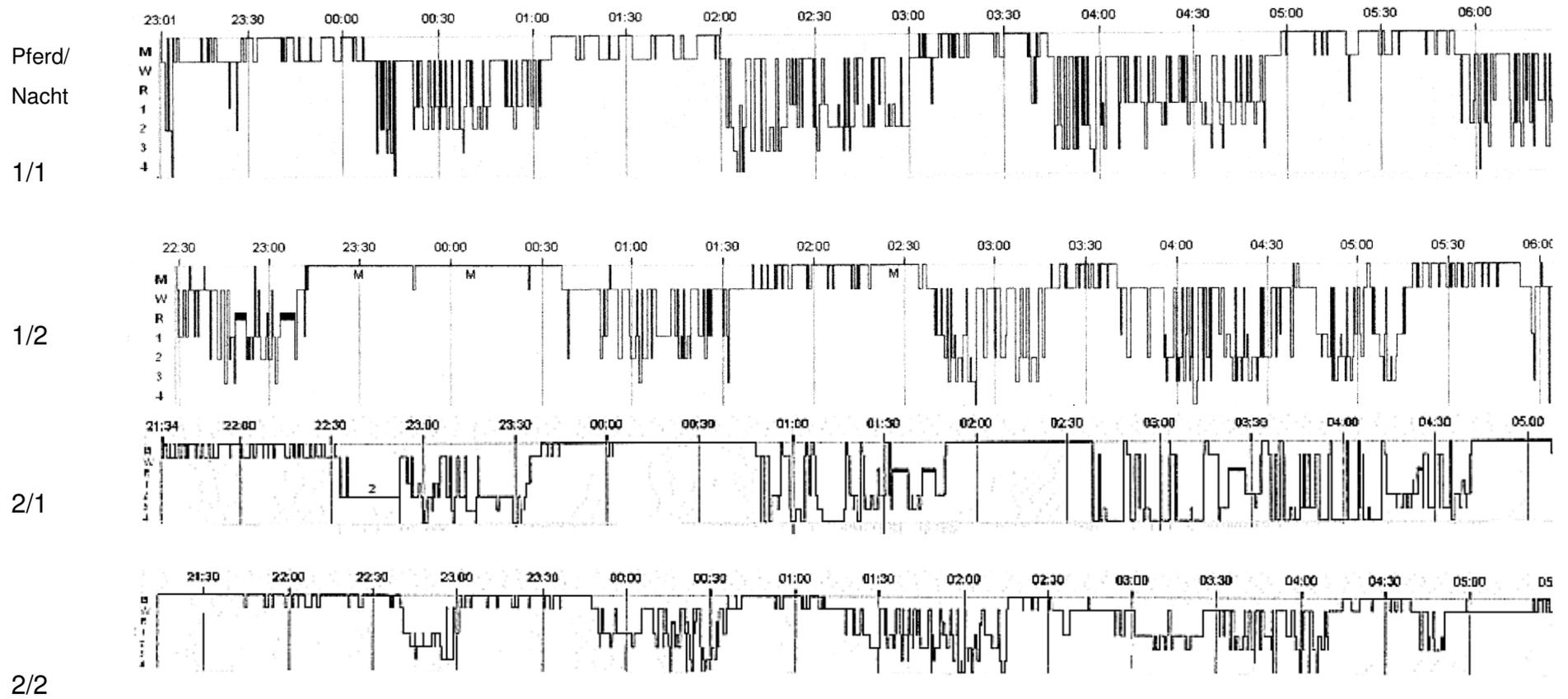


Abbildung 19a: Schlaffragmentierung

Trotz der deutlichen Schwankungen zwischen den einzelnen Schlafphasen können Phasen des Ruhens von Phasen des Aktiv-/Wachseins unterschieden werden.

M = Movement; W = Wachzustand; R = REM-Schlaf; 1 – 4 = Schlafstadien 1 - 4

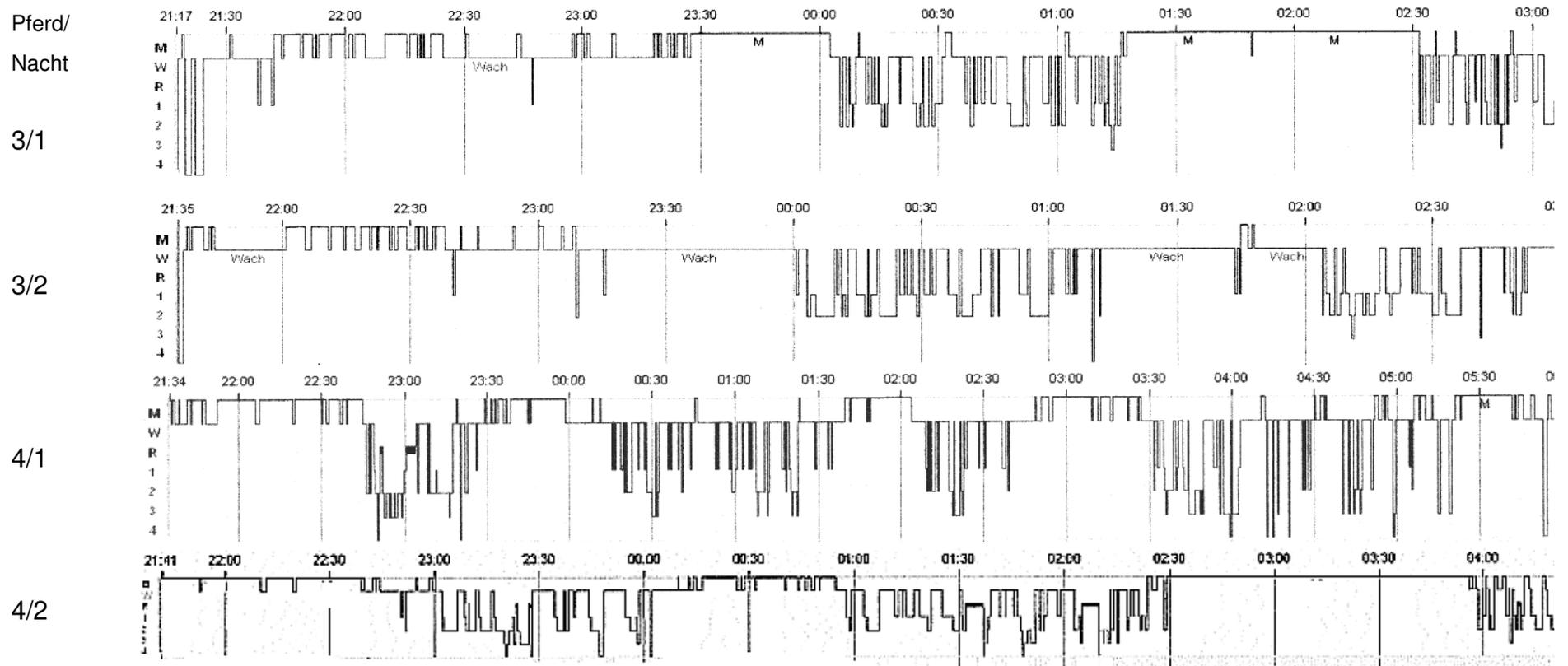


Abbildung 19b: Schlaffragmentierung

M = Movement; W = Wachzustand; R = REM-Schlaf; 1 – 4 = Schlafstadien 1 - 4

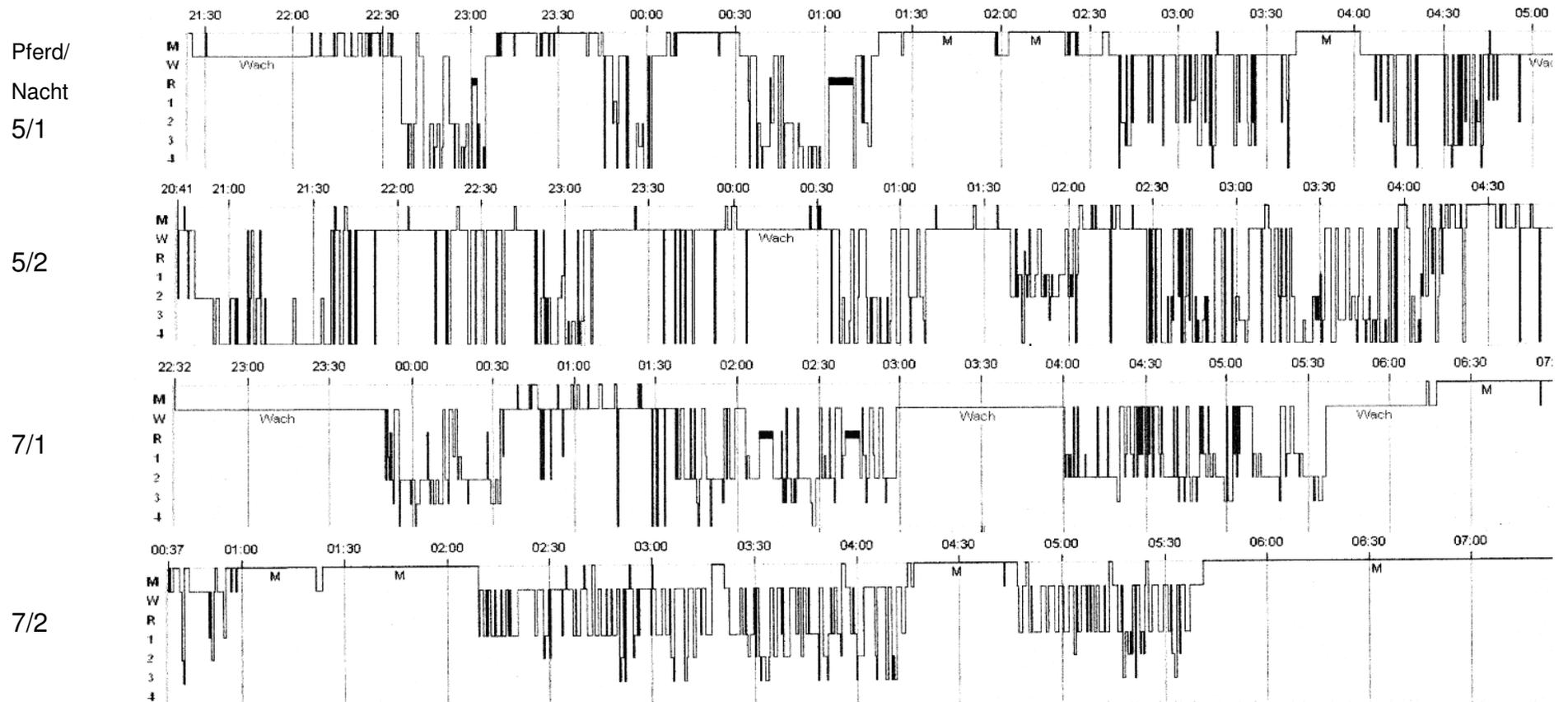


Abbildung 19c: Schlaffragmentierung

M = Movement; W = Wachzustand; R = REM-Schlaf; 1 – 4 = Schlafstadien 1 - 4

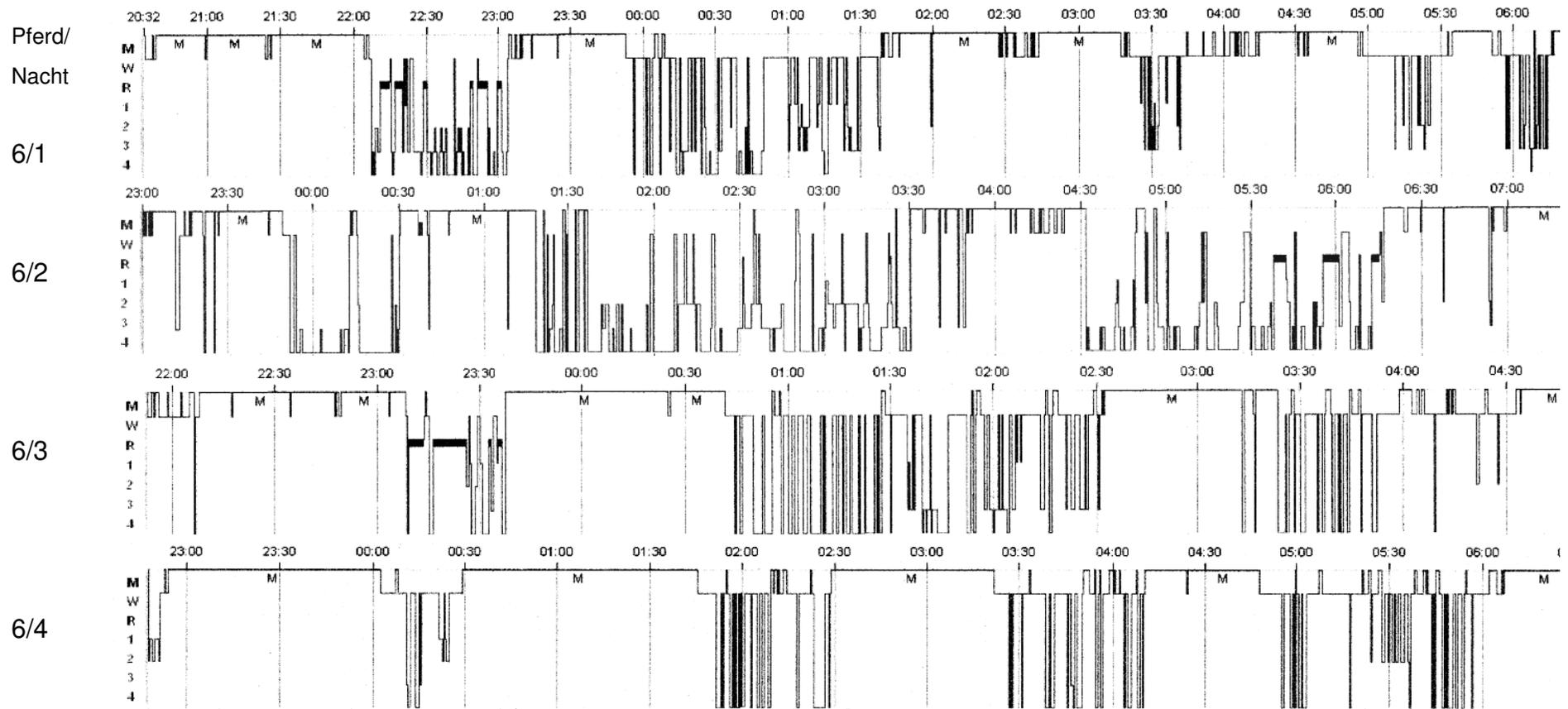


Abbildung 19d: Schlaffragmentierung

M = Movement; W = Wachzustand; R = REM-Schlaf; 1 – 4 = Schlafstadien 1 - 4

#### 4.3.2.2 Auswertung

Bei der Betrachtung der Schlafstadien fällt zunächst auf, dass ein REM-Schlaf nicht bei jedem Pferd und nicht in jeder Nacht auftrat: Der REM-Schlaf fehlte bei Pferd Nr. 3 in beiden Nächten sowie in den Nächten 1/1, 6/4 und 7/2. Die Dauer des REM-Schlafs reichte von 0 bis 17,5 min/Nacht, bei einem Mittel von  $7,3 \pm 6,6$  min (Tabelle 8).

Bezogen auf die vier Stadien des Non-REM-Schlafs lagen die Mittelwerte innerhalb der einzelnen Stadien recht dicht zusammen. Jedoch waren erhebliche interindividuelle Unterschiede zu verzeichnen, so dass sich insgesamt kein einheitliches Schlafmuster ausmachen lässt (Abbildung 20). Beispielsweise verbrachten Pferd 2 in der ersten Nacht sowie die Pferde 5 und 6 über 50% ihrer Gesamtschlafzeit in den tieferen Schlafstadien 3 und 4, während sich die Pferde 1, 3, 4 und 7 sowie Pferd 2 in der zweiten Nacht mehr als die Hälfte der Gesamtschlafzeit in dem nur leichten Schlaf der Stadien 1 und 2 befanden. Die große interindividuelle Variationsbreite der Stadienverteilung fällt besonders bei Betrachtung des Schlafstadiums 4 auf. Hier reichte der prozentuale Anteil an der Gesamtschlafzeit von 0 bis 72,6%.

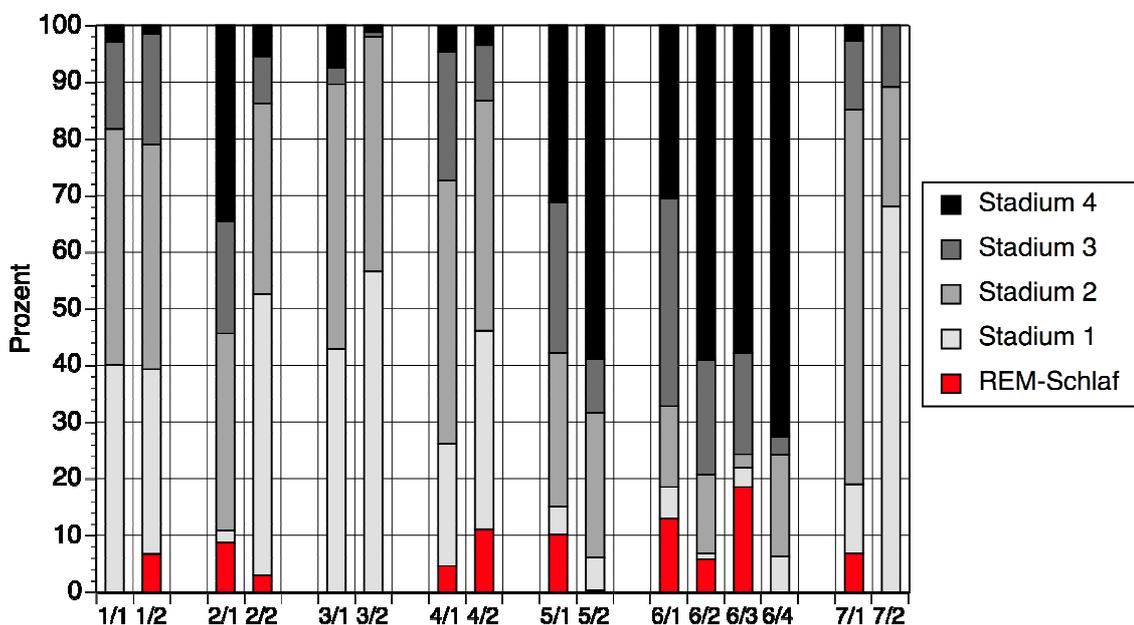


Abbildung 20: Prozentualer Anteil der einzelnen Schlafstadien an der Gesamtschlafzeit für alle Pferde/Nächte

Tabelle 8: Verteilung der Schlafstadien auf die Gesamtschlafzeit innerhalb der untersuchten Nächte (Angaben in Minuten, MW = Mittelwert)

| Pferd-Nr.     | Nacht-Nr.<br>MW | REM-Schlaf | Stadium 1 | Stadium 2 | Stadium 3 | Stadium 4 |
|---------------|-----------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>1</b>      | 1               | 0          | 52,5      | 54,5      | 20,0      | 4,0       |
|               | 2               | 9,0        | 43,5      | 53,0      | 26,0      | 2,0       |
|               | MW              | 4,5        | 48,0      | 53,8      | 23,0      | 3,0       |
| <b>2</b>      | 1               | 17,5       | 4,5       | 69,5      | 39,5      | 69,5      |
|               | 2               | 4,5        | 75,0      | 51,0      | 12,5      | 8,5       |
|               | MW              | 11,0       | 39,8      | 60,3      | 26,0      | 39,0      |
| <b>3</b>      | 1               | 0          | 22,5      | 24,5      | 1,5       | 4,0       |
|               | 2               | 0          | 73,5      | 54,0      | 1,0       | 1,5       |
|               | MW              | 0          | 48,0      | 35,3      | 1,3       | 2,8       |
| <b>4</b>      | 1               | 4,5        | 21,0      | 45,0      | 22,0      | 4,5       |
|               | 2               | 13,0       | 41,0      | 47,5      | 11,5      | 4,0       |
|               | MW              | 8,8        | 31,0      | 46,3      | 16,8      | 4,3       |
| <b>5</b>      | 1               | 10,0       | 5,0       | 27,0      | 26,5      | 31,0      |
|               | 2               | 0,5        | 11,5      | 50,5      | 18,5      | 116,0     |
|               | MW              | 5,6        | 8,3       | 38,8      | 22,5      | 73,5      |
| <b>6</b>      | 1               | 15,5       | 6,5       | 17,0      | 43,5      | 36,5      |
|               | 2               | 14,5       | 2,5       | 34,5      | 50,5      | 147,0     |
|               | 3               | 16,0       | 3,0       | 2,0       | 15,5      | 50,0      |
|               | 4               | 0          | 3,0       | 8,5       | 1,5       | 34,5      |
|               | MW              | 11,5       | 3,8       | 15,5      | 27,8      | 67,0      |
| <b>7</b>      | 1               | 12,5       | 22,5      | 122,0     | 22,5      | 5,0       |
|               | 2               | 0          | 59,5      | 18,5      | 9,5       | 0         |
|               | MW              | 6,3        | 41,0      | 70,3      | 16,0      | 2,5       |
| n = 16 Nächte |                 |            |           |           |           |           |
| MW            |                 | 7,3        | 27,9      | 42,4      | 20,1      | 32,4      |
| Standardabw.  |                 | 6,6        | 25,1      | 27,7      | 14,3      | 42,8      |
| Minimum       |                 | 0          | 2,5       | 2,0       | 1,0       | 0         |
| Maximum       |                 | 17,5       | 75,0      | 122,0     | 50,5      | 147,0     |
| n = 7 Pferde  |                 |            |           |           |           |           |
| MW            |                 | 6,8        | 31,4      | 45,8      | 19,3      | 27,4      |
| Standardabw.  |                 | 3,7        | 16,9      | 16,7      | 8,3       | 29,7      |
| Minimum       |                 | 0          | 3,8       | 15,5      | 1,3       | 2,5       |
| Maximum       |                 | 11,5       | 4,8       | 70,3      | 27,8      | 73,5      |

Tabelle 9: Prozentuale Verteilung der Schlafstadien auf die Gesamtschlafzeit innerhalb der untersuchten Nächte (Angaben in Prozent, MW = Mittelwert)

| Pferd -Nr.           | Nacht-Nr.<br><i>MW</i> | REM-Schlaf | Stadium 1 | Stadium 2 | Stadium 3 | Stadium 4 |
|----------------------|------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>1</b>             | 1                      | 0          | 40,1      | 41,6      | 15,3      | 3,1       |
|                      | 2                      | 6,7        | 32,6      | 39,7      | 19,5      | 1,5       |
|                      | <i>MW</i>              | 3,4        | 36,4      | 40,7      | 17,4      | 2,3       |
| <b>2</b>             | 1                      | 8,7        | 2,2       | 34,7      | 19,7      | 34,7      |
|                      | 2                      | 3,0        | 49,5      | 33,7      | 8,3       | 5,6       |
|                      | <i>MW</i>              | 5,9        | 25,9      | 34,2      | 14,0      | 20,2      |
| <b>3</b>             | 1                      | 0          | 42,9      | 46,7      | 2,9       | 7,6       |
|                      | 2                      | 0          | 56,5      | 41,5      | 0,8       | 1,2       |
|                      | <i>MW</i>              | 0          | 49,7      | 44,1      | 1,9       | 4,4       |
| <b>4</b>             | 1                      | 4,6        | 21,6      | 46,4      | 22,7      | 4,6       |
|                      | 2                      | 11,1       | 35,0      | 40,6      | 9,8       | 3,4       |
|                      | <i>MW</i>              | 7,9        | 28,3      | 43,5      | 16,3      | 4,0       |
| <b>5</b>             | 1                      | 10,1       | 5,0       | 27,1      | 26,6      | 31,2      |
|                      | 2                      | 0,3        | 5,8       | 25,6      | 9,4       | 58,9      |
|                      | <i>MW</i>              | 5,2        | 5,4       | 26,4      | 18,0      | 45,1      |
| <b>6</b>             | 1                      | 13,0       | 5,5       | 14,3      | 36,6      | 30,7      |
|                      | 2                      | 5,8        | 1,0       | 13,9      | 20,3      | 59,0      |
|                      | 3                      | 18,5       | 3,5       | 2,3       | 17,9      | 57,8      |
|                      | 4                      | 0          | 6,3       | 17,9      | 3,2       | 72,6      |
|                      | <i>MW</i>              | 9,3        | 4,1       | 12,1      | 19,5      | 55,0      |
| <b>7</b>             | 1                      | 6,8        | 12,2      | 66,1      | 12,2      | 2,7       |
|                      | 2                      | 0          | 68,0      | 21,1      | 10,9      | 0         |
|                      | <i>MW</i>              | 3,4        | 40,1      | 43,6      | 11,6      | 1,4       |
| <b>n = 16 Nächte</b> |                        |            |           |           |           |           |
| <i>MW</i>            |                        | 5,5        | 24,2      | 32,1      | 14,8      | 23,4      |
| Standardabw.         |                        | 5,5        | 21,5      | 15,4      | 9,2       | 25,1      |
| Minimum              |                        | 0          | 1,0       | 2,3       | 0,8       | 0         |
| Maximum              |                        | 18,5       | 68,0      | 66,1      | 38,6      | 72,6      |
| <b>n = 7 Pferde</b>  |                        |            |           |           |           |           |
| <i>MW</i>            |                        | 5,0        | 27,1      | 34,9      | 14,1      | 18,9      |
| Standardabw.         |                        | 2,9        | 15,9      | 11,1      | 5,5       | 20,7      |
| Minimum              |                        | 0          | 4,1       | 12,1      | 1,9       | 1,4       |
| Maximum              |                        | 9,3        | 49,7      | 44,1      | 19,5      | 55,0      |

Betrachtet man die Werte des Pferdes 6, für das vier Nächte dokumentiert wurden, separat, so zeigte sich eine geringere intraindividuelle Variationsbreite als bei den übrigen Pferden/Nächten. Jedoch wich die prozentuale Verteilung der einzelnen Schlafstadien von derjenigen der anderen Pferde deutlich ab. Während im Mittel aller Nächte mit Ausnahme derjenigen des Pferdes 6 die Schlafstadien 1 und 2 dominierten, fiel bei Pferd 6 ein Überwiegen des Schlafstadiums 4 auf (Abbildung 21).

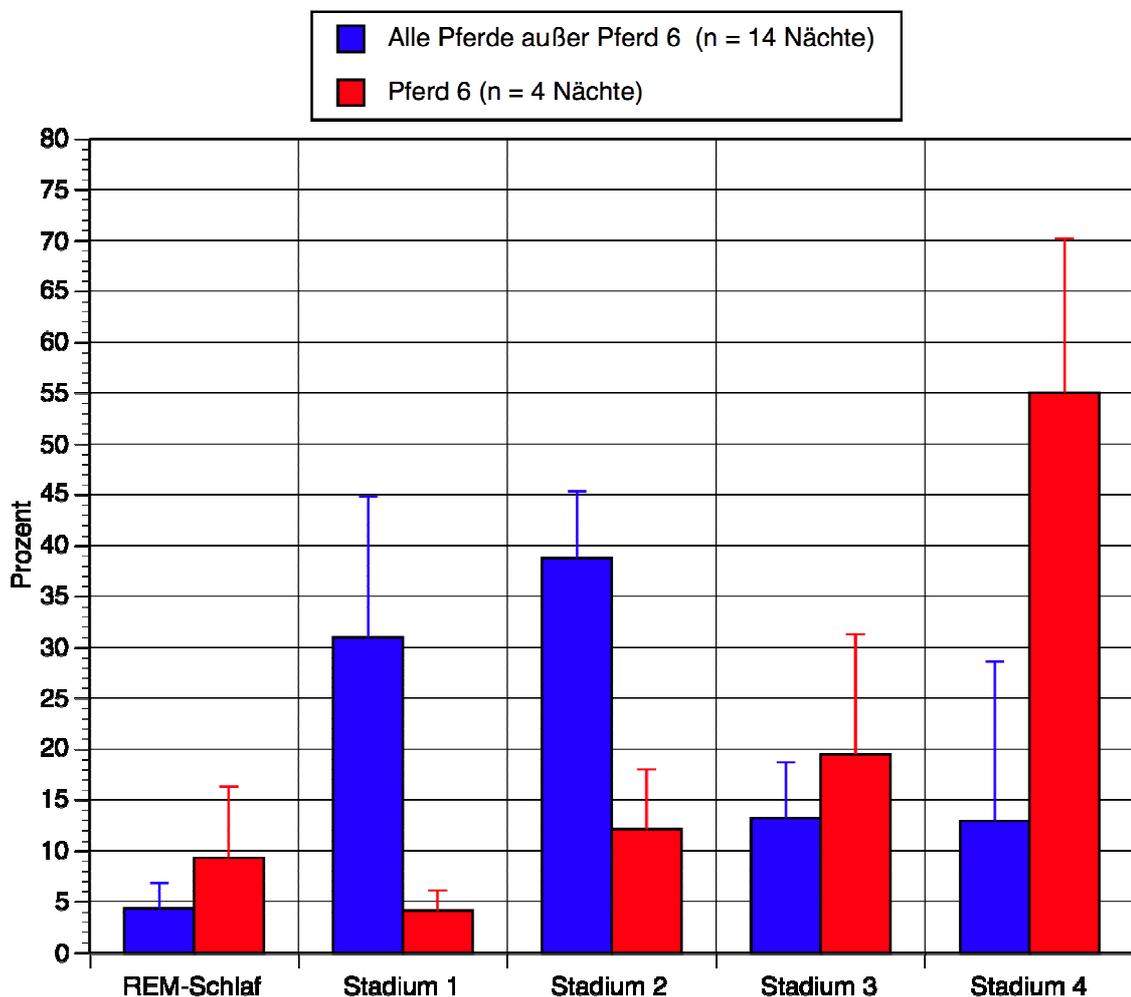


Abbildung 21: Mittelwerte und Standardabweichungen der prozentualen Schlafstadien-Verteilung bei den für Pferd 6 dokumentierten und den übrigen Nächten.

#### **4.4 Einfluss des Alters auf die Schlafdauer und Schlafragmentierung**

Es war kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Lebensalter und der Gesamtschlafzeit der Pferde ( $r = 0,3024$ ,  $p > 0,05$ , Abbildung 22) sowie der Häufigkeit von Schlafstadienwechseln ( $r = 0,2817$ ,  $p > 0,05$ , Abbildung 23) nachweisbar.

Bezüglich eines vermuteten Zusammenhanges zwischen dem Lebensalter und der Schlafragmentierung fiel auf, dass die  $r$ -Werte für die Stadien REM-Schlaf sowie Stadium 1 und 2 negativ, für Stadium 3 und 4 dagegen positiv waren (Abbildung 24). Dies bedeutet, dass tendenziell mit zunehmendem Alter der Anteil der tieferen Schlafstadien 3 und 4 zunimmt, während der Anteil der leichteren Schlafstadien 1 und 2 sowie des REM-Schlafes abnimmt. Da alle zugehörigen  $p$ -Werte jedoch größer als 0,05 waren, ließ sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter und der Schlafragmentierung nicht statistisch absichern.

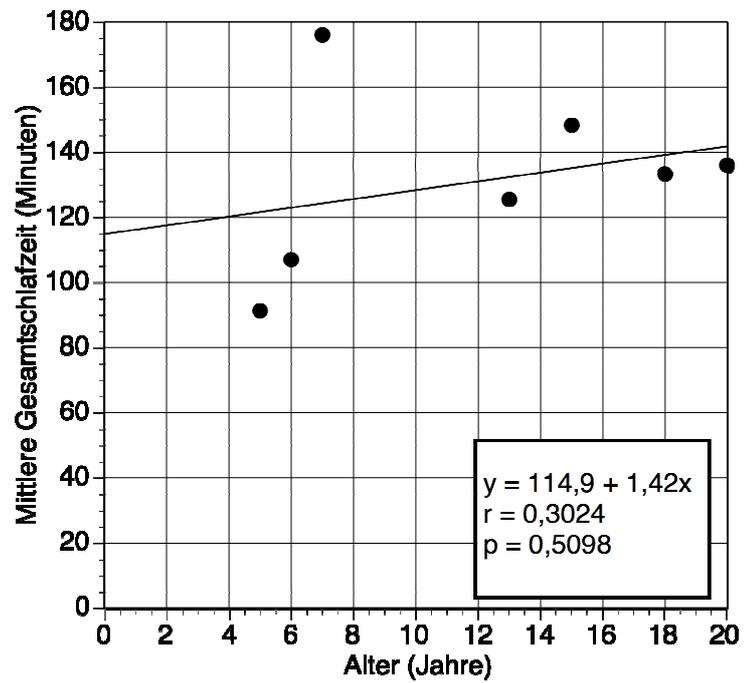


Abbildung 22: Zusammenhang zwischen dem Lebensalter der Pferde und der mittleren Gesamtschlafzeit/Pferd

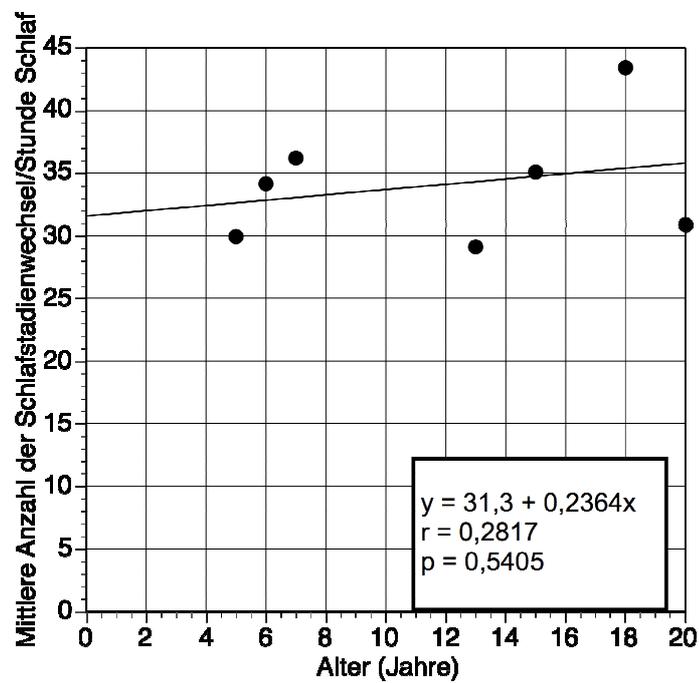


Abbildung 23: Zusammenhang zwischen dem Lebensalter der Pferde und der Häufigkeit der Schlafstadienwechsel

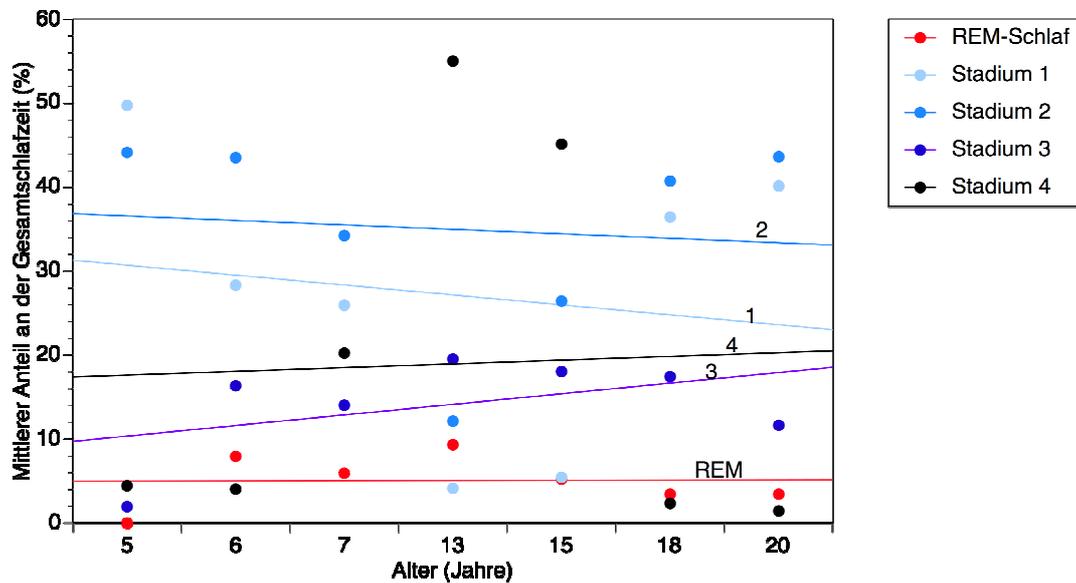


Abbildung 24: Zusammenhang zwischen dem Lebensalter der Pferde und der Schlaffragmentierung

|           |                     |               |              |
|-----------|---------------------|---------------|--------------|
| REM       | $y = 5,25 - 0,02x$  | $r = -0,0390$ | $p = 0,9338$ |
| Stadium 1 | $y = 31,91 - 0,39x$ | $r = -0,1406$ | $p = 0,7637$ |
| Stadium 2 | $y = 38,02 - 0,26x$ | $r = -0,1296$ | $p = 0,7818$ |
| Stadium 3 | $y = 9,21 + 0,41x$  | $r = 0,4118$  | $p = 0,3587$ |
| Stadium 4 | $y = 15,67 + 0,27x$ | $r = 0,0732$  | $p = 0,8761$ |

## 4.5 Schlaf im Liegen oder Stehen

### 4.5.1 Nächtliche Liegezeit

Bei der Betrachtung der eingenommen Körperpositionen fiel zunächst auf, dass sich zwei Pferde (Nr. 1 und 7) während der gesamten nächtlichen Beobachtungsdauer gar nicht hinlegten. Pferd 5 verbrachte eine von zwei aufgezeichneten Nächten ebenfalls gänzlich im Stehen und legte sich auch in der zweiten Nacht nur zweimal kurz für insgesamt 7 Minuten (Tabelle 10).

Die im Liegen verbrachte Zeit war sehr unterschiedlich lang und reichte von 0 min bis 195 min pro Nachtphase, entsprechend 0% bis 31,4% der Nachtlän-

ge. Die Liegezeit im Mittel  $9,0 \pm 8,5\%$  bezogen auf 16 Nächte beziehungsweise  $11,4 \pm 10,0\%$  bezogen auf 7 Pferde ein.

Insgesamt waren pro Pferd bis zu 3 Liegephasen pro Nacht zu verzeichnen. Der Mittelwert betrug  $1,1 \pm 1,1$  Liegephasen/Pferd.

Auch bezüglich der Relation zwischen Steh- und Liegezeit nahm Pferd Nr. 6 wiederum eine Sonderstellung ein und fiel durch seine ausgeprägten Liegephasen auf, die zwischen 15,0% und 38,4% der vier ausgewerteten Nächte in Anspruch nahmen. Bei den übrigen Pferden/Nächten nahm der prozentuale Anteil der Liegephasen lediglich 0% bis 19,4% ein.

Tabelle 10: Im Stehen und Liegen verbrachte Zeit pro Nachtphase, Anzahl der Liegephasen

(MW = Mittelwert)

| Pferd-Nr.           | Nacht-Nr.<br>MW     | Nachtphase (min) | Stehen       |              | Liegen       |             | Anzahl der Liegephasen |
|---------------------|---------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------------------|
|                     |                     |                  | min          | %            | min          | %           |                        |
| <b>1</b>            | 1                   | 481,0            | 481,0        | 100,0        | 0            | 0           | 0                      |
|                     | 2                   | 541,0            | 541,0        | 100,0        | 0            | 0           | 0                      |
|                     | <i>MW</i>           | <i>511,0</i>     | <i>511,0</i> | <i>100,0</i> | <i>0</i>     | <i>0</i>    | <i>0</i>               |
| <b>2</b>            | 1                   | 481,0            | 434,0        | 89,2         | 47,0         | 10,8        | 2                      |
|                     | 2                   | 541,0            | 469,0        | 84,6         | 72,0         | 15,4        | 3                      |
|                     | <i>MW</i>           | <i>511,0</i>     | <i>451,5</i> | <i>86,9</i>  | <i>59,5</i>  | <i>13,1</i> | <i>2,5</i>             |
| <b>3</b>            | 1                   | 361,0            | 353,0        | 97,8         | 8,0          | 2,2         | 1                      |
|                     | 2                   | 541,0            | 444,0        | 82,0         | 97,0         | 18,0        | 2                      |
|                     | <i>MW</i>           | <i>452,5</i>     | <i>398,5</i> | <i>89,9</i>  | <i>52,5</i>  | <i>10,1</i> | <i>1,5</i>             |
| 4                   | 1                   | 540,0            | 434,5        | 80,5         | 105,5        | 19,5        | 3                      |
|                     | 2                   | 421,0            | 372,0        | 88,4         | 49,0         | 11,6        | 1                      |
|                     | <i>MW</i>           | <i>480,5</i>     | <i>403,2</i> | <i>84,5</i>  | <i>77,3</i>  | <i>15,5</i> | <i>2</i>               |
| <b>5</b>            | 1                   | 481,0            | 481,0        | 100,0        | 0            | 0           | 0                      |
|                     | 2                   | 541,0            | 534,0        | 98,7         | 7,0          | 1,3         | 2                      |
|                     | <i>MW</i>           | <i>511,0</i>     | <i>507,5</i> | <i>99,4</i>  | <i>3,5</i>   | <i>0,7</i>  | <i>1</i>               |
| <b>6</b>            | 1                   | 600,0            | 494,0        | 82,3         | 106,0        | 17,7        | 2                      |
|                     | 2                   | 508,0            | 313,0        | 61,6         | 195,0        | 38,4        | 2                      |
|                     | 3                   | 421,0            | 322,0        | 76,5         | 99,0         | 23,5        | 2                      |
|                     | 4                   | 480,0            | 408,0        | 85,0         | 72,0         | 15,0        | 2                      |
|                     | <i>MW</i>           | <i>502,3</i>     | <i>384,3</i> | <i>76,4</i>  | <i>118,0</i> | <i>23,7</i> | <i>2</i>               |
| <b>7</b>            | 1                   | 525,0            | 525,0        | 100,0        | 0            | 0           | 0                      |
|                     | 2                   | 421,0            | 421,0        | 100,0        | 0            | 0           | 0                      |
|                     | <i>MW</i>           | <i>473,0</i>     | <i>473,0</i> | <i>100,0</i> | <i>0</i>     | <i>0</i>    | <i>0</i>               |
| n = 16 Nächte       |                     |                  |              |              |              |             |                        |
|                     | MW                  | 492,0            | 439,2        | 91,0         | 50,4         | 9,0         | 1,4                    |
|                     | Standardabw.        | 60,1             | 69,4         | 8,5          | 55,0         | 8,5         | 1,1                    |
|                     | Minimum             | 361,0            | 313,0        | 76,4         | 0            | 0           | 0                      |
|                     | Maximum             | 600,0            | 541,0        | 100,0        | 195,0        | 23,7        | 3                      |
| <i>n = 7 Pferde</i> |                     |                  |              |              |              |             |                        |
|                     | <i>MW</i>           | <i>491,6</i>     | <i>447,0</i> | <i>90,0</i>  | <i>34,5</i>  | <i>11,4</i> | <i>1,1</i>             |
|                     | <i>Standardabw.</i> | <i>21,5</i>      | <i>48,8</i>  | <i>10,1</i>  | <i>41,5</i>  | <i>10,0</i> | <i>1,1</i>             |
|                     | <i>Minimum</i>      | <i>452,5</i>     | <i>384,3</i> | <i>61,6</i>  | <i>0</i>     | <i>0</i>    | <i>0</i>               |
|                     | <i>Maximum</i>      | <i>511,0</i>     | <i>511,0</i> | <i>100,0</i> | <i>118,0</i> | <i>38,4</i> | <i>3</i>               |

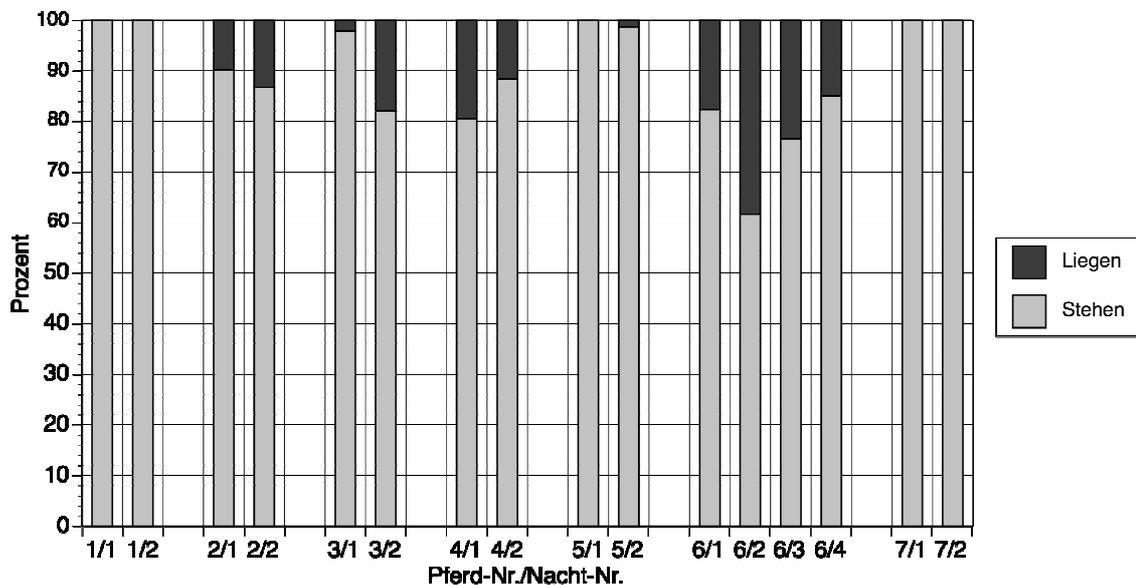


Abbildung 25: Relation zwischen Steh- und Liegezeit

Die Liegezeit wurde überwiegend in Brustlage verbracht (Tabelle 11). Bei Pferden mit 2 Liegephasen pro Nacht wurde jeweils eine gesamte Liegephase in rechter oder linker Brustlage verbracht. In der Sternallage lagen die Pferde ruhig. Lediglich am Kopf waren unterschiedliche Verhaltensweisen zu beobachten, die von Umherschauen mit Kopfbewegungen über eine ruhige Kopfhaltung mit Ohrenspiel bis hin zu unbeweglichem Liegen mit aufgestütztem Kopf mit und ohne Ohrenspiel reichten.

Drei Pferde nahmen während ihrer Liegephasen auch die Seitenlage ein. Dauerte die Liegephase 30 Minuten und länger, wurde dabei mehrmals zwischen Brust- und Seitenlage gewechselt, so dass die Seitenlage nie länger als 10 Minuten gehalten wurde.

Während der Seitenlage lagen die Pferde meist unbeweglich. Ging die Seitenlage allerdings unmittelbar dem Aufstehen voraus, streckte sich das Pferd häufig.

Tabelle 11: Liegephasen der Pferde differenziert nach Brust- und Seitenlage

| Pferd-Nr./<br>Nacht-Nr. | Uhrzeit   | Liegedauer/<br>Nacht (min) | Brust-<br>lage<br>(min) | Seiten-<br>lage<br>(min) | Dauer einzelner<br>Phasen in Seitenlage<br>(min) |
|-------------------------|-----------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| 2/1                     | 3:16-3:34 | 18                         | 18                      | -                        | -  |
|                         | 4:13-4:42 | 28                         | 28                      | -                        | -  |
| 2/2                     | 0:13-0:37 | 24                         | 24                      | -                        | -  |
|                         | 1:52-2:15 | 23                         | 23                      | -                        | -  |
|                         | 3:50-4:15 | 25                         | 25                      | -                        | -  |
| 3/1                     | 3:08-3:16 | 8                          | 8                       | -                        | -  |
| 3/2                     | 0:45-1:08 | 23                         | 23                      | -                        | -  |
|                         | 2:36-3:27 | 51                         | 45                      | 6                        | 6  |
|                         | 4:30-4:53 | 23                         | 23                      | -                        | -  |
| 4/1                     | 0:33-0:46 | 13                         | 13                      | -                        | -  |
|                         | 2:25-2:40 | 15                         | 15                      | -                        | -  |
|                         | 4:04-5:22 | 77,5                       | 63,5                    | 14                       | 2+2+4+6  |
| 4/2                     | 1:40-2:29 | 49                         | 38                      | 11                       | 1+6+4  |
| 5/2                     | 3:05-3:10 | 5                          | 5                       | -                        | -  |
|                         | 3:58-4:00 | 2                          | 2                       | -                        | -  |
| 6/1                     | 0:09-1:33 | 84                         | 74                      | 10                       | 8+2  |
|                         | 5:54-6:16 | 22                         | 19                      | 3                        | 3  |
| 6/2                     | 1:28-3:31 | 123                        | 98                      | 25                       | 2+2+4+5+9+3                                      |
|                         | 4:02-5:14 | 72                         | 52                      | 20                       | 2+3+5+10   |
| 6/3                     | 1:28-2:33 | 65                         | 59                      | 6                        | 3+3  |
|                         | 4:01-4:35 | 34                         | 28                      | 6                        | 4+2  |
| 6/4                     | 3:52-4:10 | 18                         | 18                      | -                        | -  |
|                         | 5:08-6:02 | 54                         | 37                      | 17                       | 17   |

#### 4.5.2 Zusammenhang zwischen Körperhaltung und Gesamtschlafzeit

Es zeigte sich bei den einzelnen Pferden eine große individuelle Variation bezüglich der Bevorzugung des Schlafens im Liegen oder Stehen. Beispielsweise verbrachten die Pferde Nr. 1 und 5 die Liegezeit beide aufgezeichneten Nächte jeweils im wachen Zustand, während Pferd Nr. 6 bis zu 73,1% seiner Liegezeit schlief. Durchschnittlich verbrachten die Pferde  $13,0 \pm 15,0\%$  ihrer Gesamtschlafzeit im Liegen. In der Liegezeit ohne Schlaf schauten die Pferde umher, zeigten lediglich Ohrenspiel, lagen ruhig in Brust- oder Seitenlage oder streckten sich.

Tabelle 12: Im Stehen und Liegen verbrachte Zeit pro Gesamtschlafzeit (MW = Mittelwert)

| Pferd-Nr.     | Nacht-Nr.<br>MW | Gesamt-Schlafzeit<br>(min) | Schlaf im Stehen |       | Schlaf im Liegen |      |
|---------------|-----------------|----------------------------|------------------|-------|------------------|------|
|               |                 |                            | min              | %     | min              | %    |
| 1             | 1               | 131,0                      | 131,0            | 100,0 | 0                | 0    |
|               | 2               | 133,5                      | 133,5            | 100,0 | 0                | 0    |
|               | MW              | 102,3                      | 102,3            | 100,0 | 0                | 0    |
| 2             | 1               | 200,5                      | 182,5            | 91,0  | 47,0             | 9,0  |
|               | 2               | 151,5                      | 124,5            | 82,2  | 72,0             | 28,0 |
|               | MW              | 176,0                      | 153,5            | 86,6  | 59,5             | 18,5 |
| 3             | 1               | 52,5                       | 52,5             | 100,0 | 0                | 0    |
|               | 2               | 130,0                      | 99,5             | 76,5  | 30,5             | 23,5 |
|               | MW              | 91,3                       | 76,0             | 88,3  | 15,2             | 11,8 |
| 4             | 1               | 97,0                       | 79,0             | 80,5  | 18,0             | 19,5 |
|               | 2               | 117,0                      | 101,5            | 88,4  | 15,5             | 11,6 |
|               | MW              | 107,0                      | 90,5             | 84,5  | 16,8             | 15,6 |
| 5             | 1               | 99,5                       | 99,5             | 100,0 | 0                | 0    |
|               | 2               | 197,0                      | 197,0            | 100,0 | 0                | 0    |
|               | MW              | 156,0                      | 156,0            | 100,0 | 0                | 0    |
| 6             | 1               | 119,0                      | 68,0             | 57,4  | 51,0             | 42,9 |
|               | 2               | 249,0                      | 67,0             | 26,9  | 182,0            | 73,1 |
|               | 3               | 86,5                       | 60,5             | 69,9  | 26,0             | 30,1 |
|               | 4               | 47,5                       | 31,5             | 66,3  | 16,0             | 33,7 |
|               | MW              | 125,5                      | 56,8             | 55,1  | 68,8             | 45,0 |
| 7             | 1               | 184,5                      | 184,5            | 100,0 | 0                | 0    |
|               | 2               | 87,5                       | 87,5             | 100,0 | 0                | 0    |
|               | MW              | 136,0                      | 136,0            | 100,0 | 0                | 0    |
| n = 16 Nächte |                 |                            |                  |       |                  |      |
| MW            |                 | 130,2                      | 106,2            | 83,7  | 28,6             | 17,0 |
| Standardabw.  |                 | 53,6                       | 47,9             | 20,0  | 45,0             | 20,2 |
| Minimum       |                 | 47,5                       | 31,5             | 26,9  | 0                | 0    |
| Maximum       |                 | 249,0                      | 197,0            | 100,0 | 182,0            | 73,1 |
| n = 7 Pferde  |                 |                            |                  |       |                  |      |
| MW            |                 | 127,7                      | 110,2            | 87,8  | 22,9             | 13,0 |
| Standardabw.  |                 | 28,3                       | 36,1             | 14,8  | 27,0             | 15,0 |
| Minimum       |                 | 91,3                       | 56,8             | 55,1  | 0                | 0    |
| Maximum       |                 | 176,0                      | 156,0            | 100,0 | 68,8             | 45,0 |

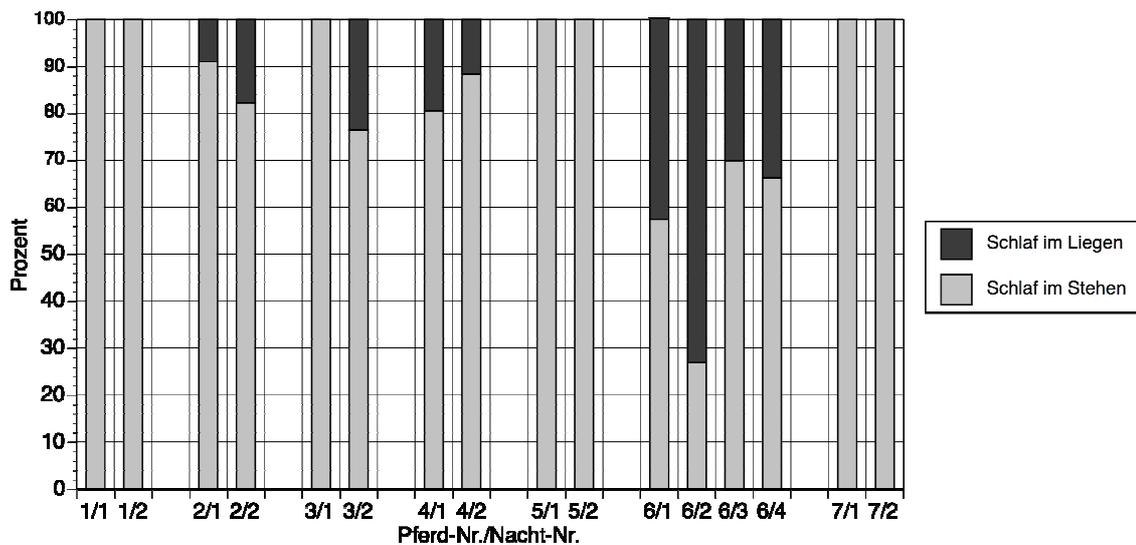


Abbildung 26: Prozentualer Anteil des Schlafs im Stehen oder Liegen an der Gesamtschlafzeit

#### 4.5.3 Zusammenhang zwischen Körperhaltung und Schlafstadien

Es war weder bei Betrachtung der individuellen Schlafzeiten (Tabelle 13) noch bei der Auswertung des Anteils der Schlafstadien an der Gesamtschlafzeit (Abbildung 26) ein Zusammenhang zwischen der Körperhaltung und der Verteilung der Schlafstadien erkennbar. Die individuelle Verteilung der Schlafstadien beim liegenden Pferd entspricht tendenziell jeweils derjenigen beim stehenden Pferd.

Besonders auffällig ist, dass der REM-Schlaf, der definitionsgemäß mit einer Muskelrelaxation verbunden ist, nicht wie zu erwarten wäre, ausschließlich in der Seitenlage vorkommt (Abbildung 30), sondern meistens beim stehenden Pferde (Abbildung 29) und nur gelegentlich in der Brustlage (Abbildung 28) oder Seitenlage. Auch das tiefste Schlafstadium 4 kann in stehender Position verbracht werden, wie Abbildung 31 zeigt.

Tabelle 13: Verteilung der Schlafstadien (min) in Abhängigkeit von der Körperhaltung

| Pferd/Nacht | Haltung    | Gesamt | REM  | Stadium 1 | Stadium 2 | Stadium 3 | Stadium 4 |
|-------------|------------|--------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1/1         | Stehen     | 131,0  | 0    | 52,5      | 54,4      | 20,0      | 4,0       |
|             | Liegen     | -      | -    | -         | -         | -         | -         |
| 1/2         | Stehen     | 133,5  | 9,0  | 43,5      | 53,0      | 26,0      | 2,0       |
|             | Liegen     | -      | -    | -         | -         | -         | -         |
| 2/1         | Stehen     | 182,5  | 17,0 | 3,5       | 56,5      | 38,5      | 66,5      |
|             | Liegen     | 18,0   | 0,5  | 0,5       | 13,0      | 1,0       | 3,0       |
|             | Brustlage  | 18,0   | 0,5  | 0,5       | 13,0      | 1,0       | 3,0       |
|             | Seitenlage | -      | -    | -         | -         | -         | -         |
| 2/2         | Stehen     | 124,5  | 2,0  | 67,0      | 43,0      | 9,0       | 3,5       |
|             | Liegen     | 27,0   | 2,5  | 8,0       | 8,0       | 3,5       | 5,0       |
|             | Brustlage  | 27,0   | 2,5  | 8,0       | 8,0       | 3,5       | 5,0       |
|             | Seitenlage | -      | -    | -         | -         | -         | -         |
| 3/1         | Stehen     | 52,5   | 0    | 22,5      | 24,5      | 1,5       | 4,0       |
|             | Liegen     | -      | -    | -         | -         | -         | -         |
| 3/2         | Stehen     | 99,5   | 0    | 60,0      | 37,5      | 0,5       | 1,5       |
|             | Liegen     | 30,5   | 0    | 13,5      | 16,5      | 0,5       | 0         |
|             | Brustlage  | 29,0   | 0    | 12,5      | 16,0      | 0,5       | 0         |
|             | Seitenlage | 1,5    | 0    | 1,0       | 0,5       | 0         | 0         |
| 4/1         | Stehen     | 79,0   | 4,5  | 15,0      | 39,0      | 18,0      | 2,5       |
|             | Liegen     | 18,0   | 0    | 6,0       | 6,0       | 4,0       | 2,0       |
|             | Brustlage  | 18,0   | 0    | 6,0       | 6,0       | 4,0       | 2,0       |
|             | Seitenlage | -      | -    | -         | -         | -         | -         |
| 4/2         | Stehen     | 101,5  | 10,0 | 34,5      | 45,5      | 10,0      | 2,0       |
|             | Liegen     | 15,5   | 3,0  | 6,5       | 2,0       | 1,5       | 2,5       |
|             | Brustlage  | 14,5   | 3,0  | 6,0       | 1,5       | 1,5       | 2,5       |
|             | Seitenlage | 1,0    | -    | 0,5       | 0,5       | -         | -         |
| 5/1         | Stehen     | 99,5   | 10,0 | 5,0       | 27,0      | 26,5      | 31,0      |
|             | Liegen     | -      | -    | -         | -         | -         | -         |
| 5/2         | Stehen     | 197,0  | 0,5  | 11,5      | 50,5      | 18,5      | 116,0     |
|             | Liegen     | -      | -    | -         | -         | -         | -         |
| 6/1         | Stehen     | 68,0   | 15,5 | 2,0       | 9,5       | 21,0      | 20,0      |
|             | Liegen     | 51,0   | 0    | 4,5       | 7,5       | 22,5      | 16,5      |
|             | Brustlage  | 45,5   | 0    | 2,5       | 5,5       | 21,0      | 16,5      |
|             | Seitenlage | 5,5    | 0    | 2,0       | 2,0       | 1,5       | 0         |
| 6/2         | Stehen     | 67,0   | 0,5  | 1,0       | 4,0       | 16,5      | 45,0      |
|             | Liegen     | 182,0  | 14,0 | 1,5       | 30,5      | 34,0      | 102,0     |
|             | Brustlage  | 143,0  | 3,0  | 0,5       | 19,0      | 26,0      | 94,5      |
|             | Seitenlage | 39,0   | 11,0 | 1,0       | 11,5      | 8,0       | 7,5       |
| 6/3         | Stehen     | 60,5   | 16,0 | 1,5       | 1,0       | 1,0       | 41,0      |
|             | Liegen     | 26,0   | 0    | 1,5       | 1,0       | 14,5      | 9,0       |
|             | Brustlage  | 25,0   | 0    | 1,5       | 1,0       | 14,5      | 8,0       |
|             | Seitenlage | 1,0    | 0    | 0         | 0         | 0         | 1,0       |
| 6/4         | Stehen     | 31,5   | 0    | 3,0       | 3,0       | 1,5       | 24,0      |
|             | Liegen     | 16,0   | 0    | 0         | 5,5       | 0         | 10,5      |
|             | Brustlage  | 9,5    | 0    | 0         | 0,5       | 0         | 9,0       |
|             | Seitenlage | 6,5    | 0    | 0         | 5,0       | 0         | 1,5       |
| 7/1         | Stehen     | 184,5  | 12,5 | 22,5      | 122,0     | 22,5      | 5,0       |
|             | Liegen     | -      | -    | -         | -         | -         | -         |
| 7/2         | Stehen     | 87,5   | 0    | 59,5      | 18,5      | 9,5       | 0         |
|             | Liegen     | -      | -    | -         | -         | -         | -         |

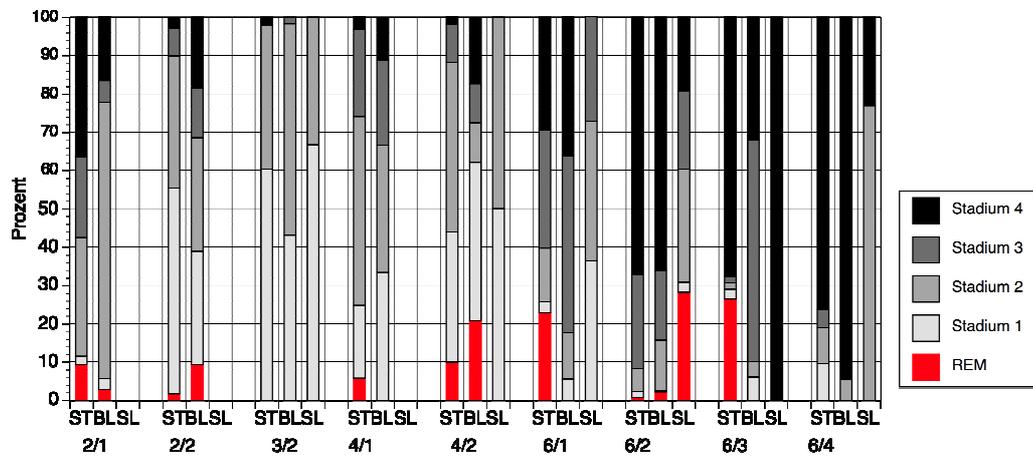


Abbildung 27: Schlafstadien in Abhängigkeit von der Körperposition  
(ST = Stehen, BL = Brustlage, SL = Seitenlage)

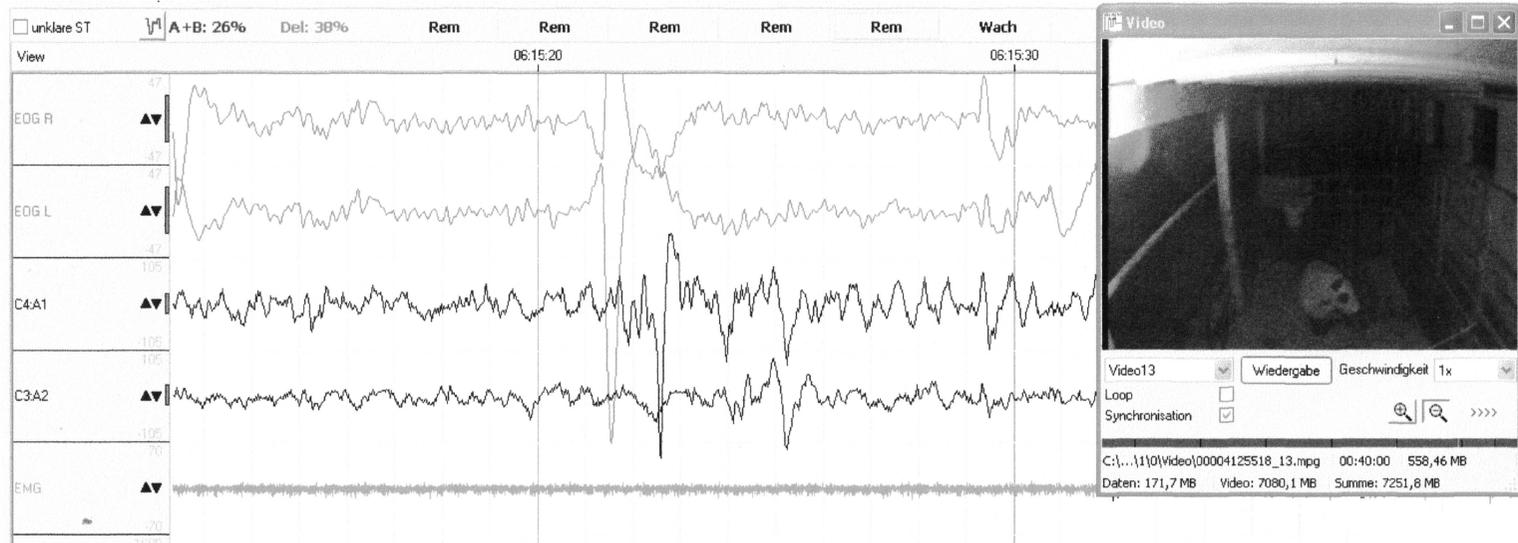


Abbildung 28: REM-Schlaf in Brustlage

Das Pferd (6/2) liegt in rechter sternaler Position, der Kopf wird auf das untergeschlagene linke Bein aufgestützt. Die Aufzeichnung erfolgte unmittelbar vor dem Aufstehen, wie auch aus der Dokumentation der Schlafstadien am oberen Bildrand hervorgeht.

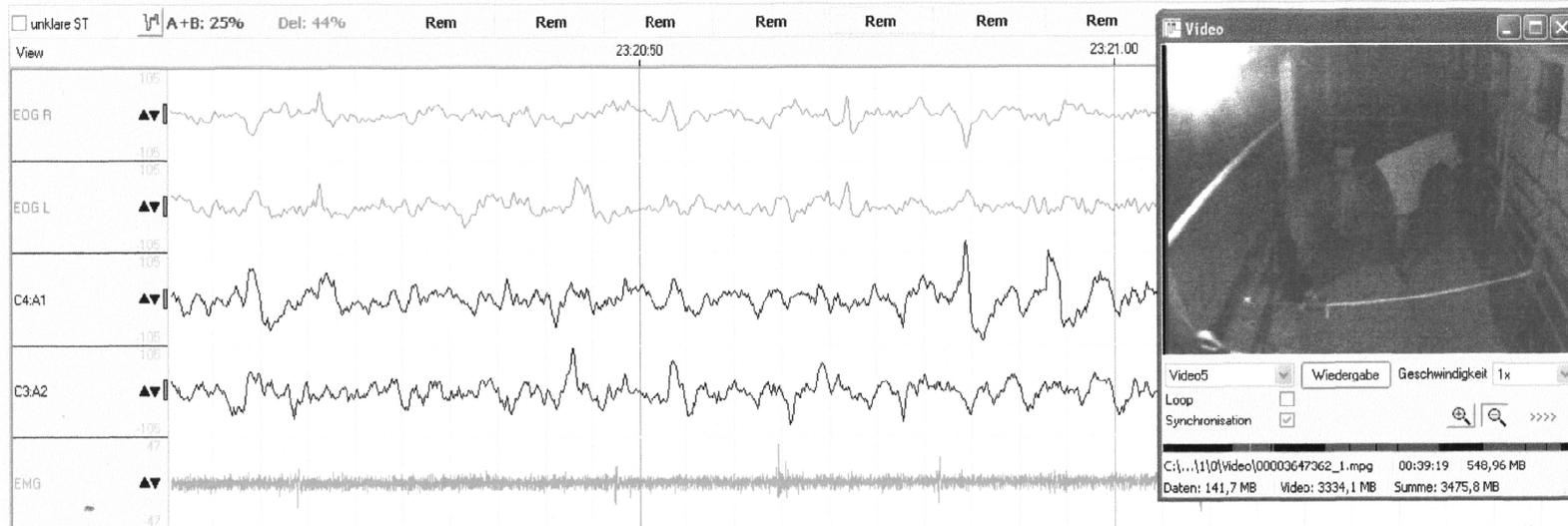


Abbildung 29: REM-Schlaf im Stehen (Pferd 6/3)

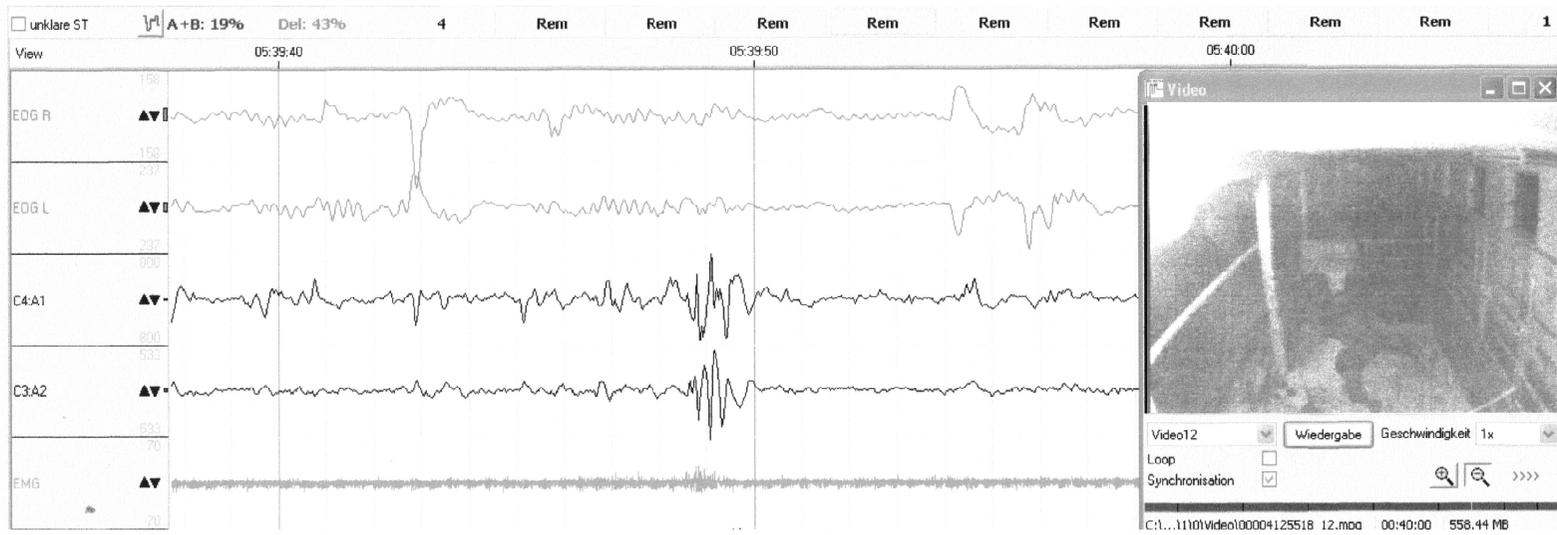


Abbildung 30: REM-Schlaf in rechter Seitenlage (Pferd 6/3)

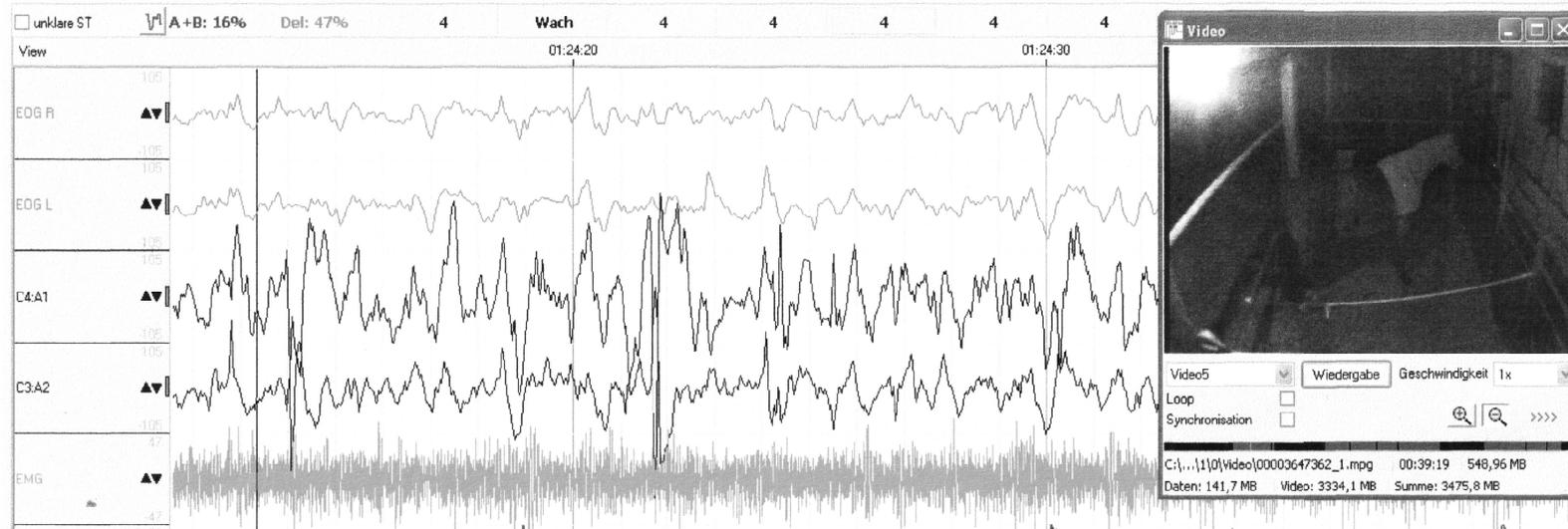


Abbildung 31: Schlafstadium 4 im Stehen (Pferd 6/3)

## **5 Diskussion**

### **5.1 Methodenkritik**

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden EEG, EOG, EMG und EKG bei sieben Pferden über insgesamt 16 Nächte mit dem transportablen Polysomnographiegerät Somnoscreen® (Fa. Somnomedics) registriert und parallel hierzu Videoaufzeichnungen des Pferdeverhaltens angefertigt.

Als Grundvoraussetzung für die Videoaufzeichnungen musste mit Hilfe einer 7-Watt-Birne eine geringe Hintergrundbeleuchtung erzeugt werden. Dieses Dämmerlicht wurde jeweils bereits zwei Nächte vor den beabsichtigten Messungen angebracht, um die Pferde daran zu gewöhnen. Keines der Versuchspferde oder seine Stallgenossen zeigte eine erkennbare Reaktion auf die Beleuchtung, d.h. es wurden weder Verhaltensänderungen in Form von Aufregung oder Unruhe noch Abweichungen im Liegeverhalten der Pferde beobachtet.

Die Messungen mit dem Somnoscreen® erwiesen sich als unproblematisch. Die Dimensionen des kleinen und leichten Gerätes erlauben ein nicht störendes Tragen auch über längere Zeiträume. Das Anbringen des Gerätes selbst und der erforderlichen Messelektroden konnte nach Erlangen einer gewissen Routine innerhalb weniger Minuten erfolgen und wurde von den Pferden ohne äußerlich erkennbare Anzeichen von Aufregung oder Widerstand gut toleriert. Wie die Videoaufnahmen der Pferde belegen, wurden die Pferde im Verlauf der analysierten Nächte durch die Verkabelung sowie das Tragen des Gerätes nicht gestört oder eingeschränkt, und sie konnten sich völlig frei in ihrer gewohnten Box bewegen oder auch hinlegen. Durch eine Decke, die Kopf-, Hals- und Brustbereich umhüllte (Winter-Sleezy, Fa. Nice Horse Tec), war ein sicherer Elektrositz über die gesamte Nachtdauer gewährleistet.

Das Gerät Somnoscreen® selbst war leicht zu bedienen und ermöglichte über die umfangreichen Funktionen der mitgelieferten Software eine problemlose Datenerfassung und –auswertung. Da das Gerät für die Anwendung beim Menschen konzipiert ist, wurden allerdings zahlreiche Funktionen nicht verwendet, wie beispielsweise die Aufzeichnungen von Schnarchen, Apnoezuständen usw.

Auch waren die vom Gerät ermittelten Körperpositionen des Probanden durch die vollkommen unterschiedliche Anatomie von Mensch und Pferd naturgemäß nicht verwendbar. Hier erwiesen sich die parallel durchgeführten Videoaufzeichnungen als sehr hilfreich, die synchron zu den Ableitungen auf dem Monitor abgespielt werden konnten. Hierdurch war die manuelle Erfassung der Schlafposition im Zusammenhang mit den polysomnographischen Aufzeichnungen leicht möglich.

Für die Zuordnung beim Pferd vorkommender Schlafstadien fehlen Referenzwerte, und daher wurden die für Menschen vorgesehenen Einstellungen verwendet. Das Gerät gibt bei der Einteilung in Schlafstadien jeweils eine Treffsicherheit in drei Kategorien an: 0-40%, 40-70% und 70-100% an. Für die Sicherheit der Schlafstadienzuordnung des Pferdes wurde in der vorliegenden Untersuchung niemals die Sicherheitsstufe über 70% vergeben, so dass die hier vorgenommene Auswertung der Schlafstadien immer mit einem gewissen Risiko behaftet ist. Laut entsprechenden Musteraufzeichnungen des Geräteherstellers gilt dies allerdings auch für polysomnographische Untersuchungen beim Menschen.

Da die vorliegende Untersuchung explorativen Charakter hat, war die Fallzahl von 7 Pferden beziehungsweise 16 Nächten recht klein und der Stichprobenumfang reichte nicht aus, um die Ergebnisse statistisch zu testen. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte daher v.a. mit Methoden der deskriptiven Statistik.

## **5.2 Gesamtschlafzeit**

Die nächtliche Gesamtschlafzeit der Pferde war sehr variabel und reichte von 47,0 min bis 249 min pro Nacht bei einer mittleren Dauer von etwa 2 Stunden ( $130,2 \pm 53,6$  min). Bezogen auf die gesamte nächtliche Beobachtungsdauer pro Pferd betrug der prozentuale Anteil der Schlafzeit  $26,1 \pm 9,9\%$  bei einer Spannweite der Werte (sowohl für die Gesamtgruppe als gleichzeitig auch für ein Einzelferd) 9,8% bis 49,0%. Ein direkter Vergleich dieser Zeitangaben mit Referenzwerten aus der Literatur ist nicht möglich, da diese überwiegend auf Verhaltensbeobachtungen über jeweils 24 Stunden beruhen. Dennoch besteht

eine sehr gute Übereinstimmung beispielsweise mit einer Studie über Araber-  
pferde, die eine durchschnittliche Ruhezeit von 23-36% eines 24-Stunden-  
Tages ermittelte (KUHNE, 2003). Auch KUHNE fiel die große individuelle  
Schwankungsbreite der Schlaf-/Ruhezeit auf: bei ihren Probanden ruhte ein  
einzelnes Pferd zwischen 15% und 55% innerhalb von 24 Stunden. ZEITLER-  
FEICHT (2001b) spricht allgemein von einer sieben- bis neunstündigen Ge-  
samtruhezeit der Pferde (entsprechend 29-38%) pro 24 Stunden.

### **5.3 Schlafstadien**

Die Einteilung des Schlafes bei Pferden in unterschiedliche Stadien auf Grund  
der hier durchgeführten polysomnographischen Untersuchungen ist vor dem  
Hintergrund der methodischen Problematik (vgl. Kap. 4.3.1 und 5.1) vorsichtig  
zu beurteilen, da das Gerät Somnoscreen® für die Anwendung beim Menschen  
konzipiert wurde. Jedoch folgt auch die Stadieneinteilung des menschlichen  
Schlafes beim Menschen eher einem zeitlichen Ablauf in der Intensität der beo-  
bachteten elektrophysiologischen Phänomene und nicht streng festgelegten  
Kategorien (BORBÉLY, 1998), so dass sie teilweise zufälligen Charakter hat  
(LIMA et al., 2005). Dennoch geben die hier erhobenen Befunde tendenziell  
einen guten Überblick über die beim ruhenden und schlafenden Pferd auftre-  
tenden, polysomnographisch zu ermittelnden Abläufe.

Einige Studien unterscheiden beim Pferd vier Basiszustände: das Wachsein  
(Wakefulness), die Schläfrigkeit (Drowsiness) und als reine Schlafzustände den  
sogenannten Slow Wave Sleep (SWS) und den Paradoxical Sleep (PS)  
(HOUPPT, 1980; LIMA et al., 2005; RATTENBORG, 2006; WILLIAMS et al.,  
2008). Bei Mensch und Pferd entspricht der Paradoxical Sleep dem REM-  
Schlaf, der sich durch eine vollständige Muskelrelaxation auszeichnet und da-  
her von HOUPPT (1980) auch „Schlaf des Körpers“ genannt wird. Der sehr ge-  
ringe Muskeltonus in dieser Phase ist bei beiden Spezies im EMG an dem  
gleichmäßigen Verlauf mit niedrigen Amplituden erkennbar. Die parallel auftre-  
tenden raschen Augenbewegungen weisen den PS als REM-Schlaf aus (LIMA  
et al., 2005). Auch in der vorliegenden Untersuchung konnten die elektrophysio-  
logischen Charakteristika des REM-Schlafes mittels Somno-screen® bei fünf

von sieben Pferden (71,4%) beziehungsweise 8 von 14 Nächten (57,1%) nachgewiesen und dokumentiert werden.

Dagegen bezeichnet der Begriff Slow Wave Sleep beim Menschen nur die tiefen Schlafstadien 3 und 4, während derer im EEG niederfrequente Wellen mit hohen Amplituden erkennbar sind. Abweichend hiervon werden beim Tier im Allgemeinen alle Non-REM-Schlafereignisse als SWS-Schlaf benannt (LIMA et al., 2005). Allerdings deuten Studienergebnisse darauf hin, dass auch beim tierischen Organismus innerhalb des SWS-Schlafes Unterkategorien bezüglich der Schlaftiefe beziehungsweise der elektrophysiologischen Befunde vorhanden sein können. Beispielsweise wurden bei der Ratte zwei unterschiedliche SWS-Schlafstadien gefunden, von denen eines einen tieferen Schlaf als das andere aufwies (NECKELMANN und URSIN, 1993).

Auch in der vorliegenden Untersuchung beim Pferd wurden mit Hilfe der Polysomnographie neben dem REM-Schlaf weitere Schlafstadien innerhalb des Non-REM-Schlafes nachgewiesen. Die Charakteristika der menschlichen Stadien 1 und 2 waren bei den Pferden 1, 2, 4 und 7 in mehr als der Hälfte ihrer Gesamtschlafzeit vorhanden.

Zwar ordnete der Somnoscreen® die erfassten Parameter definitiv einem dieser beiden Stadien zu, jedoch erwies es sich bei der Durchsicht der Aufzeichnungen als sehr schwierig, ohne Zuhilfenahme der automatischen Kategorisierung eindeutig zwischen Stadium 1 und 2 zu unterscheiden: Beim Menschen ist das Stadium 1 durch eine gemischtfrequente EEG-Aktivität, langsame Augenbewegungen und ein EMG mit wechselndem Tonus und einer noch hohen Amplitude gekennzeichnet. In Stadium 2 treten im EEG zusätzlich Schlafspindeln und K-Komplexe auf, die EMG-Amplitude nimmt ab und das EOG zeigt keine Augenbewegungen mehr an (RECHTSCHAFFEN und KALES, 1968). Beim Pferd waren abweichend hiervon in als Stadium 1 bezeichneten Abschnitten auch K-Komplexe erkennbar und in Stadium 2 traten kleine regelmäßige Augenbewegungen bei noch recht hohem Muskeltonus auf. Möglicherweise sind die Unterschiede der Schlafstadien 1 und 2 beim Pferd zu gering, um von schlafphysiologischer Relevanz zu sein, und es könnte sich als sinnvoll erweisen, Befunde mit mischfrequentem EEG niedriger Amplitude, gelegentlichen K-Komplexen und kleinen Augenbewegungen einem einheitlichen „Leichtschlaf-

stadium“ zuzuordnen. Auch die Verhaltensbeobachtungen deuten auf eine einheitliche Phase leichten Schlafes hin: unabhängig von der Körperhaltung (stehen oder liegen) zeigten die Pferde eine tendenziell ruhige Körperhaltung, eine geschilderte Hintergliedmaße, einen entspannten, teilweise auch hängenden Kopf, ein gelegentliches Ohrenspiel und den als „Dösgesicht“ bekannten Gesichtsausdruck. Die hier gemachten Beobachtungen entsprechen den Ergebnissen von DALLAIRE und RUCKEBUSCH (1974a), die auf Grund ihrer elektrophysiologischen und Verhaltensuntersuchungen ein Stadium der „drowsiness“ von SWS und PS unterscheiden. Gleiches gilt für die Untersuchung von WILLIAMS et al. (2008).

Die beim Menschen abgrenzbaren Schlafstadien 3 und 4 ließen sich dagegen auch beim Pferd recht gut darstellen und voneinander abgrenzen. Analog zum Menschen wies auch das EEG des Pferdes in beiden Stadien einen hohen Anteil an Delta-Wellen mit einer Frequenz über 75  $\mu$ V auf. Stadium 4 war darüber hinaus durch ein EMG mit einer sehr geringen Amplitude gekennzeichnet. Jedoch auch hier bestand wenig Übereinstimmung der EOG-Befunde von Mensch und Pferd. Während beim Menschen in beiden Stadien keine Augenbewegungen erkennbar sind (RECHTSCHAFFEN und KALES, 1968), traten beim Pferd regelmäßige Augenbewegungen auf, die in Stadium 4 teilweise sogar heftiger ausfielen als in Stadium 3. Diese Beobachtungen sprechen gegen die Hypothese von HOUPPT (1980), die den Slow Wave Sleep als „Schlaf des Geistes“ bezeichnet. Die Charakteristika der Stadien 3 und 4 trafen bei den Pferden 2, 5 und 6 auf über 50% deren Gesamtschlafzeit zu. Besonders auffällig war die große interindividuelle Schwankungsbreite der Dauer von Schlafstadium 4: Der prozentuale Anteil an der Gesamtschlafzeit betrug hier 0 bis 72,6%.

Die Funktion der unterschiedlichen Schlafstadien ist noch nicht geklärt. Speziell zum Schlaf des Pferdes sind noch zahlreiche Fragen offen, die vor dem Hintergrund gesehen werden müssen, dass das Pferd unter natürlichen Bedingungen ein Fluchttier ist. Der Schlaf sollte also einerseits der Erholung der Tiere dienen, darf aber andererseits nicht zu einer übermäßigen Vulnerabilität führen, um das Überleben nicht zu gefährden (LIMA et al., 2005) (vgl. hierzu auch die Ausführungen in Kap. 2.3). Im Zusammenhang mit der Schlafragmentierung und der

Körperhaltung während der einzelnen Schlafstadien wird dieses Problem näher beleuchtet.

#### **5.4 Schlaffragmentierung**

Nach einer Hypothese von LIMA et al. (2005) ist es für das Fluchttier Pferd sicherer, den Tiefschlaf zu einzelnen kurzen Blöcken zusammenzufassen und den Rest der Zeit wach bzw. nur im Leichtschlaf und reaktionsbereit zu sein. LIMA et al. (2005) sehen den „Blackout-Schlaf“ als den besten Weg für das Gehirn an, um durch ein Abschalten („off-line time“) die Regeneration und Wahrung seiner Funktion zu verwirklichen und gehen hiermit mit zahlreichen anderen Autoren konform, die als Hauptaufgabe des Schlafes eine restorative Funktion ansehen (DEMENT, 1976; RECHTSCHAFFEN et al., 1983; RECHTSCHAFFEN, 1998; SIEGEL, 2003; STAEDT, 2005).

Vor dem Hintergrund der Bedrohung durch Fressfeinde ist es verständlich, dass das Pferd – anders als der Mensch – kein monophasisches Schlafmuster haben kann. Auch im Rahmen von Verhaltensbeobachtungen wird übereinstimmend berichtet, dass beim Pferd ein polyphasisches Schlafmuster besteht, d.h. Pferde wechseln sowohl während des Tages als auch während der Nacht mehrfach zwischen Ruheperioden und Aktivitätsphasen (ZEITLER-FEICHT, 2001b).

Die hier – zumindest für die Nacht – erhobenen polysomnographischen Befunde bestätigen das polyphasische Schlafmuster. Große Blöcke der Wachheit und Bewegung alternierten mit Schlafphasen. Jedoch war ein speziesspezifisches Muster nicht auszumachen: die Dauer der Phasen schwankte sowohl von Pferd zu Pferd als auch von Nacht zu Nacht deutlich. Überraschend war der häufige und schnelle Schlafstadienwechsel innerhalb der einzelnen Schlafphasen, der teilweise im „Minutentakt“ erfolgte. Es wurden durchschnittlich  $33.5 \pm 5,6$  Stadienwechsel/Stunde bei einer Spannweite der Werte von 22,0 bis 48,0 beobachtet, wobei neben dem REM-Schlaf alle vier der beim Menschen bekannten Non-REM-Stadien in unregelmäßiger Folge aufgezeichnet wurden.

Ein REM-Schlaf wurde in der vorliegenden Untersuchung nur bei 5 von 7 Pferden (71,4%) beziehungsweise 11 von 16 Nächten (68,8%) beobachtet, und die Dauer des REM-Schlafs reichte von 0 bis 17,5 min/Nacht, bei einem Mittel von  $7,3 \pm 6,6$  min. Bezogen auf die Gesamtschlafzeit nahm der REM-Schlaf im Mittel  $5,5 \pm 5,5\%$  (0-18,5%) ein. WILLIAMS et al. (2008) ermittelten bei ihren elektrophysiologischen Untersuchungen an fünf Pferden prozentuale Anteil des REM-Schlafs zwischen etwa 12 und 22%.

Auf Grund der geringen Fallzahl sowohl an Pferden als auch an Nächten sowie der begrenzten Aufzeichnungsdauer nur während der Nacht lässt sich aus den hier erhobenen Befunden nicht schlussfolgern, das bei einigen Pferden generell kein REM-Schlaf vorkommt. Geht man von der Hypothese aus, dass alle Schlafstadien für ein dauerhaftes Überleben erforderlich sind (LIMA et al., 2005), ist es vielmehr wahrscheinlich, dass bei den Pferden „ohne“ REM-Schlaf dieser im Lauf des Tages erfolgte oder vielleicht auch nicht zwingend täglich erzielt werden muss. Jedenfalls widersprechen die eigenen Ergebnisse den Beobachtungen von HOUPPT (1980), die bei Pferden regelmäßige Schlafzyklen erkannte: Schlafzyklen von jeweils 5 Minuten SWS, fünf Minuten PS und weiteren Minuten SWS soll eine etwa 45minütige Wachphase folgen, bevor ein neuer Schlafzyklus einsetzt. Die Dauer eines Schlafzyklus, d.h. die Zeit zwischen zwei REM-Perioden, wurde von DALLAIRE und RUCKEBUSCH (1974b) mit durchschnittlich 13,5 Minuten angegeben.

Auch kann die Beobachtung von SCHÄFER (1993) nicht bestätigt werden, derzufolge Pferde täglich eine einstündige Tiefschlafphase durchlaufen, die meist zwischen 0:00 Uhr und Sonnenaufgang (SCHÄFER, 1993) liegt. Sieht man als Tiefschlaf das elektrophysiologisch nachweisbare Stadium 4 an, so reichte die Schlafdauer der hier untersuchten Pferde im Stadium 4 von 0 bis 147 min bei einem Mittelwert von  $32,4 \pm 42,8$  min. Dies entspricht 23,4% (0-72,6%) der gesamten nächtlichen Beobachtungsdauer. Auch kann man die im Stadium 4 verbrachte Zeit – wie auch die übrigen Stadien – nicht einem durchgehenden zeitlichen Block zuordnen, sondern sie sind in zahlreiche, kurze Phasen fragmentiert. Nach DALLAIRE und RUCKEBUSCH (1974b) soll jedes Pferd einen eigenen Schlaf-Wach-Rhythmus besitzen, der geringere Variationen aufweist als die interindividuellen Unterschiede zu den Haltungsverfährten. Auch

dieser These kann auf Grund der eigenen Ergebnisse nicht uneingeschränkt zugestimmt werden. Zwar lagen hier lediglich von einem Pferd die Ergebnisse von vier Nächten vor, jedoch ist aus der Schlaffragmentierung kein einheitliches Schlafmuster für dieses Einzelpferd erkennbar, sondern es weist im Gegenteil auch in zahlreichen Parametern die Minimal- und Maximalwerte der Gesamtgruppe auf.

Es sind also weitergehende Untersuchungen notwendig, bei denen Polysomnogramme bei einer größeren Pferdezahl über jeweils 24 Stunden erfasst werden, um die Frage nach der individuellen Schlaffragmentierung klären zu können. Einen möglichen Ansatzpunkt für solche weiterführenden Analysen lieferte in der vorliegenden Arbeit die Untersuchung eines vermuteten Zusammenhangs zwischen dem Lebensalter der Tiere und der Schlaffragmentierung. Zwar ließ sich anhand des eigenen Datenmaterials keine Korrelation zwischen dem Lebensalter einerseits und der Schlaffragmentierung, der Gesamtschlafdauer und der Häufigkeit von Schlafstadienwechseln andererseits nachweisen, jedoch zeigte sich tendenziell, dass mit zunehmendem Lebensalter der Anteil der tieferen Schlafstadien 3 und 4 zunimmt, der Anteil der leichteren Schlafstadien 1 und 2 sowie des REM-Schlafes dagegen abnimmt. Eine der denkbaren Ursachen für eine postulierte Schlafvertiefung bei älteren Pferden wäre beispielsweise ein durch positive Erfahrungen geprägtes größeres Empfinden von Sicherheit in der vertrauten Umgebung bzw. unter der Obhut der vertrauten Bezugspersonen.

## **5.5 Körperposition**

Seit langem werden die Vor- und Nachteile einzelner Haltungsformen für Pferde kontrovers diskutiert. Dabei wird immer wieder die Bedeutung des Liegens betont, welches quasi als Leitcharakteristikum für eine Entspannung der Pferde angesehen wird. Freilebende Pferde im Herdenverband legen sich nur hin, wenn ein oder mehrere Gefährten die Herde bewachen, und niemals befinden sich alle Tiere in einer Herde gleichzeitig im Tiefschlaf (SCHÄFER, 1978; ZEEB

und SCHNITZER, 1979; PIRKELMANN, 1991; POLLMANN, 1999). Es wird daher gefolgert, dass es für Stallpferde in Einzelhaltung ohne Geruchs-, Hör- und Sichtkontakt zu anderen Pferden nicht möglich ist, vollständig zu entspannen und zu regenerieren (SCHÄFER, 1991). Die demgegenüber propagierte Gruppenauslaufhaltung birgt aber die Gefahr, durch falsche Flächengestaltung und Platzmangel unvermeidbare Unterschreitungen der Individualdistanz und folglich Auseinandersetzungen zwischen den Pferden zu provozieren. Hieraus fehlt besonders rangniederen Tieren die Möglichkeit zum ungestörten Ausruhen (PIRKELMANN, 1991; GRAUVOGL, 1996; ZEEB und POLLMANN, 1996). Die Richtigkeit dieser Aussage wird indirekt dadurch gestützt, dass die Einrichtung geschützter Bereiche durch Sichtschutz und Laufbarrieren zu Verlängerungen der Liegezeiten führt (POLLMANN, 1999).

In der vorliegenden Untersuchung befanden sich die Pferde zwar des Nachts in Einzelhaltung, ein Sicht-, Hör- und Geruchskontakt war ihnen aber jederzeit möglich. Dennoch zeigte sich, dass sich zwei von sieben Pferden während der nächtlichen Beobachtungsdauer niemals legten und weitere zwei Pferde nie eine entspannte Seitenlage einnahmen. Dass einzeln gehaltene Pferde sich gar nicht legen, beobachtete auch HOUPPT (2001) und begründet dies mit einem zu geringen Platzangebot.

Die Liegedauer der hier untersuchten Pferde war sehr unterschiedlich und reichte von 0-195 min (0-38,4% der Nachtlänge). Sie betrug im Mittel  $34,5 \pm 41,5$  min ( $11,4 \pm 10,0\%$ ), verteilt auf 1-3 Liegephasen. Diese Angaben sind wiederum schlecht mit Literaturangaben vergleichbar, die sich auf Verhaltensbeobachtungen über jeweils 24 Stunden beziehen. Jedoch fallen die hier ermittelten Liegezeiten trotz der reduzierten Beobachtungsdauer teilweise deutlich länger aus. Allgemein werden für Pferde etwa ein bis zwei Stunden tägliches Liegen angegeben (LITTLEJOHN und MUNRO, 1972; ARNOLD, 1984/85; BOYD, 1988). Bei Arabern in ganzjähriger Weidehaltung zeigte sich, dass die Pferde zwischen 1 und 6% ihrer Zeit im Liegen verbrachten (KUHNE, 2003). Über die Gründe für diese Diskrepanzen kann nur spekuliert werden: möglicherweise bot die hier praktizierte Form der Einzelhaltung mit Kontaktmöglichkeiten den Pferden ausreichend Sicherheit, um sich legen zu können. Allerdings nahmen nur 5 von 7 Pferden in der vorliegenden Untersuchung eine Lie-

geposition ein. In der Studie von WILLIAMS et al. (2008) legte sich ebenfalls eines von fünf untersuchten Pferden im Untersuchungszeitraum nicht hin. Die Liegezeiten der übrigen vier Pferde war sehr unterschiedlich und reichte von etwa 2 min bis 1 Stunde pro Nacht.

Das Liegen wird generell als Voraussetzung für eine Entspannung angesehen und eine enge Beziehung zum Schlaf hergestellt. Man unterscheidet prinzipiell zwischen Brust- und Bauchlagen (LITTLEJOHN und MUNRO, 1972), die mit einer unterschiedlichen Schlaftiefe assoziiert sein sollen. So setzte beispielsweise HOUPPT (1980) den Slow wave sleep mit dem Schlummern oder einem „leichten Schlaf in Kauerstellung“ gleich. Aus diesem leichten Schlaf erwachen die Pferde rasch und können sich wegen der unter dem Körper versammelten Gliedmaßen schnell erheben (SCHÄFER, 1978). In diesem Schlafstadium besteht eine leichte Weckbarkeit und bei weitgehender Ruhe des Gehirns befindet sich die Muskulatur noch in Aktivität (VON BUTLER-WEMKEN, 2003). Ein Tiefschlaf soll dagegen nur in der Seitenlage möglich sein (DALLAIRE und RUCKEBUSCH, 1974a; HOUPPT, 1980; CARSON und WOOD-GUSH, 1983). Allerdings sprechen DALLAIRE UND RUCKEBUSCH (1974b) auch davon, dass bei den von ihnen beobachteten Pferden der Tiefschlaf in den frühen Nachtstunden von 20.00 bis 24.00 Uhr in der Sternallage stattfand, dagegen in der Zeit von 24.00 bis 8.00 Uhr vor allem in der Seitenlage.

In der vorliegenden Untersuchung nahmen lediglich drei Pferde während ihrer Liegephasen auch die Seitenlage ein. Dauerte die Liegephase 30 Minuten und länger, wurde dabei mehrmals zwischen Brust- und Seitenlage gewechselt, so dass die Seitenlage nie länger als 10 Minuten gehalten wurde. Dem entsprechen die Beobachtungen anderer Autoren, nach denen Pferde selten länger als 30 Minuten in der Seitenlage verbringen (CARSON und WOOD-GUSH, 1983; IHLE, 1984). In der Untersuchung von WILLIAMS et al. (2008) nahmen die fünf teilnehmenden Pferde sogar zu keinem Zeitpunkt die Seitenlage ein. Die Autoren begründeten dies damit, dass die Pferde für die Dauer der EEG-Aufzeichnungen von der gewohnten Weide in einen ihnen fremden Stall verbracht wurden, und dass die von den Untersuchern gewählte Anpassungsperiode von fünf Nächten wohl nicht ausreichend war.

Es stellt sich die Frage, ob die Pferde, die sich nicht legten, und auch die Pferde, die keine Seitenlage zeigten, trotzdem Entspannung fanden. Mit Hilfe der Polysomnographie zeigten sich in der vorliegenden Untersuchung auffallend wenig Übereinstimmungen zwischen den äußerlich erkennbaren Ruhezeiten und den elektrophysiologisch nachweisbaren Gehirn- und Muskelaktivitäten.

Innerhalb der Schlafstadien herrscht in der REM-Phase ein sehr geringer Muskeltonus, so dass hier von einer Muskelrelaxation ausgegangen werden kann. Auf Grund der hohen Frequenzen und der niedrigen Amplituden im EOG bestehen aber auch Ähnlichkeiten zu den Stadien 1 und 2 des leichten Schlafes, d.h. dass das schlafende Pferd auch im REM-Schlaf leicht weckbar ist und schnell auf Gefahrensituationen reagieren kann. In der vorliegenden Untersuchung konnte mit Hilfe der polysomnographischen Aufzeichnungen dokumentiert werden, dass ein dem Menschen ähnlicher REM-Schlaf nicht nur bei in entspannter Laterallage liegenden Pferden, sondern auch in der Brustlage und möglicherweise sogar in stehender Position vorkommt. Auch WILLIAMS et al. (2008) beobachteten einen REM-Schlaf bei stehenden Pferden. In den hier durchgeführten Aufzeichnungen durch das Somnoscreen fehlten beim REM-Schlaf im Stehen allerdings die charakteristischen EOG-Schwankungen, so dass anhand der eigenen Ergebnisse nicht mit letzter Sicherheit auf das Vorkommen eines REM-Schlafes im Stehen rückgeschlossen werden kann.

Der REM-Schlaf im Stehen ist beim Pferd aber prinzipiell möglich, da der Spannsägenmechanismus von Ellbogen- und Kniegelenken auch bei ausgeschaltetem Bewusstsein ein Umfallen verhindert und außerdem eine sehr kräfteschonende Methode darstellt (LEBELT, 1998). So kann der Körper sowohl passiv ohne willkürliche Anstrengung getragen werden als auch aus dem Schlafzustand in eine rasche Flucht überwechseln.

Zusätzlich scheint der „Schlaf des Geistes“ (HOUP, 1980) nicht, wie bisher angenommen, auf eine Seitenlage angewiesen zu sein. WILLIAMS et al. (2008) wiesen in ihren elektrophysiologischen Untersuchungen einen tiefen Slow Wave Sleep auch bei stehenden Pferden fest. Auch in der vorliegenden Untersuchung zeigte sich sehr häufig, dass das tiefste Schlafstadium 4 ebenfalls bei stehenden Pferden vorkommt. Dies bedeutet, dass selbst wenn als Folge des

tiefen Schlafes eine verlangsamte Wachreaktion zu erwarten ist, sich die Pferde im Stehen zumindest bereits in einer fluchtbereiten Körperposition befinden.

Die hier erhobenen Befunde belegen eindrucksvoll, dass Verhaltensbeobachtungen nicht ausreichen, um das Schlafverhalten von Pferden eindeutig charakterisieren und interpretieren zu können. Weiterhin deuten sie darauf hin, dass sowohl in der Einzelhaltung – ohne an dieser Stelle ein Plädoyer für diese sicher nicht artgemäße Haltungsform halten zu wollen – als auch bei fehlendem Liegeverhalten Pferde zu einer Entspannung im Tiefschlaf finden können. Vertiefende Untersuchungen zu diesem Themenkomplex erscheinen sehr wünschenswert, zumal sich aus den eigenen Ergebnissen weitere interessante Fragestellungen ergeben. Beispielsweise könnte man der Frage nachgehen, welche Faktoren letztendlich das Schlaf- und Ruheverhalten der Pferde beeinflussen. Denn während beispielsweise in der vorliegenden Untersuchung das Pferd Nr. 3 während der Somnographie ausschließlich einen leichten Schlaf der Stadien 1 und 2 und kein Hinlegen zeigte, imponierte das Pferd Nr. 6 durch sehr lange, ausgedehnte Tiefschlafphasen und Liegezeiten, die bei freilebenden Pferden vermutlich nicht in dieser Ausprägung vorkommen. Zwar ist bekannt, dass Alter, Geschlecht, Rangposition, Gewicht, Fütterung, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Temperatur oder vermeintliche und reale Bedrohungen usw. das Ruheverhalten von Pferden beeinflussen. Jedoch wurden solche und ähnliche Parameter bisher fast ausschließlich durch Verhaltensbeobachtungen gestützt, die anscheinend wenig Rückschlüsse auf die tatsächlichen Körperreaktionen erlauben. Mit der Hilfe tragbarer Polysomnographen könnten tiefergehende Analysen der tatsächlich stattfindenden Körperreaktionen möglich sein.

## 6 Zusammenfassung

In einer Orientierungsstudie wurden erstmals an sieben Pferden über insgesamt 16 Nächte (6 Pferde: 2 Nächte, 1 Pferd: 4 Nächte) mit Hilfe eines transportablen Polysomnographiegerätes (Somnoscreen®, Fa. Somnomedics) Schlafanalysen durchgeführt. Die Pferde wurden in Einzelhaltung mit der Möglichkeit zu Hör-, Sicht- und Geruchskontakt und tagsüber Weidegang gehalten.

Es ließen sich die beim Menschen vorhandenen Schlafstadien (REM-Schlaf und Non-REM-Schlaf 1-4) prinzipiell auch beim Pferd nachweisen, wobei eine scharfe Trennung zwischen Stadium 1 und 2 nicht immer sicher war. In den Stadien 3 und 4 waren abweichend zum Menschen auch Augenbewegungen erkennbar.

Ein bestimmtes spezies- oder individualtypisches Muster der Schlaffragmentierung bestand nicht. Auch waren keine regelmäßigen Schlafzyklen erkennbar. Ein REM-Schlaf trat nur bei 5 von 7 Pferden (71,4%) bzw. 11 von 16 Nächten (68,8%) während der nächtlichen Beobachtungsdauer auf; er nahm durchschnittlich  $7,3 \pm 6,6$  min/Nacht in Anspruch. Vier Pferde verbrachten über 50% ihrer Gesamtschlafzeit in den tieferen Schlafstadien 3 und 4, die übrigen drei Pferde über 50% in den leichteren Stadien 1 und 2. Die im Tiefschlaf (Stadium 4) verbrachte Zeit reichte von 0-72,6% der Gesamtschlafzeit.

Zwei von sieben Pferden (28,6%) legten sich während der Beobachtungsdauer niemals hin. Die durchschnittliche Liegezeit der übrigen fünf Pferde betrug  $34,5 \pm 41,5$  min, verteilt auf 1-3 Liegephasen. Eine Seitenlage wurde nur von drei Pferden während ihrer Liegephasen über maximal 10 min eingenommen. Ein Tiefschlaf des Stadiums 4 und (trotz untypischer EOG-Zeichen) vermutlich auch ein REM-Schlaf traten nicht nur in der Seitenlage, sondern auch in der Brustlage und im Stehen auf. Dies bedeutet, dass auch Pferde, die sich nicht legen, einen Zustand völliger Entspannung erreichen können und dass dies auch für Pferde unter den hier gewählten Bedingungen der Einzelhaltung möglich ist.

Die Ergebnisse belegen, dass Verhaltensbeobachtungen nicht ausreichend sind, um den Schlaf von Pferden analysieren zu können.

## **Summary**

### **Polysomnographic examination to the sleep behavior of the horse**

For the first time in an orientation study sleep analyses were carried out on seven horses over a total of 16 nights (6 horses: 2 nights, 1 horse: 4 nights) using a portable polysomnography device (Somnoscreen®, from the company Somnomedics). The horses were kept individually with the possibility of contact through hearing, sight and smell and with grazing available during the day.

The sleep stages which exist for humans (REM sleep and non-REM sleep 1-4) were in principle also able to be detected in the horses, although a clear separation between stage 1 and 2 was not always certain. Unlike in humans, eye movements were also able to be detected in stages 3 and 4.

There was no definite pattern for sleep fragmentation typical of the species or individual. It was also not possible to detect any regular sleep cycles. REM sleep occurred only in 5 out of 7 horses (71.4%) and 11 out of 16 nights (68.8%) during the nightly observation period; it lasted on average  $7.3 \pm 6.6$  min/night. Four horses spent more than 50% of their total sleeping time in the deeper sleep stages 3 and 4, while the other three horses spent more than 50% in the lighter stages 1 and 2. The time spent in deep sleep (stage 4) ranged from 0-72.6% of the total sleeping time.

Two out of seven horses (28.6%) never lay down during the observation period. The average lie-down time of the other five horses was  $34.5 \pm 41.5$  min, split between 1-3 lie-down phases. A side position was assumed for at most 10 min only by three horses during their lie-down phases. Stage 4 deep sleep and (despite atypical EOG signs) presumably also REM sleep occurred not only in the side position but also in the chest position and while standing. This means that even horses which do not lie down can achieve a state of complete relaxation and that this is possible even for horses under the conditions of being kept individually as selected here.

The results show that behavioural observations are not sufficient in order to be able to analyse the sleep of horses.

## 7 Literaturverzeichnis

- ACHERMANN, P., BORBÉLY, A. A. (1995): Konzepte und Modelle der Schlafregulation. *Wien Med Wochenschr* 145, 402-406.
- ALLISON, T., VAN TWYVER, H. (1970): The evolution of sleep. *Nat Hist* 79, 56-65.
- AMLANER, C. J., BALL, N. J. (1994): Avian sleep. In: KRYGER, M. H., ROTH, R., DEPENT, W. C. (Hrsg.): *Principles and practice of sleep medicine*. 2. Aufl.; 81-94. Philadelphia: Saunders.
- ANDERSON, J. (1998): Sleep, sleeping sites and sleep-related activities: Awakening to their significance. *Am J Primatol* 46, 63-75.
- ARNOLD, W. (1984/85): Comparison of time budgets and circadian pattern of maintenance activities in sheep, cattle and horses grouped together. *Appl Anim Behav Sci* 13, 19-30.
- ARNOLD, W. (1988): Social thermoregulation during hibernation in alpine marmots (*Marmota marmota*). *J Comp Physiol* 158, 151-156.
- ASERINSKY, E., KLEITMAN, N. (1953): Regularly occurring periods of eye motility and concomitant phenomena during sleep. *Science* 118, 273-274.
- BAKKEN, G. S. (1992): Measurement and application of operative and standard operative temperatures in biology. *Am Zool* 32, 194-216.
- BEAUCHAMP, G. (1999): The evolution of communal roosting in birds: origin and secondary losses. *Behav Ecol* 10, 675-687.
- BERGAMASCO, L., MACCHI, E., FACELLO, C., BADINO, P., ODORE, R., RE, G., OSELLA, M. C. (2006): Electroencephalographic power spectral analysis of growing goat kids (*Capra hircus*). *Small Rum Res* 66, 265-272.
- BERGER, H. (1929): Über das Elektroencephalogramm des Menschen. *Arch Psychiat Nervenkrh* 87, 527-570.
- BMELV. (2009): Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierchutzgesichtspunkten. Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Referat Tierschutz, Bonn.
- BOGNER, H., GRAUVOGL, A. (1984): Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. Stuttgart: Eugen Ulmer.

- BORBÉLY, A. A. (1982): A two process model of sleep regulation. *Hum Neurobiol* 1, 195-204.
- BORBÉLY, A. A. (1986): *Secrets of sleep*. New York: Basic Books.
- BORBÉLY, A. A. (1998): *Das Geheimnis des Schlafs*. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt.
- BORN, J., KERN, W., BIEBER, K., FEHM-WOLFSDORF, G., SCHIEBE, M., FEHM, H. L. (1986): Night time plasma cortisol secretion is associated with specific sleep stages. *Am J Physiol* 260, 183-188.
- BOSCH, S. (2001): Leben auf Sparflamme. Wie Tiere im Winterschlaf die kalte Jahreszeit überstehen. *Naturschutz heute* 04/01.
- BOYD, L. E. (1988): Time budgets of adult Przewalski horses. Effects of sex, reproductive status and enclosure. *Appl Anim Behav Sci* 21, 19-39.
- BREDOW, S., GUHA-THAKURTA, N., TAIHSI, P., OBAL, F., KRUEGER, J. M. (1997): Diurnal variations of tumor necrosis factor-alpha mRNA and alpha-tubulin mRNA in rat brain. *Neuroimmunomodulation* 4, 84-90.
- BRZEZINSKI, A. (1997): Melatonin in humans. *New Engl J Med* 336, 186-195.
- BURRELL, R. (1994): Human responses to bacterial endotoxin. *Circ Shock* 42, 137-153.
- CARSON, K., WOOD-GUSH, D. G. M. (1983): Equine behaviour: A review of the literature on feeding, eliminative and resting behaviour. *Appl Anim Ethol* 10, 179-190.
- CARTMILL, M. (1996): Do horses gallop in their sleep? Consciousness, evolution and the problem of animal minds. Sixty six James Arthur lecture on the evolution of the human brain. New York.
- CLARENBACH, P., BIRMANNS, B., JARAUSCH-HANCKE, C. (1988): The effect of ritanserin on sleep and hormones in man. In: KOELLA, W., OBAL, F., SCHULZ, H., VISSER, P. (Hrsg.): *Sleep*; 355-358. Stuttgart: Fischer.
- COOPER, R. (1994): *Sleep*. London: Chapman & Hall Medical.
- CZEISLER, C. A., ALLEN, J. S., STROGATZ, S. H., RONDA, J. (1986): Bright light resets the human circadian pacemaker independent of the timing of the sleep wake cycle. *Science* 233, 667-671.
- DALLAIRE, A., RUCKEBUSCH, Y. (1974a): Sleep and wakefulness in the housed pony under different dietary conditions. *Can J Comp Med* 38, 67-71.

- DALLAIRE, A., RUCKEBUSCH, Y. (1974b): Sleep patterns in the pony with observation on partial perceptual deprivation. *Physiol Behav* 70, 789-796.
- DEMENT, W. C. (1976): *Some must watch while some must sleep*. San Francisco: Book Company.
- DEMENT, W. C., KLEITMAN, N. (1957): Cyclic variations in EEG during sleep and their relations to eye movements, body motility and dreaming. *Electroenceph Clin Neurophys* 9, 673-690.
- DUNCAN, P. (1980): Time budgets of camargue horses. *Behaviour* 72, 26-49.
- EDMUNDS, L. N. (1988): *Cellular and molecular bases of biological clocks*. Berlin: Springer.
- ERLER, T. (2001): *Longitudinalstudie zur Erstellung polysomnographischer Referenzwerte für Kinder im ersten Lebensjahr unter besonderer Berücksichtigung von Grundlagen, Methodik und Anwendungsmöglichkeiten der Polysomnographie (PSG) im Säuglingsalter*. Habilitationsschrift, Humboldt-Universität Berlin.
- FEHM, H. L., BENKOWITSCH, R., KERN, W., FEHM-WOLFSDORF, G., PAUSCHINGER, R., BORN, J. (1986): Influences of corticosteroids, dexamethasone and hydrocortisone on sleep in humans. *Neuropsych* 16, 196-204.
- FINK, G. W. (2000): Stall- und Parcoursbau. In: THEIN, P. (Hrsg.): *Handbuch Pferd*; 240-244. München: BLV-Verlag.
- FISCHER, S., HALLSCHMID, M., ELSNER, A. L., BORN, J. (2002): Sleep forms memory for finger skills. *Proc Natl Acad Sci USA* 99, 11987-11991.
- FLADE, J. E. (1999): *Araber. Züchten - Aufziehen - Halten*. Hildesheim: Olms Presse.
- FLEISSNER, G., FLEISSNER, G. (1988): Efferent control of visual sensitivity in arthropod eyes, with emphasis on circadian rhythms. *Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz: Information processing in animals*, Vol. 5. Stuttgart: Gustav Fischer.
- FLOYD, R. A. (1997): Diurnal variation of TNF-alpha in the rat brain. *Neuroreport* 8, 915-918.
- FRASER, A. F. (1979): *An introduction to veterinary ethology*. Western College of Veterinary Medicine, University of Saskatchewan, Saskatoon/Canada.

- FREY, H. H. (2000): Zentrales Nervensystem. In: V. ENGELHARDT, W., BREVES, G. (Hrsg.): Physiologie der Haustiere; 43-66. Stuttgart: Enke im Hippokrates Verlag.
- GAIS, S., PLIHAL, W., WAGNER, U., BORN, J. (2000): Early sleep triggers memory for early visual discrimination skills. *Nat Neurosci* 3, 1335-1339.
- GRAUVOGL, A. (1996): Verhalten von Pferden im Auslauf. *Tierärztl Umschau* 51, 614-621.
- GROS, G. (2000): Atmung. In: V. ENGELHARDT, W., BREVES, G. (Hrsg.): Physiologie der Haustiere; 217-253. Stuttgart: Enke im Hippokrates-Verlag.
- HAKKARAINEN, H., ILMONEN, P., KOIVUNEN, V. (2001): Experimental increase on predation risk inducing breeding dispersal of Tengmalm's owl. *Oecologia* 126, 355-359.
- HALE, L. A., HUGGINS, S. E. (1980): The electroencephalogram of the normal "grade" pony in sleep and wakefulness. *Comp Biochem Physiol* 66, 251-257.
- HASSENBERG, L. (1965): Ruhe und Schlaf bei Säugetieren. Wittenberg: Ziemsen.
- HASSENBERG, L. (1971): Verhalten bei Einhufern. Neue Brehm-Bücherei Nr. 427. Wittenberg: Ziemsen.
- HECHLER, B. (1972): Beitrag zur Ethologie des Islandpferdes. Diss. med. vet., Universität Gießen.
- HEINE, R. (1914): Über Wiedererkennen und rückwirkende Hemmung. *Z Physiol* 68, 161-236.
- HEINTZELMANN-GRÖNGRÖFT, B. (1984): Spezielle Ethologie Pferd. In: BOGNER, H., GRAUVOGL, A. (Hrsg.): Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere.; 87-139. Stuttgart: Ulmer.
- HERRMANN, W. M., FICHTE, K., KUBICKI, S. (1980): Definition von EEG-Frequenzbändern aufgrund strukturanalytischer Betrachtungen. In: KUBICKI, S., HERRMANN, W. M., LAUDAHN, G. (Hrsg.): Faktorenanalyse und Variablenbildung aus dem EEG. Stuttgart: Gustav Fischer.
- HOBSON, J. A. (1990a): Schlaf. Gehirnaktivität im Ruhestand. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft.
- HOBSON, J. A. (1990b): Sleep and dreaming. *J Neurosci* 10, 371-382.

- HOBSON, J. A., STICKGOLD, R. (1995): The conscious state paradigm: A neurocognitive approach to waking, sleeping and dreaming. In: GAZZANIGA, M. (Hrsg.): The cognitive neurosciences; 1373-1389. Cambridge: MIT Press.
- HOHAGEN, F., TIMMERT, J., WEYERBROOK, A., FRITSCH-MONTERO, R., GÜNTER, U., KRIEGER, S., BERGER, M., BAUER, J. (1993): Cytokine production during sleep and wakefulness and its relationship to cortisol in healthy humans. *Neuropsych* 28, 9-16.
- HORNE, J. (1988): Why we sleep. Oxford: Oxford University Press.
- HÖRNING, B., RASKOPF, S., SIMANTKE, C. (1992): Artgemäße Schweinehaltung - Grundlage und Beispiele aus der Praxis. Karlsruhe: C. F. Müller.
- HOUPT, K. A. (1980): The characteristics of equine sleep. *Eq Pract* 2, 8-17.
- HOUPT, K. A. (1998): Domestic animal behaviour for veterinarians and animal scientists. 3. Aufl. Ames/Iowa: Iowa University Press.
- HUETHER, G. (1994): Melatonin synthesis in gastrointestinal tract and the impact of nutritional factors on circulating melatonin. *Ann N Y Acad Sci* 719, 146-158.
- IHLE, P. (1984): Ethologische Studie über den Tagesrhythmus von Pferden in Abhängigkeit von der Haltungsform. Diss. med. vet., Universität Gießen.
- ISENBÜGEL, E. (1999): Vom Wildpferd zum Reitpferd. *Tierärztl Umschau* 54, 484-490.
- JAGGY, A., HEYNOLD, Y. (1996): Die idiopathische Epilepsie des Hundes. *Schweiz Arch Tierheilk* 138, 523-531.
- JAN, J. E., ESPEZEL, H., APPELTON, R. E. (1994): The treatment of sleep disorders with melatonin. *Dev Med Child Neurol* 36, 97-107.
- JAWOROWSKA, M. (1976): Verhaltensbeobachtungen an primitiven Pferden, die in einem polnischen Waldschutzgebiet - in Freiheit lebend - erhalten werden. *Säugetierkundl Mitt* 24, 241-268.
- JENKINS, J. G., DALLENBACH, K. M. (1924): Obliviscence during sleep and waking. *Am J Psychol* 35, 605-612.
- JEZIERSKI, J. (1979): Handhabung von polnischen Primitivpferden unter extensiven Haltungsbedingungen. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung. *KTBL-Schrift* 254, 73-77.

- JOUVET, M. (1967): Neurophysiology of the state of sleep. *Physiol Rev* 47, 117-177.
- JOUVET, M. (1984): Indolamines and sleep-inducing factors. *Exp Brain Res* 8, 81-94.
- KALES, A., KALES, J. D. (1984): Evaluation and treatment of insomnia. Oxford: Oxford University Press.
- KAPPELER, P. M. (1998): Nests, tree holes and the evolution of primate life histories. *Am J Primatol* 46, 7-33.
- KILDUFF, T. S. (2000): What rest in flies can tell us about sleep in mammals. *Neuron* 26, 295-298.
- KILEY-WORTHINGTON, M. (1990): The behavior of horses in relation to management and training - towards ethologically sound environments. *Eq Vet Sci* 10, 62-71.
- KING, S. R. B. (2002): Home range and habitat use of free-ranging Przewalski horses at Hustai National Park, Mongolia. *Appl Anim Behav Sci* 78, 103-113.
- KLEMM, W. R. (1989): Electroencephalography in the diagnosis of epilepsy. *Problems in Veterinary Medicine* 1, 535-557.
- KLEMM, W. R., HALL, C. L. (1974): Current state and trends in veterinary electroencephalography. *J Am Vet Med Assoc* 164, 529-532.
- KLINGEL, H. (1967): Soziale Organisation und Verhalten freilebender Steppenzebras. *Z Tierpsych* 24, 580-624.
- KLINGEL, H. (1972): Das Verhalten der Pferde (Equidae). Berlin: de Gruyter.
- KOCH, G. (1968): Ethologische Studien an Rinderherden unter verschiedenen Haltungsbedingungen. Diss. med. vet., Universität München (MPI-Schriftenreihe Nr. 35).
- KOELLA, W. P. (1988): Die Physiologie des Schlafes. Stuttgart: Gustav Fischer.
- KOWNACKI, M. (1978): Observations of the twenty-four hours rhythm of natural behaviour of Polish primitive horses bred for conservation of genetic resources in a forest reserve. *Genet Pol* 19, 61-77.
- KRAUSE, J., RUXTON, G. D. (2002): Living in groups. Oxford: Oxford University Press.

- KRYGER, M. H., ROTH, R., DEMENT, W. C. (2000): Principles and practice of sleep medicine. Philadelphia: Saunders.
- KUBICKI, S., HÖLLER, L. (1980): Systematische Einteilung der EEG-Grundrhythmen und Normvarianten. EEG Labor 2, 32-53.
- KUHNE, F. (2003): Tages- und Jahresrhythmus ausgewählter Verhaltensweisen von Araberpferden in ganzjähriger Weidehaltung. Diss. med. vet., Berlin.
- KURTZ, A., POLLMANN, U., SCHNITZER, U., ZEEB, K. (2000): Gruppenhaltung von Pferden. Eingliederung von Pferden in bestehende Gruppen. Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg.
- LADEWIG, J., ELLENDORFF, F. (1983): The sleep-waking pattern and behaviour of pigs kept in different husbandry systems. Current topics in veterinary medicine and animal sciences - indicators relevant to farm animal welfare. D. Smidt (Hrsg.), Martinus Nijhoff Publishers 23, 55-60.
- LANCEL, M., MATHIAS, S., FAULHABER, J., SCHIFFELHOLZ, T. (1996): Effect of interleukin-1beta on EEG power density during sleep depends on circadian phase. Am J Physiol 270, 830-837.
- LAVIE, P. (1999): Die wunderbare Welt des Schlafes. München: Deutscher Taschenbuchverlag.
- LAVIE, P., WEBB, W. B. (1975): Time estimates in a long-term time-free environment. Am J Psychol 88, 177-186.
- LEBELT, D. (1998): Problemverhalten beim Pferd. Stuttgart: Enke.
- LECLERC, C., CHEDID, L. (1982): Macrophage activation by synthetic muramyl peptides. Lymphokines 7, 1-21.
- LEUTNER, V. (1993): Schlaf - Schlafstörung - Schlafmittel. 5. Aufl. Basel: Editiones Roche.
- LEWIS, S. E. (1996): Low roost-site fidelity in pallid bats: associated factors and effects on group stability. Behav Ecol Sociobiol 39, 335-344.
- LIMA, S. L., RATTENBORG, N. C., LESKU, J. A., AMLANER, C. J. (2005): Sleeping under the risk of predation. Anim Behav 70, 723-736.
- LITTLEJOHN, A., MUNRO, R. (1972): Equine recumbency. Vet Rec 90, 83-85.
- LÖWE, H., MEYER, H. (1979): Pferdezücht und Pferdefütterung. Stuttgart: Eugen Ulmer.

- LÜDERS, H. O., NOCHATAR, S. (1994): Atlas und Klassifikation der Elektroencephalographie. Wehr: Ciba Geigy Verlag.
- MAQUET, P., PETERS, J., AERTS, J., DELFIORE, G., DEGUELDE, C., LUXEN, A., FRANCK, G. (1996): Function neuroanatomy of human rapid-eye-movement sleep and dreaming. *Nature* 12, 163-166.
- MARCZYNSKI, T. J., YAMAGUCHI, N., LING, G. M., GRODZINSKA, L. (1964): Sleep induced by the administration of melatonin (5-methoxy-acetyltryptamine) to the hypothalamus in unrestrained cats. *Experientia* 20, 435-437.
- MCEWEN, B. S. (1998): Protective and damaging effects of stress mediators. *N Engl J Med* 338, 171-179.
- MEDDIS, R. (1975): On the function of sleep. *Anim Behav* 23, 676-691.
- MEDDIS, R. (1977): The sleep instinct. London: Routledge & Kegan-Paul.
- MILLER, S. M., SHORT, C. E., EKSTRÖM, P. M. (1995): Quantitative electroencephalographic evaluation to determine the quality of analgesia during anesthesia of horses for arthroscopic surgery. *Am J Vet Res* 56, 374-379.
- MONTPLAISIER, J., GODBOUT, R. (1990): Sleep and biological rhythms - basic mechanisms and applications to psychiatry. Oxford: Oxford University Press.
- MOORCROFT, W. H., KAYSER, K. H., GRIGGS, A. J. (1997): Subjective and objective confirmation of the ability to selfawaken at a self-predetermined time without using external means. *Sleep* 20, 40-45.
- NECKELMANN, D., URSIN, R. (1993): Sleep stages and EEG power spectrum in relation to acoustical stimulus arousal threshold in the rat. *Sleep* 16, 467-477.
- NIEBELING, H. G. (1980): Einführung in die Elektroenzephalographie. 2. Aufl. Leipzig: Johann Ambrosius Barth.
- OPP, M. R., KRUEGER, J. M. (1991): Interleukin 1-receptor antagonist block interleukin 1-induced sleep and fever. *Am J Physiol* 260, 453-357.
- OPP, M. R., TOTH, L. A. (1998): Somnogenic and pyrogenic effects of interleukin-1beta and lipopolysaccharide in intact and vagotomized rats. *Life Sci* 72, 923-936.
- OSTNER, J. (2002): Social thermoregulation in redfronted lemurs (*Eulemur fulvus rufus*). *Fol Primatol* 73, 175-180.

- OTTO, K. (1986): Das Schlaf-EEG des Schweines. Diplomarbeit, Sektion TV der Humboldt-Universität zu Berlin.
- OTTO, K., SHORT, C. E. (1991): Cerebral responses in horses to halothane and isoflurane anaesthesia: EEG power spectrum analysis and differences in arteriovenous oxygen content. Proceedings of the 4th International Congress of Veterinary Anaesthesia, Utrecht/Niederlande, 25-31.
- OTTO, K., SHORT, C. E., VOIGHT, S. (1993): Identification of noxious stimuli and "analgesic" drug effects using computer assisted EEG analysis during anesthesia in horses - a preliminary report. *J Vet Anaesth* 20, 43-47.
- OTTO, K., VOIGHT, S., PIEPENBROCK, S., DEEGEN, E., SABIEL, J. (1994): Methoden der Narkosetiefenbestimmung beim Pferd. *Pferdeheilkd* 10, 339-347.
- OTTO, K., VOIGHT, S., PIEPENBROCK, S., DEEGEN, E., SHORT, C. E. (1996): Differences in quantitaed electroencephalographic variables during surgical stimulation of horses anesthetized with isoflurane. *Vet Surg* 25, 249-252.
- PAMPLIGONE, G. (1965): Some aspect of electrical activity of young pigs. *Proc Roy Soc Med* 58, 547-548.
- 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.
- PIERPAOLI, W., DALL'ARA, A., FABRIS, N. (1994): The aging clock: the pineal gland and other pacemakers in the progression of aging and carcinogenesis. Third Stromboli Conference on Aging and Cancer. *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 719.
- PIRKELMANN, H. (1991): *Pferdehaltung*. 2. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- PIRKELMANN, H. (2002): Tiergerechte Haltung von Pferden. In: METHLING, W., UNSHELM, J. (Hrsg.): *Umwelt- und tiergerechte Haltung*.; 525-544. Berlin: Parey.
- PIRKELMANN, H., LASSON, E., ZIMGIBL, E. (1976): Gummimatten helfen Stroh sparen. *Reiter und Pferde in Westfalen* 11, Sonderdruck.
- PLIHAL, W., BORN, J. (1997): Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *J Cogn Neurosci* 9, 534-547.
- PLIHAL, W., BORN, J. (1999): Effects of early and late nocturnal sleep on priming and spatial memory. *Psychophyciologie* 36, 571-582.

- POLLMANN, U. (1999): Einfluss der Strukturierung des Liegebereichs einer Gruppenauslaufhaltung auf das Verhalten der Pferde. Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg.
- POSNER, M., RAFAL, R. (1987): Cognitive theories of attention and the rehabilitation of attentional deficits. In: MEIER, M., BENTON, A., DILLER, L. (Hrsg.): Neuropsychological rehabilitation; 182-201. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- RADESPIEL, U. (2000): Sociality in the gray mouse lemur (*Microcebus murinus*) in Northwest Madagascar. *Am J Primatol* 51, 21-40.
- RALPH, M. R., FOSTER, R. G., DAVIS, F. C., MENAKER, M. (1990): Transplanted suprachiasmatic nucleus determines circadian period. *Science* 247, 975-978.
- RASCHE, K. (1995): Nächtliche Hypoxämien bei chronisch-obstruktiven Lungenerkrankungen. Habilitationsschrift, Medizinische Fakultät, Universität Bochum.
- RATTENBORG, N. C. (2006): Evolution of slow-wave sleep and palliopallial connectivity in mammals and birds: A hypothesis. *Brain Res Bull* 69, 20-29.
- RATTENBORG, N. C., AMLANER, C. L., LIMA, S. L. (2000): Behavioural, neurophysiological and evolutionary perspectives on unihemispheric sleep. *Neurosci Behav Rev* 24, 817-842.
- RATTENBORG, N. C., LIMA, S. L., AMLANER, C. L. (1999a): Facultative control of avian unihemispheric sleep und the risk of predation. *Behav Brain Res* 105, 163-172.
- RATTENBORG, N. C., LIMA, S. L., AMLANER, C. L. (1999b): Half-awake to the risk of predation. *Nature* 397, 397-398.
- RECHTSCHAFFEN, A. (1998): Current perspectives on the function of sleep. *Perspectives in Biology and Medicine* 41, 359-390.
- RECHTSCHAFFEN, A., GILLILAND, M. A., BERGMANN, B. M., WINTER, J. B. (1983): Physiological correlates of prolonged sleep deprivation in rats. *Science* 221, 182-184.
- RECHTSCHAFFEN, A., KALES, A. (1968): A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. NIH Publ. No. 204, US Government Printing Office, Washington.

- RECHTSCHAFFEN, A., SIEGEL, J. M. (2000): Sleep and dreaming. In: KANDEL, E. R., SCHWARTZ, J. H., JESSEL, T. M. (Hrsg.): Principles of neuroscience. 4. Aufl. New York: McGraw-Hill.
- REITER, R. J. (1998): Melatonin and human reproduction. *Ann Med* 30, 103-108.
- REITER, R. J., TAN, D. X., BURKHARDT, S., MANCHESTER, L. C. (2001): Melatonin in plants. *Nutr Rev* 59, 286-290.
- RIST, M., SCHRAGEL, I., HÖRNING, B., RASKOPF, S., SIMANTKE, C., WEIBERG, P. (1992): Artgemäße Rinderhaltung - Grundlagen und Beispiele aus der Praxis. Karlsruhe: C. F. Müller.
- RÖSSNER, W. (1970a): Die Elektroenzephalographie (EEG). 1. Elektrophysiologische Grundlagen. *Tierärztl Umschau* 25, 70-74.
- RÖSSNER, W. (1970b): Die Elektroenzephalographie (EEG). 2. Methodische Grundlagen, Anwendungsbereiche und Ausbildung. *Tierärztl Umschau* 25, 114-128.
- RUCKEBUSCH, Y. (1972a): Comparative aspects of sleep and wakefulness in farm animals. In: CHASE, M. H. (Hrsg.): The sleeping brain; 23-28. Los Angeles: Brain Information Service.
- RUCKEBUSCH, Y. (1972b): The relevance of drowsiness in the circadian cycle of farm animals. *Anim Behav* 20, 637-643.
- RUCKEBUSCH, Y. (1975): The hypnogram as an index of adaptation of farm animals to changes in their environment. *Appl Anim Ethol* 2, 3-18.
- RUCKEBUSCH, Y., DOUGHERTY, R. W., COOK, H. M. (1974): Jaw movements and rumen motility as criteria for measurement of deep sleep in cattle. *Am J Vet Res* 35, 1309-1312.
- RUTBERG, A. T. (1987): Horse fly harassment and the social behavior of feral ponies. *Ethology* 75, 145-154.
- SAMBRAUS, H. H. (1971): Zum Liegeverhalten der Wiederkäuer. *Züchtungskde* 43, 187-198.
- SAMBRAUS, H. H. (1978): Nutztierethologie - Das Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere - Eine angewandte Verhaltenskunde für die Praxis. Berlin-Hamburg: Paul Parey.
- SAMBRAUS, H. H. (1991): Nutztierkunde. Stuttgart: Eugen Ulmer.

- SCHÄFER, M. (1978): Spezielle Ethologie Pferd. In: SAMBRAUS, H. H. (Hrsg.): Nutztierethologie; 214-248. Berlin-Hamburg: Paul Parey.
- SCHÄFER, M. (1991): Ansprüche des Pferdes an seine Umwelt. In: PIRKELMANN, H. (Hrsg.): Pferdehaltung; 15-73. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- SCHÄFER, M. (1993): Die Sprache des Pferdes. Stuttgart: Franck-Kosmos.
- SCHMID, J. (1998): Tree holes used for resting by grey mouse lemurs (*Microcebus murinus*) in Madagascar: insulation capacities and energetic consequences. *Int J Primatol* 19, 797-809.
- SCHMIDT-REINWALD, A., PRUESSNER, J. C., HELLHAMMER, D. H., FEDERENKO, I., ROHLEDER, N., SCHURMEYER, T. H., KIRSCHBAUM, C. (1999): The cortisol response to awaking in relation to different challenge tests and a 12-hour cortisol rhythm. *Life Sci* 64, 1653-1660.
- SCHNEIDER, J., BOCKLISCH, H. (1980): Bestimmung der Narkosetiefe und Narkosedauer mit Hilfe des Elektroencephalogrammes während der Barbituratnarkose beim Schwein. *Mh Vet Med* 35, 681-685.
- SCHULZ, H. (1997): Kompendium Schlafmedizin für Ausbildung, Klinik und Praxis. Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin. Landsberg: Ecomed-Verlag.
- SHORT, C. E., EKSTRÖM, P. M. (1993): Compressed spectral analysis of the EEG as an indicator of anesthetic quality during anesthesia for orthopedic surgery in the horse. *Proc Am Assoc Equine Pract* 39, 6980.
- SIEGEL, J. M. (2003): Why we sleep. *Scientific American* 289, 92-97.
- SIEGEL, J. M., MANGER, P. R., NIENHUS, R., FAHRINGER, H. M., PETTIGREW, J. D. (1998): Monothermes and the evolution of rapid eye movement sleep. *Phil Trans R Soc Lond* 353, 1147-1157.
- SINHA, R. K. (2003): Artificial neural network detects changes in electroencephalogram power spectrum of different sleep-wake states in animal model of heat. *Med Biol Eng Comput* 41, 595-600.
- SINHA, R. K. (2004): Electro-encephalogram disturbances in different sleep-wake states following exposure to high environmental heat. *Med Biol Eng Comput* 42, 282-287.
- SKENE, D. J., DEACON, S., ARENDT, J. (1996): Use of melatonin in circadian rhythm disorders and following phase shifts. *Adv Neurobiol Exp* 56, 359-362.

- SMIDT, D., LADEWIG, J., SCHLICHTING, M. C. (1991): Tagesrhythmen und Zeitverschiebung - ein Tierschutzproblem? Dt Tierärztl Wochenschr 98, 19-23.
- SMITH, A. P., THOMAS, M., BROCKMAN, P., KENT, J., NICHOLSON, K. G. (1993): Effect of influenza B virus infection on human performance. Br Med J 306, 760-761.
- SMITH, A. P., TYRELL, D. A. J., AL-NAKIB, W., COYLE, K. B., DONOVAN, C. B., HIGGINS, P. G., WILLMAN, J. S. (1987): Effects of experimentally induced respiratory virus infections and illness on psychomotor performance. Neuropsych 18, 144-148.
- SMITH, A. P., TYRELL, D. A. J., AL-NAKIB, W., COYLE, K. B., DONOVAN, C. B., HIGGINS, P. G., WILLMAN, J. S. (1988): The effects of experimentally induced respiratory virus infections on performance. Psychol Med 18, 65-71.
- SMITH, A. P., TYRELL, D. A. J., BARROW, G. L., COYLE, K. B., HIGGINS, P. G., WILLMAN, J. S., BULL, S., TRICKETT, S. (1992): Mood and experimentally-induced respiratory infections and illnesses. Psychology and Health 6, 205-212.
- SMITH, C. (1995): Sleep states and memory processes. Behav Brain Res 68, 137-145.
- SMITH, C., SMITH, D. (2003): Ingestion of ethanol just prior to sleep onset impairs memory for procedural but not declarative tasks. Sleep 25, 185-191.
- STAEDT, J. (2005): Evolution und Funktion des Schlafens. Vorlesung im Rahmen der 55. Lindauer Psychotherapiewochen ([www.Lptw.de](http://www.Lptw.de)).
- STAEDT, J., STOPPE, G. (2001): Evolution und Funktion des Schlafes. Fortschr Neurol Psychiatrie 69, 51-57.
- STAEDT, J., STOPPE, G. (2004): Are sleep and its disorders of interest for psychiatric and psychosomatic medicine? Adv Psychosom Med 26, 1-6.
- STEINHART, P. (1937): Der Schlaf des Pferdes - seine Dauer, Tiefe und Bedingungen. Z Vet Kunde 49, 147-157, 193-232.
- STROMBERG, M. W., KITCHELL, R. L., LAGERWERFF, J. M. (1962): Electrocorticographic patterns in normals pigs and burros. Am J Vet Res 23, 737-743.
- STURM, A., CLARENBACH, P. (1997): Schlafstörungen. Stuttgart: Thieme.

- TAISHI, P., BREDOW, S., GUHA-THAKURTA, N., OBAL, F., KRUEGER, J. M. (1997): Diurnal variations of interleukin 1beta mRNA and b-actin mRNA in rat brains. *J Neuroimmunol* 75, 69-74.
- TEMBROCK, G. (1992): *Verhaltensbiologie*. Jena: Gustav Fischer.
- TOBLER, I. (1995): Is sleep fundamentally different between mammalian species? *Behav Brain Res* 69, 35-41.
- TOSINI, G., MENAKER, M. (1996): Circadian rhythms in cultured mammalian retina. *Science* 272, 419-421.
- TYLER, S. J. (1972): The behaviour and social organization of the New Forrest pony. *Anim Behav* 5, 85-96.
- VON BUTLER-WEMKEN, I. (2003): Auch Pferde brauchen Schlaf. *Bayerns Pferde* 1/2003, 67.
- WALDHAUSER, F., KOVACS, J., REITER, E. (1998): Age-related changes in melatonin levels in humans and its potential consequences for sleep disorders. *Exp Gerontol* 33, 759-772.
- WALDHAUSER, F., SALETU, B., TRICHARD-LUGAN, I. (1990): Sleep laboratory investigations on hypnotic properties of melatonin. *Physiopharmacology* 100, 222-226.
- WALKER, M. P., BRAKEFIELD, T., MORGAN, A., HOBSON, J. A., STICKGOLD, R. (2002): Practice with sleep makes perfect: Sleep dependent motor skill learning. *Neuron* 35, 205-211.
- WALKER, M. P., BRAKEFIELD, T., SEIDMANN, J., MORGAN, A., HOBSON, J. A., STICKGOLD, R. (2003): Sleep and the time course of motor skill learning. *Learn Mem* 10, 275-284.
- WEBER, T. (1975): *Elektroenzephalographie mit implantierten Elektroden beim Schaf und ein Beitrag zur Rompun-Forschung*. Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover.
- WEES, H. G., LUND, R., GREESELE, C., BÖHNING, W., SAUTER, C., STEINBERG, R. (1998): Vigilanz, Einschlafneigung, Müdigkeit, Schläfrigkeit. Die Messung müdigkeitsbezogener Prozesse bei Hypersomnie - Theoretische Grundlagen. *Somnologie* 2, 32-41.
- WILLIAMS, D. C., ALEMAN, M., HOLLIDAY, 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. *J Vet Intern Med* 22, 630-638.

- ZEEB, K. (1981): Basic behavioural needs of horses. *Appl Anim Ethol* 7, 391-392.
- ZEEB, K. (1994): Möglichkeiten der ganzjährigen Freilandhaltung von Pferden. *Dt Tierärztl Wochenschr* 101, 122-123.
- ZEEB, K. (1998): Die Natur des Pferdes. Stuttgart: Franck-Kosmos.
- ZEEB, K., POLLMANN, U. (1996): Verhaltensgerechte Pferdehaltung - Gruppenauslaufhaltung. Tierhygienisches Institut Freiburg.
- ZEEB, K., SCHNITZER, U. (1979): *Equus caballus* (Equidae) - Ruheverhalten, Hinlegen, Aufstehen. Publikationen zu wissenschaftlichen Filmen, Sektion Biologie, Serie 12, Nr. 11.
- ZEITLER-FEICHT, M. H. (2001a): Haltungstechniken - Anforderungen an eine pferdegerechte Aufstallung. *Pferdeheilkunde Curriculum - Verhalten, Haltung, Verhaltensstörungen, Fütterung und fütterungsbedingte Erkrankungen des Pferdes*. Humboldt-Universität Berlin.
- ZEITLER-FEICHT, M. H. (2001b): *Handbuch Pferdeverhalten - Ursachen, Therapie und Prophylaxe von Problemverhalten*. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- ZEITZER, J. M., DIJK, D. J., KRONAUER, R. E. (2000): Sensitivity of human circadian pacemaker to nocturnal light: Melatonin phase resetting and suppression. *J Physiol* 526, 695-702.
- ZEPELIN, H. (1989): Mammalian sleep. In: KRYGER, M. H., ROTH, R., DEMENT, W. C. (Hrsg.): *Principles and practice of sleep medicine*. Philadelphia: W. B. Saunders.