

Universität für Bodenkultur Wien

**Department für Nachhaltige Agrarsysteme
Institut für Nutztierwissenschaften**



Polysomnographische Untersuchungen zum Schlaf beim adulten Rind – Methodvalidierung

Masterarbeit am Institut für Nutztierwissenschaften

Vorgelegt von: Roswitha Heigl
Matrikelnummer: 0840357
Betreuer: Univ. Prof. Dr. Christoph Winckler

Wien, Juli 2015

Gregor-Mendel-Straße 33
1180 Wien

*Für meine Eltern,
Maria Anna und Eduard*

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung und Ziel	1
2	Literaturübersicht.....	2
2.1	Schlaf allgemein	2
2.1.1	Zirkadianer Rhythmus	4
2.1.2	Einteilung in Schlafstadien	5
2.1.3	Schlaf bei Tieren	9
2.2	Erfassung des Schlafes.....	18
2.2.1	Nervensystem im Überblick	18
2.2.2	Die Quellen des EEG	21
2.2.3	Polysomnographie	21
2.2.4	Erfassung nach visuellen Gesichtspunkten	22
3	Tiere, Material und Methoden.....	23
3.1	Tiere und Haltungsbedingungen	23
3.2	Verwendetes Material.....	24
3.2.1	Polysomnograph und übrige technische Ausstattung	24
3.2.2	Elektroden.....	25
3.2.3	Verbrauchsmaterial.....	25
3.3	Vorbereitungsphase	26
3.4	Datenerhebung.....	30
3.5	Datenaufbereitung und -auswertung	31
3.5.1	Software.....	31
3.5.2	Manuelle Auswertung	31
3.5.3	Schlafstadienauswertung.....	31
3.5.4	Statistische Analyse	36
4	Ergebnisse	37
4.1	Messdauer.....	37
4.2	Schlafarchitektur.....	37
4.2.1	Gesamtschlafzeit	37
4.2.2	Schlaffragmentierung.....	40
4.3	Messung in der Gruppe	42
5	Diskussion	43
5.1	Methodik.....	43
5.1.1	Referenzelektrode.....	43

5.1.2	Versuchsbedingungen und Tiere	43
5.2	Nomenklatur der Schlafstadien.....	44
5.2.1	Definition Dösen und SWS-Schlaf	44
5.2.2	Wach, Rem-Schlaf, Wiederkauen, Movement	44
5.2.3	Problematik NREM-Schlaf	45
5.3	Ergebnisse	45
5.3.1	Schlafarchitektur	45
5.3.2	Schlaffragmentierung.....	47
6	Schlussfolgerung	48
7	Zusammenfassung	49
8	Abstract	50
9	Anhang	51
9.1	Abbildungen verschiedener Schlafstadien beim Menschen	51
10	Danksagung.....	54
11	Abbildungsverzeichnis	55
12	Tabellenverzeichnis	57
13	Literaturverzeichnis.....	58

1 Einleitung und Ziel

Wozu brauchen Menschen und nichtmenschliche Wirbeltiere Schlaf? Schlafforscher debattieren nach wie vor über die Funktion von Schlaf, welcher einen Großteil der Lebenszeit einnimmt (Siegel, 2003) und die Gesundheit und das Wohlbefinden beeinflusst (Porkka-Heiskanen u. a., 2013).

Die Elektroenzephalografie ist die Methode der Wahl für die Untersuchung von Schlaf (Tobler, 1995) und der technische und wissenschaftliche Fortschritt der letzten Jahrzehnte ermöglicht es, Gehirnregionen und ihre neuronale Aktivität zu untersuchen, ohne Elektroden zu implantieren (Siegel, 2003). Bei Aktivität bzw. Wachheit erreichen die betroffenen Neuronen ihr maximales Level, doch im Gegensatz dazu ist dieses während des Schlafens variabel (Siegel, 2003). Schlaf kann in zwei Hauptphasen unterschieden werden: den REM- und den NREM-Schlaf (Porkka-Heiskanen u.a., 2013; Ruckebusch, 1972; Staunton, 2005; Tobler, 1995; Carscadon und Dement, 2011). Kennzeichnend für REM-Schlaf sind schnelle Augenbewegungen und der Rückgang des Muskeltonus und Gliedmaßenzuckungen, sowie eine neuronale Aktivität ähnlich dem Wachsein (Rechtschaffen und Kales, 2002). NREM-Schlaf wird beim Menschen nach Rechtschaffen und Kales (2002) in vier Stadien unterteilt, welche sozusagen die „Tiefe des Schlafes“ widerspiegeln (Staunton, 2005; Cascadon und Dement, 2011). Während des NREM-Schlafes steigt die Amplitude der EEG-Wellen an und die Frequenz nimmt ab (Porkka-Heiskanen u. a., 2013). Es liegt eine synchronisierte und langsame Aktivität mit hoher Spannung vor (Tobler, 1995).

Über den Schlaf beim adulten Rind stehen nur wenige Untersuchungen zur Verfügung. Der derzeitige Wissensstand stammt fast ausschließlich von Ruckebusch (1965, 1972, 1974 etc.), welcher invasive Implantationstechniken verwendete, um elektrophysiologische Messungen durchzuführen. Aufbauend auf Arbeiten von Hänninen u.a. (2008) am Kalb verwendeten bei adulten Rindern nur Ternman u.a. (2012) und Strasser (2011) bereits nicht invasive Messmethoden, um den Schlaf beim Rind elektrophysiologisch zu untersuchen.

Die polysomnographischen Messungen umfassen jedenfalls folgende Parameter:

- Elektroenzephalogramm (EEG)

- Elektrokulogramm (EOG)
- Elektromyogramm (EMG)

Es ist das **Ziel** dieser Arbeit, die von Ternman u.a. (2012) verwendete nicht-invasive Methode weiter zu etablieren und validere Ergebnisse, im Hinblick auf die methodische Ausführung (z.B. keine Unterbrechung der Messung für nachträgliches Nachkleben von Elektroden), bei der elektrophysiologischen Untersuchung des Schlafs beim Rind zu erhalten. Dabei soll festgestellt werden, ob und in welchem Umfang verschiedene Schlafstadien auftreten und ob eine weitere Unterteilung (NREM-Schlaf) möglich ist. Da bisher die Messungen lediglich an isolierten Tieren durchgeführt wurden, wird weiterhin die Durchführung der Messungen bei in Gruppen gehaltenen Tieren angestrebt.

In dieser Arbeit werden zusätzlich erhobene Elektrokardiogramme (EKG) und Daten zur Atemfrequenz sowie Umweltfaktoren (Licht, Temperatur, ...) bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Diese Parameter werden in einer getrennt angefertigten, noch nicht fertiggestellten veterinärmedizinischen Diplomarbeit (M. Raab) bearbeitet.

2 Literaturübersicht

2.1 Schlaf allgemein

Obwohl bekannt ist, dass Schlaf eine wesentliche Rolle für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit spielt, sind die damit verbundenen Vorgänge in Gehirn und Körper wenig bekannt sowie die genauen Funktionen umstritten (Porkka-Heiskanen u.a., 2013; Zepelin u.a., 2005; Siegel, 2003, 2005). Was im Zuge der Forschungen klar wurde, ist, dass Schlaf ein exakt regulierter, komplizierter Prozess ist, welcher sich aus Perioden von synchroner kortikaler Aktivität, flankiert von Perioden übermäßiger kortikaler Aktivität zusammensetzt (Porkka-Heiskanen u. a., 2013).

Bei Säugetieren werden zwei Arten von Schlaf beobachtet: Rapid Eye Movement Schlaf (REM) und Non Rapid Eye Movement Schlaf (NREM) (Siegel, 2008). Über die Funktion von REM- und NREM-Schlaf wird nach wie vor debattiert und es wurden verschiedene Hypothesen aufgestellt (Siegel, 2003): Es wird beispielsweise vermutet, dass verschiedene Prozesse, die im Gehirn im Laufe des Schlafens

ablaufen, verschiedene Verhaltensweisen, wie z.B. das Lernen, während des Wachseins unterstützen (Zepelin u.a., 2005). Die verringerte Aktivität während des NREM-Schlafes macht wahrscheinlich eine selbstständige Reparatur der Gehirnzellen möglich; laut Siegel (2003) ist bei Neugeborenen die starke neuronale Aktivität während des REM-Schlafs für eine einwandfreie Entwicklung des Gehirns wichtig. Eine weitere Funktion könnte die Energieeinsparung aber auch die durch Schlaf verringerte Aussetzung an Gefahren sein (Zepelin u.a., 2005; Siegel, 2005). Es wird vermutet, dass Tiere schlafen, um den Energieverbrauch von Körper und Gehirn zu reduzieren und somit die Energieeinsparung zu maximieren oder ihre Überlebensrate durch das Schlafen an einem sicheren Schlafplatz zu steigern (Siegel, 2008).

Schlaf ist sehr stark reguliert und kann nicht ohne erhebliche gesundheitliche Konsequenzen unterdrückt werden (Cirelli und Tononi, 2008). Er ist üblicherweise charakterisiert durch Immobilität, die für Schlaf typische Körperhaltung und eine höhere Reizschwelle bzw. herabgesetzte Reaktionsfähigkeit. Infolgedessen ist während des Schlafens die Fähigkeit, mit der Umgebung zu interagieren, verringert (Porkka-Heiskanen u.a., 2013; Siegel, 2005, 2008; Carskadon und Dement, 2011; Zepelin u.a., 2005). Da der Zustand der körperlichen Ruhe während des Schlafens schnell reversibel ist, kann dieser von Koma und Narkose unterschieden werden (Siegel, 2005). Bei Schlafentzug versucht der Körper, den entstandenen Schlafverlust zurückzugewinnen (Siegel, 2005, 2008; Tobler, 1995). Generell nimmt der tägliche Schlafanteil von der Geburt bis zum Erwachsensein bei allen terrestrischen Säugetieren ab. Beginnt der Körper zu wachsen, profitiert dieser immer mehr von Aktivitäten während Wachperioden und die Schlafzeit verringert sich (Siegel, 2005).

Wieviel Schlaf von Nöten ist, ist sehr individuell und größtenteils genetisch bestimmt (Watson u. a., 2012), aber auch Alter und Geschlecht haben einen Einfluss, so brauchen Kinder beispielsweise mehr Schlaf als Erwachsene (Williams u. a., 2013). Frauen schlafen im Durchschnitt etwas länger als Männer (Kronholm u. a., 2006) und haben tendenziell einen leichteren Schlaf und längere nächtliche Wachphasen (Reyner und Horne, 1995). Im Gegensatz zu Watson u.a. (2012) schreibt Siegel (2005) der genetischen Ausstattung einen geringeren/keinen Einfluss auf das

Schlafmuster verschiedener Säugetierarten zu. Beispielsweise unterscheiden sich die Schlafcharakteristika von Primaten nicht zwingend von jenen von Nagetieren oder Insektenfressern.

Stress, Gesundheitszustand und auch die Einnahme von bestimmten Substanzen (Koffein) oder Medikamenten beeinflussen die Schlafqualität (Porkka-Heiskanen u. a., 2013). Ständiger Schlafentzug, egal ob freiwillig oder durch bestimmte Umweltbedingungen erzwungen, senkt die Leistungsfähigkeit und beeinträchtigt infolgedessen die Gesundheit (Siegel, 2005; Porkka-Heiskanen u.a., 2013) weshalb Gedächtnisverlust wie auch Depressionen vermehrt auftreten können (Porkka-Heiskanen u. a., 2013). Ratten, die Schlafentzug ausgesetzt wurden, zeigten Hautläsionen, Hyperthermie gefolgt von Hypothermie, Gewichtsabnahme, erhöhte Futtermittelaufnahme und Tod (Siegel, 2005). Es wurden allerdings bei Studien mit Mäusen oder anderen Säugetieren keine ähnlichen Symptome festgestellt (Siegel, 2008).

Die meisten Studien zum Schlaf beziehen sich auf Säugetiere, vor allem auf Menschen und Ratten (Zepelin u.a., 2005; Lima u.a., 2005). Weiters findet man mehrere Studien über Vögel (Rattenborg, 2006; Roth u.a., 2006) und eine eher geringere Anzahl beschäftigt sich mit Reptilien, Amphibien, Fischen und Invertebraten (Tobler, 2011).

2.1.1 Zirkadianer Rhythmus

Schlaf folgt einem typischen zirkadianen Rhythmus (Porkka-Heiskanen u. a., 2013). Für die Mehrheit der Tiere ist der Zeitpunkt des Schlafens oder Wachseins an eine bestimmte Tages- oder Nachtzeit gebunden (Turek, 2011). Zirkadiane Rhythmen sind Zyklen von etwa 24 Stunden Dauer, welche durch die „innere, biologische Uhr“ generiert werden (Mistlberger und Rusak, 2011). Diese „innere Uhr“ regelt nicht nur Schlaf und Wachheit, sondern auch Verhaltensrhythmen, physiologische Rhythmen und biochemische Rhythmen (Turek, 2011). Sie reguliert beispielsweise verschiedene physiologische Prozesse wie Hormonausschüttung oder Hungergefühl, die zu bestimmten rhythmischen Verhaltensweisen motivieren (Campbell und Reece, 2006). Die „innere Uhr“ ist im Nucleus suprachiasmaticus (SCN) im anterioren Hypothalamus lokalisiert (Gooley und Saper, 2011).

Üblicherweise sind zirkadiane Rhythmen über verschiedene Umweltreize mit einem 24-Stunden-Tag synchronisiert (Mistlberger und Rusak, 2011). Licht, aber auch Fütterung, Bewegung, soziale Interaktionen oder Temperaturveränderungen zählen zu typischen Reizen. Äußere Reize sind also nötig, um die inneren Zyklen mit der Außenwelt abzustimmen (Campbell und Reece, 2006).

2.1.2 Einteilung in Schlafstadien

Durch die Verwendung von ausgereiften Methoden, welche die Hirnaktivität während des Schlafens untersuchen, können unterschiedliche Schlafphasen nachgewiesen werden (Porkka-Heiskanen u. a., 2013). Eine verlässliche Unterscheidung dieser Phasen liefert die Methode der Elektroenzephalographie (EEG) und diese bildet somit die Basis zur Bestimmung von Schlafstadien (Porkka-Heiskanen u.a., 2013; Carscadon und Dement, 2011). Das gilt vor allem für Säugetiere und Vögel mit gut entwickeltem Gehirn (Porkka-Heiskanen u. a., 2013).

Das Stadium Wachheit ist charakterisiert durch eine niedrige Amplitude und hochfrequente, unregelmäßige Wellen im EEG (Porkka-Heiskanen u.a., 2013; Tobler, 1995)

Schlaf besteht aus zwei Hauptphasen: NREM- (Non Rapid Eye Movement) und REM- (Rapid Eye Movement) Schlaf (Porkka-Heiskanen u.a., 2013; Ruckebusch, 1972; Staunton, 2005; Tobler, 1995; Carscadon und Dement, 2011). Während des NREM-Schlafes steigt die Amplitude der EEG-Wellen an und die Frequenz nimmt ab (Porkka-Heiskanen u. a., 2013). Es liegt eine synchronisierte und langsame Aktivität mit hoher Spannung vor (Tobler, 1995). Der NREM-Schlaf wird wiederum in vier Stadien eingeteilt (siehe Tabelle 1) (Rechtschaffen und Kales, 2002), welche sozusagen die „Tiefe des Schlafes“ widerspiegeln (Staunton, 2005; Cascadon und Dement, 2011). Diese Unterteilung des NREM-Schlafes in die Stadien 1-4 erfolgte bisher nur bei höheren Primaten (Mensch, Schimpanse, Rhesusaffe und Totenkopffaffe) (Tobler, 1995), wobei die Stadien 3 und 4 als SWS-Schlaf bezeichnet werden. Kalus u.a. (2014) fassten bei Pferden die Stadien 3 und 4 zum Stadium SWS-Schlaf, sowie die Stadien 1 und 2 zum Stadium „Leichtschlaf“ zusammen. Der Begriff „slow-waves“ bezieht sich auf das Vorkommen langsamer Delta-Wellen (0,5-4 Hz) (siehe Tabelle 2) mit einer Amplitude von über 75 μ V (Keenan u.a., 2011). Obwohl bei Tieren selten eine Unterteilung des NREM-Stadium erfolgt bzw. möglich

ist, wird SWS-Schlaf oft als Synonym für NREM-Schlaf verwendet (Tobler, 1995). Beispielsweise verwendete Ruckebusch (1972) den Begriff SWS-Schlaf vermutlich als Synonym für NREM-Schlaf. Da Ruckebusch (1972) nicht weiter definierte, ob der von ihm verwendete Begriff SWS-Schlaf nur, wie beim Menschen üblich, die Stadien 3 und 4 umfasst, wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass es sich um eine Zusammenfassung der NREM-Stadien 1 bis 4 handelt. Auch Ternman u.a. (2012) und Strasser (2011) nahmen keine weitere Unterteilung in einzelne NREM-Stadien vor.

Tabelle 1: Unterteilung der Schlafstadien beim Menschen nach Rechtschaffen und Kales (2002).

Bezeichnung der einzelnen NREM Stadien	Beschreibung
W (Wach)	Charakterisiert durch Alpha-Aktivität (8-13 Hz) und/oder ein niedergespanntes, gemischtfrequentes EEG. EMG meist hochgespannt und das EOG zeigt langsame bis schnellere Bewegungen.
Stadium 1 (einschlafen, niedrige Weckschwelle)	Niedergespanntes, gemischtfrequentes EEG. Aktivitätsbereich 2-7 Hz. Fehlen von K-Komplexen und Schlafspindeln. Langsame Augenbewegungen im EOG. Wechselndes EMG mit abnehmender Amplitude.
Stadium 2 (leichter Schlaf)	Schlafspindeln und K-Komplexe sind vorhanden. Gemischtfrequente, niedergespannte EEG-Aktivität Genügend hochamplitudige und langsamwellige Aktivität fehlt. Fehlende Augenbewegungen im EOG. Wechselndes EMG mit abnehmender Amplitude.
Stadium 3 (mitteltiefer Schlaf)	20-50 % der Epoche bestehen aus Wellen von 2 Hz (vgl. Tabelle 2) oder langsamer. Hochamplitudiger ($>75 \mu\text{V}$), langsamwelliger Rhythmus. Keine Augenbewegungen im EOG. Wechselndes EMG mit abnehmender Amplitude.
Stadium 4 (Tiefschlaf)	>50 % der Epoche bestehen aus Wellen von 2 Hz (vgl. Tabelle 2) oder niedriger und deren Amplitude übersteigt $75 \mu\text{V}$. EOG keine Augenbewegungen. Wechselndes EMG mit abnehmender Amplitude.

REM (Traumschlaf, Gliedermaßenzuckungen)	Niedergespannte, gemischtfrequente EEG Aktivität und episodische REMs. Ähnlich Stadium W oder 1 mit Alpha-Rhythmus. Häufiges Auftauchen von „Sägezahnwellen“. EOG zeigt REMs und EMG die niedrigste Amplitude.
M (Movement → Bewegung, Artefakte)	Über 50% Bewegungsartefakte

Kurze Ausschnitte von EEG-Aufzeichnungen verschiedener Schlafstadien beim Menschen sind im Anhang (9.1) angeführt.

Um die einzelnen Schlafstadien beim Menschen unterscheiden zu können, werden verschiedene Frequenzbereiche herangezogen. Die exakten Grenzen zwischen den verschiedenen Frequenzbereichen können je nach Spezies variieren (Porkka-Heiskanen u. a., 2013). In Tabelle 2 sind die verwendeten Frequenzbereiche für den Menschen dargestellt. Die für die Auswertung beim Menschen herangezogenen Frequenzen sind in Tabelle 1 angeführt.

Tabelle 2: Verwendete Frequenzbereiche zur Bestimmung der Schlafstadien beim Menschen (Ebe u. a., 2002):

Delta-Frequenz	0,5-4 Hz	
Theta-Frequenz	4-7 Hz	
Alpha-Frequenz	8-13 Hz	
Beta-Frequenz	über 13 Hz	

Die American Academy of Sleep Medicine veröffentlichte im Jahr 2007 „The AASM Standards Manual for The Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminolgy and Technical Specifications“. In dieser wurden die Stadien 3 und 4 zum Stadium N3 zusammengefasst und das Stadium M aufgegeben (Iber u. a., 2007).

Die Schlafstadien können neben dem EEG auch mit Hilfe von EMG und EOG unterschieden werden. Wachheit zeichnet sich durch einen hohen Muskeltonus aus, welcher bei NREM-Schlaf abnimmt. Bei REM-Schlaf ist der Muskeltonus am

geringsten. Während des REM-Schlafes zeigen sich die typischen schnellen Augenbewegungen im EOG (Rechtschaffen und Kales, 2002).

Die durchschnittliche Dauer eines Schlafzyklus beträgt beim Menschen 90 min, wobei alle Stadien bis zum REM-Schlaf durchlaufen werden. Nach der REM-Schlafperiode beginnt der Zyklus von Neuem (Porkka-Heiskanen u. a., 2013). Neugeborene fallen laut Cascadon und Dement (2011) nach dem Wachsein nicht in den NREM-Schlaf sondern in den REM-Schlaf.

Die für eine Nacht definierten Schlafstadien können in einem Hypnogram veranschaulicht werden, siehe Abbildung 1. Dieses beschreibt die Reihenfolge und Dauer von jedem Schlafstadium der Aufzeichnungsperiode (Porkka-Heiskanen u. a., 2013).

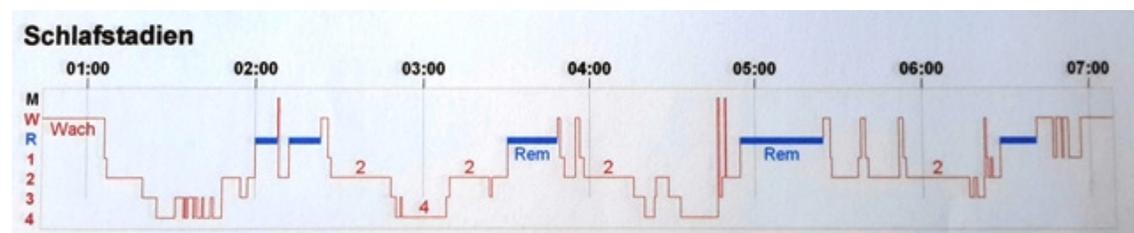


Abbildung 1: Hypnogram einer Nacht beim Menschen von ca. 01:00 bis 07:00.

Eine alternative Auswertungsmethode zur Schlafstadienbestimmung ist die EEG-Power-Spektral-Analyse. Dabei wird das EEG-Signal mit Hilfe der Fast-Fourier-Transformation in endlich kleine Frequenzbänder unterteilt und die Leistung jedes Frequenzbandes bestimmt (Porkka-Heiskanen u. a., 2013).

Im Zusammenhang mit Schlaf bei Tieren wird immer wieder der Begriff „**Dösen**“ verwendet, für welchen keine klare und einheitliche Definition vorliegt und welcher für den Menschen nicht beschrieben wird (Rechtschaffen und Kales, 2002). Ruckebusch (1972) unterscheidet in seiner Studie über Rinder, Schafe, Pferde und Schweine die Stadien REM, SWS und Wach. Das Stadium Wach wird wiederum in Dösen und alarmierte Wachsamkeit unterteilt, wobei Dösen als das Gegenteil von alarmierter Wachsamkeit beschrieben wird. Er diskutiert aber auch, dass Dösen eine Übergangsphase zwischen Wach zu SWS darstellen könnte, welche entweder in Wach oder SWS übergeht. Ruckebusch (1972) beschreibt bei dösenden Kühen das Auftreten von Delta-Frequenzen im EEG. Wie hoch der Anteil der Delta-Frequenzen in dieser Phase ist, wurde leider nicht angemerkt. Generell liegen Delta-Frequenzen

im Bereich von 0,5-4 Hz (siehe Tabelle 2) und beim Menschen ist der Anteil dieser hochamplitudigen und langsamwelligen Aktivität in den Stadien 1 und 2 gering (< 20 %) und in den Stadien 3 (> 20%) und 4 (> 50%) höher (Rechtschaffen und Kales, 2002). Ternman u.a. (2012) und Strasser (2011) definierten Dösen beim Rind mittels Power-Spektral-Analyse anhand eines eigens festgelegten Grenzwertes, siehe Kapitel 2.1.3.2. Für das Pferd beschreiben Kalus u.a. (2014), dass Dösen als Synonym für die Bezeichnung Leichtschlaf, also die Zusammenfassung der Stadien 1 und 2, gesehen werden kann und von Williams u.a. (2012) wird Dösen beim Pferd als Übergangsstadium vom Wachzustand zum SWS-Schlaf verstanden. Bogner und Grauvogl (1984) beschreiben Dösen bei Rindern als eine Verringerung der Aufmerksamkeit des Tieres. Diese Definition bezieht sich jedoch nur auf die äußere Erscheinung der Tiere. Da keine einheitliche Definition von „Dösen“ vorliegt, wurde dieses mögliche Stadium in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt.

Genauerer über Schlafstadien beim Rind ist im Kapitel 2.1.3.2 angeführt.

2.1.3 Schlaf bei Tieren

Die enorme Variation von Ruhe- und Schlafzuständen quer durch das Tierreich und innerhalb der Säugetiere hat wichtige Auswirkungen auf das Verständnis der Evolution und der Funktion des Schlafes (Siegel, 2008). Bei nahezu allen bis jetzt untersuchten Säugetieren konnten unterschiedliche Schlafstadien festgestellt werden, welche von Tier zu Tier nicht grundsätzlich verschieden sind (Tobler, 1995). Der Nachweis, ob wirklich alle Tiere ein Stadium aufweisen, welches der üblichen Definition von Schlaf entspricht, ist jedoch dürftig, und fraglich bleibt, welche Intention hinter dem Schlaf bei Tieren steckt (Siegel, 2008). Viele marine und terrestrische Säugetiere und Vögel, die über einen längeren Zeitraum weiterziehen, zeigen nur wenige Perioden reduzierter Aufmerksamkeit. Sie reduzieren ihr Schlafverhalten für diese saisonale Wanderung ohne jegliche Konsequenzen von Schlafentzug (Siegel, 2008). Beispielsweise ziehen terrestrische Säugetiere, wie frei lebende Elefanten und Giraffen, über längere Distanzen und mehrere Wochen durch das Land (Siegel, 2008). Die aus dem nordamerikanischen Raum stammende Dachsammer zeigt auch bei Käfighaltung während der eigentlichen Zugperiode eine Reduzierung des Schlafes um zwei Drittel, ohne Anzeichen von Schlafentzug (Siegel, 2008).

Der Großteil der Säugetiere weist einen polyphasischen Schlaf auf, was bedeutet, dass Schlafperioden mehrmals durch Aktivitätsperioden unterbrochen werden (Tobler, 1995). Menschen und die meisten Affen haben einen monophasischen Schlaf und schlafen hauptsächlich nachts (Zepelin u.a., 2005; Tobler, 1995).

Bei Säugetieren ist die Schlafmenge laut Siegel (2005) mit dem Alter, der Körpergröße und ökologischen Variablen wie beispielsweise Nahrung, Umwelt und der Sicherheit des Schlafplatzes korreliert. Tiere, die sich in für sie riskanter Umwelt aufhalten, verbringen weniger Zeit mit Schlafen (Siegel, 2005). Versuche zeigen, dass Säugetiere und Vögel aufgrund erlebter Risiken nicht so tief schlafen, was wiederum den Einfluss von Stress auf den Schlaf widerspiegelt (Lima u. a., 2005). Die tägliche Schlafdauer ist am höchsten bei Carnivoren, niedriger bei Omnivoren und am geringsten bei Herbivoren, was zeigt, dass die Schlafdauer mit der jeweiligen Nahrungsgrundlage korreliert (Siegel, 2005).

Auch die Körpergröße wirkt sich auf die Schlafmenge verschiedener Spezies aus (Siegel, 2003). Je kleiner das Tier ist, desto mehr Schlaf ist erforderlich, da kleine Tiere eine höhere Stoffwechselrate, welche vermehrt zu Zellschäden führt, haben und diese Schäden vermutlich während des Schlafens repariert werden (Siegel, 2003). Große Herbivoren schlafen weniger als kleine Herbivoren, da erstere gefährdeter sind, zum Opfer von Prädatoren zu werden (Lima u. a., 2005). Außerdem brauchen große, grasende Herbivoren aufgrund der niedrigen Kaloriendichte ihres Futters mehr Zeit, um ihr Nahrungsoptimum zu erreichen, und verbringen diese somit wach (Siegel, 2005). Umgekehrt müssen kleine Herbivoren und auch andere Säugetiere ihren Schlafanteil erhöhen, um Energie einzusparen, da die Erhaltung der Körpertemperatur aufgrund des relativ großen Verhältnisses von Oberfläche zur Körpermasse energieaufwendig ist (Siegel, 2005). Beispielsweise schlafen Fledermäuse und Opossums durchschnittlich 18 bis 20 Stunden am Tag und Elefanten und Giraffen 3 bis 4 Stunden am Tag (Tobler, 1995; Siegel, 2005).

Alle terrestrischen Säugetiere zeigen in beiden Gehirnhälften ein relativ hochgespanntes EEG während des NREM-Schlafes (Siegel, 2005). Anders ist es bei marinen Tieren, denn diese zeigen nie ein hochgespanntes EEG in beiden Hemisphären gleichzeitig (Siegel, 2005). Alle bis jetzt untersuchten marinen Tiere haben während des Schlafs ein Auge geöffnet und eines geschlossen (Siegel, 2005).

Das Auge kontralateral der Gehirnhemisphäre mit langsamen Wellen ist fast immer geschlossen und das andere vorwiegend geöffnet (Siegel, 2005, 2008). Es könnte also eine Gehirn- und Körperhälfte schlafen und die andere wach sein (Siegel, 2008). Delphine können daher schlafen, während sie schwimmen (Siegel, 2003, 2008). Viele marine Säugetiere zeigen keinen REM-Schlaf und auch für Reptilien, Fische und Insekten gibt es wenig überzeugende Nachweise (Siegel, 2008).

Der Vergleich der Schlafregulation verschiedener Säugetierarten hat Gemeinsamkeiten gezeigt, was ähnliche schlafregulatorische Mechanismen der Tiere vermuten lässt (Tobler, 1995). Säugetiere und Vögel fallen üblicherweise erst nach dem NREM-Schlaf in den REM-Schlaf (Zepelin u. a., 2005). Säugetiere können Schlafentzug kompensieren, indem sie die Schlafdauer erhöhen oder den NREM-Schlaf intensivieren und sie haben somit die Möglichkeit, Schlafverluste flexibel auszugleichen (Tobler, 1995).

2.1.3.1 Schlaf bei Nutztieren

Pferde und Schafe verbringen den größten Teil einer 24-Stunden-Periode im wachen Zustand (Ruckebusch, 1972). Pferde schlafen nur nachts, Schafe hauptsächlich nachts (Ruckebusch, 1972). Ruckebusch (1972) erhob, dass Pferde während 52 % einer 24-Stunden-Periode und während 80 % der Nachtphase alarmiert wach sind und hauptsächlich stehen (80 %). Kalus u.a. (2014) stellten fest, dass bei Pferden in Einzelboxenhaltung eine relativ feststehende Gesamtschlafzeit von ca. 3,5 Stunden pro Nacht vorliegt und die Tiere ca. 50 % der Nachtphase schlafen. Wache Pferde zeigen einen hohen Anteil an Theta-Frequenzen im EEG (Ruckebusch, 1972) und eine Alpha-Grundaktivität wie beim Menschen (Stadium W) konnte nicht festgestellt werden (Kalus u.a., 2014). Bei wachen Schweinen zeigt sich Alpha-Aktivität im EEG und sie verbringen 67 % einer 24 Stunden Periode und 57 % während der Nacht in alarmierter Wachsamkeit und liegen häufig (Ruckebusch, 1972).

Laut Ruckebusch (1972) verbringen Tiere einen erheblichen Anteil des Tages, die gut an ihre Umwelt angepasst sind, im Zustand des Dösens (Ruckebusch, 1972). Die Definition Dösen muss jedoch mit Vorsicht betrachtet werden, siehe Kapitel 2.1.2. Dieser Zustand des Dösens zeigt sich bei Pferden und Schafen vor allem nachts (Ruckebusch, 1972). Schweine dösen in etwa gleich hohen Anteilen Tag und Nacht

(Ruckebusch, 1972). Die Augen sind bei dösenden Tieren teilweise geschlossen (Ruckebusch, 1972).

REM-Schlaf tritt bei Pferden und Schafen nur während der Nacht auf, bei Schweinen auch tagsüber (Ruckebusch, 1972). Schafe zeigen REM-Schlaf mit einer durchschnittlichen Dauer von $5,5 \pm 0,4$ min und während des Schlafens eine abfallende Herz- und Atemfrequenz (Klemm, 1966). Während des REM-Schlafes sind die Augen von Schafen, Pferden und Schweinen ganz geschlossen (Ruckebusch, 1972). Kalus u.a. (2014) konnten in ihrer Studie bei Pferden keinen REM-Schlaf bei stehenden Tieren beobachten, aber sie vermuten aufgrund der manchmal aufgetretenen Abflachung des EEG während des Stehens einen gewollten Übergang zu REM-Schlaf, der aber nicht vollzogen werden konnte, da die Tiere standen. Das Pferd befindet sich im REM-Schlaf entweder in Brustlage mit aufgestütztem Kopf oder in kompletter Seitenlage mit mehr oder weniger langgestreckten Extremitäten und bei fast allen Pferden treten Zuckungen der Gliedmaßen auf (Kalus u.a., 2014). Der Großteil des Liegens findet bei Pferden nach Mitternacht statt (Kalus u.a., 2014).

Während des SWS-Schlafes sind die Augen ausschließlich bei Schweinen ganz geschlossen, bei Schafen und Pferden können diese auch halb geschlossen sein (Ruckebusch, 1972). Pferde im SWS-Schlaf schlafen oft in Seitenlage mit ausgestreckten Beinen und können für kurze Perioden stehend schlafen (Tobler, 1995). Die Untersuchungen von Kalus u.a. (2014) ergaben, dass Pferde einen hohen Anteil des SWS-Schlafes im Stehen schlafen (40 %) und nur einen geringen Anteil in Brustlage und eher selten in Seitenlage.

2.1.3.2 Schlaf beim Wiederkäuer

Adulte Kühe liegen grundsätzlich im Brustbereich auf der Sternalregion (Sambraus, 1978). Die Vorderbeine sind gewöhnlich im Karpalgelenk untergeschlagen und die Hinterbeine etwas gestreckt (Sambraus, 1978). Die Enden der Extremitäten ragen seitlich unter dem Rumpf heraus, wodurch eine leichte Verdrehung im Rumpf entsteht, welche den Bauch seitwärts etwas belastet und somit das Euter sichtbar macht (Sambraus, 1978). Die Tiere legen sich üblicherweise auf die Körperseite, deren Vorderextremität beim Hinlegen als erstes gebeugt wird (Sambraus, 1971). Der Kopf wird üblicherweise aufrecht getragen (Sambraus, 1978). Während des

Schlafens werden Kopf und Hals flach auf den Boden gestreckt oder auf die Flanke der weniger belasteten Körperseite gelegt (Sambraus, 1978). Hänninen u.a. (2008) konnten diese Haltung bei Kälbern besonders während des REM-Schlafes beobachten. Die seitliche Liegeposition mit ausgestreckten Beinen kann bei ungestörten Kühen vorkommen (Bogner und Grauvogl, 1984; Tobler, 1995), allerdings kann diese Position von älteren Kühen für höchstens 12 Minuten eingenommen werden, da die Tiere in dieser Position nicht im Stande sind zu rülpfen und so die Gärgase nicht abgeben können (Bogner und Grauvogl, 1984; Sambraus, 1978). Im Gegensatz dazu können Kälber ohne Probleme 40 Minuten seitlich liegend verbringen (Sambraus, 1978). Adulte Rinder liegen durchschnittlich 9 bis 12 Stunden am Tag (Bogner und Grauvogl, 1984), sie sind Kurzschläfer (Tobler, 1995) und schlafen ca. 4 Stunden täglich, hauptsächlich nachts, und verbringen die Nächte größtenteils (87%) liegend (Ruckebusch, 1972), können aber auch stehend schlafen (Tobler, 1995). REM-Schlaf tritt nur bei liegenden Kühen auf (Ruckebusch, 1972, 1974; Strasser, 2011). Generell haben Kühe einen polyphasischen Schlaf (Tobler, 1995).

Aufgrund der schnelleren und leichteren Futteraufnahme bei Stallhaltung verlängert sich die Ruhezeit im Vergleich zur Weidehaltung (Bogner und Grauvogl 1984). Rinder beenden kurz vor Sonnenaufgang die Nachtruhe und verbringen den Tag hauptsächlich mit Grasens, Ruhen (mehrere Liegeperioden) (Sambraus, 1978) und Wiederkauen. Vor allem die Mittagszeit und Perioden während der Nacht verbringen Rinder bevorzugt liegend (Bogner und Grauvogl, 1984). Die letzten Stunden vor dem Anbruch der Dunkelheit sind die Tiere aktiver und danach folgt die Nachtruhephase (Sambraus, 1971). Werden die Dunkelperioden jahreszeitlich bedingt länger, wird die Nachtruhe nach Mitternacht häufiger zum Harnen, Koten oder Fressen unterbrochen (Sambraus, 1978). Bei hauptsächlichlicher Stallhaltung wird der Aktivitätsrhythmus der Rinder durch die Fütterung bestimmt (Sambraus, 1978).

Ruhen:

Die Differenzierung von Ruhen und Schlaf ist schwierig (Bogner und Grauvogl, 1984). Im Allgemeinen ruhen Rinder nicht nur liegend sondern auch stehend, jedoch nur, wenn keine Aktivität ausgeübt wird (Bogner und Grauvogl, 1984). Ruhen ist durch die Entlastung und Entspannung des Körpers durch Anlehnen, Bequem-

Stellen oder Hinlegen gekennzeichnet (Bogner und Grauvogl, 1984). Dieser Zustand wird auch als Rast bezeichnet, wobei das Tier Anteilnahme an den Geschehnissen der Umwelt zeigt und somit die Reaktion auf äußere Reize mit dem Zustand der Aktivität gleichzustellen ist (Bogner und Grauvogl, 1984).

Dösen:

Für den Begriff Dösen beim Rind gibt es keine klare, allgemein gültige Definition, siehe dazu Kapitel 2.1.2. Laut Ruckebusch (1972) verbringen Kühe den Großteil einer 24-Stunden-Periode wach und zeigen Dösen, aber auch Schlaf, vermehrt in der Nacht (Ruckebusch, 1972). Während des Dösens und speziell während des Wiederkauens sind bei Kühen Delta-Frequenzen im EEG erkennbar (Ruckebusch, 1972), welche beim Menschen mit einem Anteil von unter 20 % in den NREM-Stadien 1 und 2 und über 20 % in den NREM-Stadien 3 und 4 (mind. 50 %) vorkommen (siehe Tabelle 1). Bei adulten, dösenden Schafen kann man im EEG Spindeln beobachten (Ruckebusch, 1972). Während des Dösens war die Erregungsschwelle gegenüber einem Audioreiz niedrig (Ruckebusch, 1972). Dösen wird als eine Kombination aus synchronisierter, langsamer Aktivität mit hoher Spannung (HVSA) und schneller Aktivität mit niedriger Spannung (LVFA) beschrieben und liegt somit zwischen Wachheit und NREM-Schlaf (Ruckebusch, 1972). Auch ein schwacher Rückgang des Muskeltonus und der Herz- und Atemfrequenz ist bei dösenden Tieren erkennbar; außerdem ist das obere Augenlid entspannt (Ruckebusch, 1972). Dösen endet entweder mit dem Beginn von NREM-Schlaf oder Wachheit (Ruckebusch, 1972). Auch Ternman u.a (2012) konnten einen häufigeren Übergang von Dösen zu NREM-Schlaf beobachten, aber auch Übergänge von Dösen zu REM-Schlaf und Wiederkauen.

NREM/SWS-Schlaf:

Das EEG des SWS-Schlafes von Rindern ist charakterisiert durch eine synchronisierte, langsame Aktivität mit hoher Spannung (HVSA) (Ruckebusch, 1972). Die Erregungsschwelle gegenüber einem Audioreiz verzehnfacht sich während des SWS-Schlafes im Gegensatz zum Dösen. SWS-Schlaf kann auch im Stehen erfolgen.

REM-Schlaf:

REM-Schlaf ist im EEG durch eine schnelle Aktivität mit niedriger Spannung (LVFA) charakterisiert; er tritt bei Kühen und Schafen nur nachts auf (Ruckebusch, 1972). Wenn adulte Rinder im Laufe des SWS-Schlafes wiederkauen und dann damit aufhören, fallen diese oft sofort in den REM-Schlaf (Ruckebusch, 1972). Bei Kälbern konnte Dösen von NREM-Schlaf nicht differenziert werden und die Tiere fielen oft ohne vorher in den NREM-Schlaf zu gelangen in den REM Schlaf (Hänninen u. a., 2008). Die Entwicklung des Gehirns während der REM-Phase (Siegel, 2005) könnte ein Grund dafür sein, dass Neugeborene nach Wachsein nicht in das Stadium 1 des NREM-Schlafes sondern in den REM-Schlaf wechseln (Cascadon und Dement, 2011).

Während der REM-Phase bei Wiederkäuern ist ein Rückgang der Pansenbeweglichkeit und ein totaler Verlust der Muskelspannung erkennbar (Ruckebusch, 1972). Ruckebusch (1962b) beobachtete 130 Minuten REM-Schlaf bei zwei Tage alten Lämmern innerhalb einer 24-Stunden-Periode. Der gesamte REM-Schlaf setzte sich aus 22 Einzelperioden zusammen. Mit dem Einsetzen des Wiederkauens bei diesen Sauglämmern verringerte sich der Anteil von REM-Schlaf an der 24-Stunden-Periode. Bei zwölf Monate alten Schafen konnte man eine weitere Reduktion des REM-Schlafes, welcher in drei oder 4 Einzelperioden auftrat, auf 32 Minuten feststellen.

Wiederkauen verursacht Artefakte im EEG, EMG und EOG und ist als ein rhythmisches Muster mit spitzen Wellen erkennbar (Ternman u.a., 2012; Hänninen u.a., 2008; Strasser, 2011). Es ist leicht von dem unregelmäßigen, bei fressenden Tieren vorliegenden Muster unterscheidbar (Ternman u. a., 2012). Ruckebusch (1972) konnte während des Wiederkauens Dösen beobachten, da Delta-Frequenzen im direkt von der Hirnrinde abgeleiteten EEG erkennbar waren. Klemm (1966) erkannte bei wiederkauenden Schafen keinen Schlaf. Im Gegensatz dazu schreiben Zepelin u.a. (2005), dass Rinder während des Wiederkauens schlafen können. Im Allgemeinen können Artefakte EEG-Wellen überlagern, wodurch verschiedene Frequenzen nicht mehr eindeutig abgrenzbar sind (Wellach, 2011) und diese somit das EEG schwer auswertbar machen. Die Kaubewegungen beim Wiederkauen führen zu Artefakten im EEG, welche das eigentliche EEG überlagern. Sowohl Ruckebusch (1972) als auch Klemm (1966) verwendeten eine invasive Methode mit

implantierten Elektroden, die vermutlich eine Artefakt-freie oder –arme EEG-Messung ermöglichte.

Während Ruckebusch (1972) die Elektroden implantierte, verwendeten Ternman u.a. (2012), Hänninen u. a. (2008) und Strasser (2011) eine nicht-invasive Methode, indem sie die Elektroden an der Hautoberfläche befestigten. Hänninen u. a. (2008), Ternman u.a. (2012) und Strasser (2011) untersuchten den Schlaf anhand der Elektroenzephalografie (EEG), der Elektromyografie (EMG) und der Elektrokulografie (EOG). Es wurde zwischen den Stadien Wach, NREM, REM (Hänninen u.a., 2008) und Dösen (Ternman u. a., 2012; Strasser, 2011) unterschieden. Bei Kälbern konnte kein Dösen beobachtet werden (Hänninen u. a., 2008). In diesen Studien unterteilte man die aufgezeichneten Daten in 30-Sekunden-Epochen und jeder Epoche wurde ein Schlafstadium manuell zugeordnet (Hänninen u.a., 2008; Ternman u.a., 2012; Strasser, 2011).

Während der erhobenen 20-Stunden-Periode schliefen Kälber zu 25%, wovon sie 45% im REM-Schlaf verbrachten (Hänninen u. a., 2008). 58% dieser Periode verbrachten sie liegend, 5% in Seitenlage (Hänninen u. a., 2008). Kühe verbringen laut Ruckebusch (1972) eine Nacht von 12 Stunden zu 16% wach, 51,9% dösend, 25,8% im NREM-Schlaf und 6,3 % im REM-Schlaf (die Zahlen wurden anhand der Mittelwerte dreier Kühe berechnet) (Ruckebusch, 1972). Strasser (2011) konnte beobachten, dass 7 Kühe (im Durchschnitt) die Nächte zu 13,7 % dösend, 14,6% im NREM-Schlaf, 1,5 % im REM-Schlaf, 32,9 % wach und 37,3 % wiederkauend verbringen. Hier muss allerdings beachtet werden, dass ca. 2 bis 6 Stunden pro Nacht und Kuh aufgezeichnet wurden und nicht wie bei Ruckebusch (1972) 12 Stunden.

Tabelle 3 zeigt die durchschnittliche Dauer der einzelnen Schlafstadien der verschiedenen Studien. Es ist zu beachten, dass es sich bei der angegebenen Stundenanzahl jeweils um die gesamte Aufzeichnungsdauer pro Kuh (Kalb) handelt. Von den aufgezeichneten Stunden waren bei Ternman u.a. (2012) 43 Stunden und 34 min und bei Hänninen u.a. (2008) 90 Stunden und 30 Minuten auswertbar. Die Werte von Ruckebusch (1972) und Ternman u.a. (2012) unterscheiden sich in Bezug auf Dösen stark. Ternman u.a. (2012) führt das auf die unterschiedliche

Aufzeichnungsmethode und auf die Tatsache, dass Ruckebusch (1972) den Mittelwert von nur drei Kühen verwendete, zurück. Auch unterschiedliche Laktationsstadien und Rassenunterschiede könnten ein Grund dafür sein (Ternman u. a., 2012).

Tabelle 3: Durchschnittliche Dauer der einzelnen Schlafstadien der verschiedenen angeführten Studien.

Schlafstadien	Ruckebusch, 1972	Hänninen u.a., 2008	Ternman u.a., 2012
Anzahl der Tiere im Versuch, Aufzeichnungsdauer/Tier, Tageszeit der Aufzeichnung	3 Kühe, 12 Stunden/Kuh, Nachts	6 Kälber, 20 Stunden/Kalb, Tag und Nacht	8 Kühe, 5 Stunden/Kuh, Nachts
NREM	-	3 ± 0,7 min	5 ± 3 min
REM	4 min 30s	2 ± 0,4 min	3 ± 1 min
DÖSEN	19 min 40s	-	3 ± 2 min

Ternman u.a. (2012) und Strasser (2011) verwendeten zur Bestimmung der einzelnen Schlafstadien von adulten Kühen unter anderem Power-Spektren im Frequenzbereich 10-30 Hz. NREM-Schlaf wurde bei einer Power kleiner $0,2 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ gewertet; für Dösen wurde ein Power-Bereich zwischen $0,2 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ und $1,0 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ angenommen (Ternman u.a., 2012; Strasser, 2011). Für REM-Schlaf definierten Ternman u.a. (2012) einen Wert kleiner $0,2 \text{ nV}/\text{Hz}$, was jedoch aufgrund der angegebenen Einheit (Vaseghi, 2009) einen Tippfehler vermuten lässt und als Wert kleiner $0,2 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ oder $0,2 \text{ nV}^2/\text{Hz}$ (bei 10-30 Hz) anzunehmen ist. $0,2 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ würde dabei der NREM-Grenze entsprechen und $0,2 \text{ nV}^2/\text{Hz}$ ist als zu niedrig für REM-Schlaf einzustufen, da die EEG-Aktivität beim REM-Schlaf ähnlich dem Wachsein ist und somit deutlich über jener von NREM-Schlaf liegen sollte. Die Power-Spektren wurden alle für den Frequenzbereich zwischen 10 und 30 Hz berechnet und somit wurden die unteren Frequenzbereiche, welche eigentlich für die Bestimmung von NREM-Schlaf herangezogen werden (siehe Tabelle 1), nicht berücksichtigt.

2.2 Erfassung des Schlafes

2.2.1 Nervensystem im Überblick

Zu den Hauptaufgaben von Nervensystemen gehören der sensorische Eingang, die Integration sowie der motorische Ausgang. Die Informationssammlung über Prozesse im Organismusinneren oder über die Welt außerhalb des Körpers (zum Beispiel Lichtsinneszellen im Auge) erfolgt über sensorische Rezeptorzellen. Die Verarbeitung der erhaltenen Informationen findet meist im Zentralnervensystem (Gehirn und Rückenmark) statt. Dieser Vorgang wird als Integration bezeichnet. Das Zentralnervensystem sendet Signale an Effektorzellen (zum Beispiel Muskelzellen), welche die Antwort des Körpers auf die empfangenen Reize ausführen. Die Signalübertragung erfolgt durch Nerven (Campbell und Reece, 2006; Trepel, 2003).

2.2.1.1 Aufbau eines Wirbeltier-Neurons

Der Aufbau eines Neurons (Nervenzelle) ist charakterisiert durch den Zellkörper und zwei Typen von Faserfortsätzen, die Dendriten und das Axon.

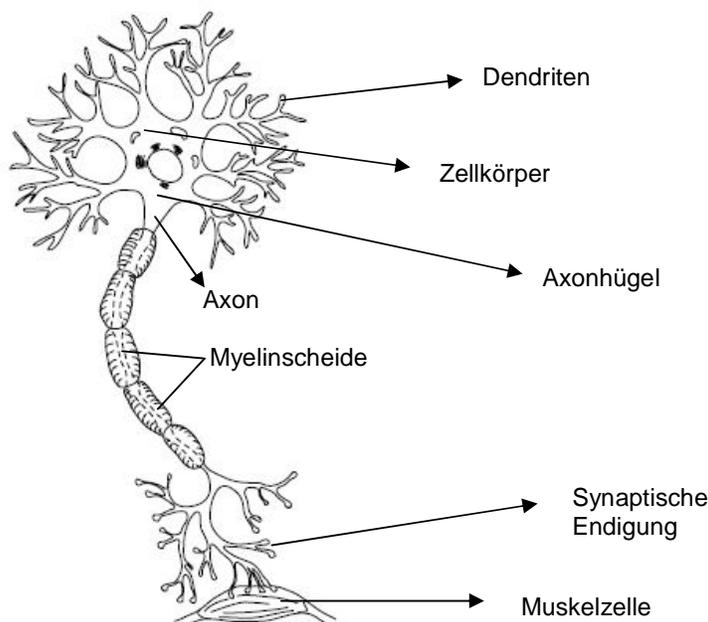


Abbildung 2: Neuron nach Campbell und Reece (2006).

Der Empfang von Informationen anderer Zellen erfolgt über die Dendriten, welche diese Informationen als elektrische Signale zum Zellkörper des Neurons leiten. Die

Aufgabe der Axone ist es, diese Informationen an andere Zellen (Zielzellen) weiterzuleiten. Die Zielzelle kann ein weiteres Neuron oder ein Effektor sein (Muskelzelle oder Drüsenzelle). Über spezialisierte synaptische Endigungen der Axone erfolgt durch die Abgabe chemischer Botenstoffe (Neurotransmitter) die Signalübertragung von einem Neuron zu einer Zielzelle. Die Kontaktstelle zwischen synaptischer Endigung und der Zielzelle heißt Synapse. Die Zelle, die das Signal weiterleitet, wird als präsynaptische Zelle bezeichnet und die Zielzelle als postsynaptische Zelle (Campbell und Reece, 2006; Zalpour, 2006).

2.2.1.2 Großhirn, Großhirnrinde

Das Großhirn ist in eine linke und rechte Hemisphäre unterteilt, wobei jede dieser Hemisphären aus einer äußeren Schicht aus grauer Substanz, der Großhirnrinde, und der darunter liegenden weißen Substanz sowie mehreren tief in der weißen Substanz liegenden Basalkernen besteht. Die Großhirnrinde bildet den größten und komplexesten Teil des Säugergehirns. Eine Besonderheit des Säugergehirns ist der Neocortex, eine zusätzliche außen liegende Schicht aus grauer Substanz, welche aus sechs Lagen von Neuronen besteht (Campbell und Reece, 2006; Ulfing, 2008; Zalpour, 2006).

Die kortikalen Neuronen sind im Wesentlichen in Form von zwei unterschiedlichen Funktionseinheiten (Kolumnen) verbunden, den vertikalen und horizontalen Kolumnen. Die horizontalen Kolumnen spielen für das EEG eine untergeordnete Rolle. In den vertikalen Kolumnen findet man die für das EEG funktionell bedeutsamen Pyramidenzellen (Wellach, 2011).

2.2.1.3 Nervensignale, Aktionspotential

Jede lebende Zelle besitzt eine elektrische Ladungsdifferenz über ihrer Plasmamembran – das Membranpotential. Innerhalb der Plasmamembran ist die Konzentration der Anionen höher und in der extrazellulären Flüssigkeit ist die der Kationen höher. Dadurch kommt es zu einer elektrischen Polarisierung der Plasmamembran; d.h. eine größere negative Ladung auf der Innenseite. Somit bilden zwar alle Zellen ein Membranpotential aus, aber nur Muskel- und Nervenzellen haben die Fähigkeit, dieses aktiv zu ändern und werden deshalb als erregbare Zellen bezeichnet (Campbell und Reece, 2006; Wellach, 2011; Zalpour, 2006).

Das Membranpotential eines nicht stimulierten Neurons nennt man Ruhepotential. Werden dendritische Regionen durch einen Neurotransmitter gereizt, kann es zu einer Hyperpolarisation (Anstieg der Spannung über der Membran) oder zu einer Depolarisation (Abnahme der Spannung über der Membran) kommen. Diese Spannungsänderungen werden als elektrische Potentiale bezeichnet (Campbell und Reece, 2006; Wellach, 2011).

Ein Neuron kann über Tausende von Synapsen Informationen von vielen anderen Neuronen erhalten. Manche dieser Informationen sind erregend und manche hemmend. Bei einer erregenden Synapse wird die postsynaptische Zelle depolarisiert. Diese Veränderung des Membranpotentials wird als exzitatorisches (oder erregendes) postsynaptisches Potential, kurz EPSP, bezeichnet. Wird die Plasmamembran des postsynaptischen Neurons bis zu einem bestimmten Schwellenpotential depolarisiert, so löst dieser Vorgang am Axonhügel ein Aktionspotential aus. Die Schwelle kann durch gleichzeitiges Eintreffen mehrerer EPSPs von einem (zeitliche Summation) oder mehreren (räumliche Summation) Neuronen überschritten werden (Campbell und Reece, 2006; Zalpour, 2006).

Das Aktionspotential ist ein Alles-oder-Nichts-Ereignis und der eigentliche Nervenimpuls. Entstehen kann ein Aktionspotential aufgrund spannungsgesteuerter Ionenkanäle, welche sich in Abhängigkeit von Änderungen des Membranpotentials öffnen oder schließen und so den Ein- und Ausstrom der Ionen kontrollieren. Wird das Schwellenpotential erreicht, so kommt es im Verlauf der depolarisierenden Phase zu einer Veränderung des Membranpotentials, das heißt das Zellinnere wird positiver als der extrazelluläre Raum. Danach folgen die Repolarisationsphase und das Nachpotential. Während der Nachpotentialphase kommt es zu einer Hyperpolarisation. Würde in diesem Zeitraum ein zweiter depolarisierender Reiz auftreten, könnte kein Aktionspotential ausgelöst werden. Diesen Zeitraum, in dem es zu keiner erneuten Depolarisation kommen kann, nennt man Refraktärzeit. Die Refraktärzeit bestimmt somit die maximale Frequenz, mit der ein Neuron ein Aktionspotential generieren kann. Starke Reize führen zu einer höheren Frequenz von Aktionspotentialen als schwächere Reize, was bedeutet, dass ein Neuron aufgrund eines starken Reizes zahlreiche Aktionspotentiale generiert, welche

maximal so schnell aufeinander folgen können, wie es die Refraktärzeit erlaubt (Campbell und Reece, 2006; Zalpour, 2006) .

Anders als beim EPSP kommt es beim inhibitorischen (hemmenden) postsynaptischen Potential, kurz IPSP, zu einer Hyperpolarisation der Membran, wodurch es für die Zelle schwieriger wird, ein Aktionspotential zu generieren, da das Schwellenpotential nicht überschritten werden kann (Campbell und Reece, 2006; Zalpour, 2006).

2.2.2 Die Quellen des EEG

Als Quellen des EEG werden die Ladungsänderungen (Änderungen des Membranpotentials) der Pyramidenzellen, welche durch EPSP oder IPSP induziert werden, bezeichnet. Je mehr Synapsen gleichzeitig zu einer Änderung des Membranpotentials postsynaptischer Membranen führen, desto stärker wird das Potentialfeld und umso besser dessen Messbarkeit an der Oberfläche (Wellach, 2011).

Es werden keine Potentiale, Aktionspotentiale oder Membranpotentiale gemessen, sondern Spannungen oder Potentialdifferenzen. Zur Messung von Spannungen benötigt man eine differente (messende) und eine indifferente Elektrode (Referenzelektrode). Ist die Referenzelektrode aktiv, das heißt es finden unter beiden Elektroden Potentialänderungen des Hirngewebes statt, ist die Ableitung bipolar. Ist die Referenzelektrode nicht aktiv, das heißt die Elektrode ist weit weg von Orten, an denen aktive Potentialänderungen stattfinden, wird die Ableitung als unipolar bezeichnet (Witte u. a., 2011).

2.2.3 Polysomnographie

Als Polysomnographie in ihrer einfachsten Form bezeichnet man die Aufzeichnung von EEG, EOG und EMG zur Klassifikation der Schlafstadien und der Untersuchung von Schlafprozessen. Zusätzlich werden oft die Atmung, ein EKG sowie Gliedmaßenbewegungen erfasst (Keenan und Hirshkowitz, 2011).

Die Elektroenzephalografie (EEG) ist eine Methode zur Messung von Spannungen bzw. Potentialdifferenzen der Pyramidenzellen in den oberflächlichen Schichten der Hirnrinde (Wellach, 2011; Witte u. a., 2011). Aus der Sicht der Technik ist die

Aufgabe eines EEG-Gerätes die Erfassung, Verstärkung, Filterung und Darstellung sowie Dokumentation der vom Gehirn generierten elektrischen Aktivität (Hinrichs, 2011).

Die Elektrookulografie (EOG) ist für die Erkennung des REM-Schlafes unerlässlich. Die Elektroden werden in der Nähe des äußeren Augenwinkels angebracht und über die Hornhaut-Netzhaut-Potentialdifferenzen aktiviert. Die rechte EOG-Elektrode wird oberhalb und die linke EOG-Elektrode unterhalb des äußeren Augenwinkels platziert (Keenan und Hirshkowitz, 2011).

Die Elektromyografie (EMG) dient der Aufzeichnung des Muskeltonus und ist somit ebenfalls für die Ermittlung des REM-Stadiums von großer Bedeutung. Beim Menschen werden die Muskelareale auf und unter dem Kinn mittels EMG aufgezeichnet (Rechtschaffen und Kales, 2002).

Um Messungen durchzuführen, muss eine stabile, elektrisch leitende Verbindung zwischen Kopfhautoberfläche und Messverstärker bestehen (Hinrichs, 2011). Die Haut muss sorgfältig gereinigt werden, um einen guten Kontakt zu gewährleisten (Keenan und Hirshkowitz, 2011). Die Verbindung zwischen Kopfhaut und Verstärker wird durch Elektroden gewährleistet, welche mit Hilfe einer elektrisch leitenden Paste den Kontakt zur Hautoberfläche sicherstellen (Hinrichs, 2011).

Neben hirneigenen elektrischen Potentialen können von den Elektroden auch externe Störungen an den Verstärker herangeführt werden (Hinrichs, 2011). Die Auswirkung dieser Störfaktoren auf die Registrierung werden Artefakte genannt (Wellach, 2011). Technische Artefakte können beispielsweise durch Störspannungen, schlechten Elektrodensitz, defekte Elektrodenkabel sowie elektromagnetische und elektrostatische Induktion entstehen (Wellach, 2011). Biologische Artefakte, wie etwa Muskelartefakte, entstehen durch willkürliche Muskelaktivität direkt unterhalb oder in der Nähe der Ableiterelektrode (Wellach, 2011). Diese Artefakte können EEG-Wellen überlagern (Wellach, 2011).

2.2.4 Erfassung nach visuellen Gesichtspunkten

Die Elektroenzephalografie ist die Methode der Wahl für die Untersuchung von Schlaf (Tobler, 1995). Die elektroenzephalografischen Darstellungen vom Schlaf beim Menschen können aber nicht für alle Spezies angewendet werden (Tobler,

1995). Es gibt aber laut Tobler (1995) verschiedene Verhaltensmerkmale des Schlafes, die es ermöglichen, das Schlafverhalten von niederen Wirbeltieren sowie von Invertebraten zu untersuchen, wie beispielsweise die typische Körperhaltung, die körperliche Ruhe, die Reizschwelle oder die Regulationsfähigkeit des Körpers sowie die genutzten Schlafplätze. Die Schlafplatzwahl variiert je nach Lebensweise und sozialer Organisation (Zepelin u.a., 2005). Höhlen, Gräben und Bäume sind typische Schlafplätze und bieten Sicherheit (Zepelin u.a., 2005). Ein wichtiges Verhaltensmerkmal für die Ermittlung des Schlafes ist die Reizschwelle der untersuchten Tiere (Tobler, 1995). Wenn ein Tier schläft, benötigt man intensivere Reize, um eine Reaktion zu erhalten (Tobler, 1995). Den tatsächlichen elektrophysiologischen Zustand des Gehirns kann man durch eine Beobachtung des Verhaltens jedoch nicht erfassen und somit müssen Aussagen über etwaige Schlafstadien, welche auf alleinige Verhaltensbeobachtungen basieren, mit Vorsicht interpretiert werden.

3 Tiere, Material und Methoden

Die Methoden dieser Arbeit wurden vom institutionellen Ethikkomitee, in Übereinstimmung mit den GSP Guidelines und der nationalen Gesetzgebung, diskutiert und anerkannt.

3.1 Tiere und Haltungsbedingungen

Alle Erhebungen fanden im Versuchsbetrieb Kremesberg der Veterinärmedizinischen Universität Wien statt. Für die Untersuchung wurden anfänglich 7 Tiere auf Basis von Charakter und Umgänglichkeit von der Betriebsleiterin ausgewählt. Die Auswahl dieser Tiere erfolgte bereits einen Monat vor der Vorbereitungsphase. In dieser Phase mussten zwei Tiere ausgeschlossen werden, da diese erhebliche Abwehrreaktionen bei Rasur bzw. Befestigung der Elektroden zeigten. Eine weitere Kuh schied aus gesundheitlichen Gründen aus. Die Untersuchungen zur Erfassung polysomnographischer Daten wurden daher schließlich an vier Rindern durchgeführt. Es handelte sich um zwei trockenstehende Kühe und zwei Kalbinnen der Rassen Fleckvieh und Holstein (Tabelle 4).

Tabelle 4: Versuchstiere die zur Erfassung polysomnographischer Daten herangezogen wurden.

Name		Rasse	Alter
Leonie	trockenstehend	Fleckvieh	11 J.
Elbi	trockenstehend	Holstein	15 J.
Ehra	Kalbin	Holstein	2 J.
Endora	Kalbin	Holstein	2 J.

Die Tiere erhielten die gewohnte, vom Futterroboter gemischte Futtermischung bestehend aus Heu, Grassilage, Maissilage, Stroh, Weizen, Gerste und Wasser. Futter und Wasser wurden ständig bereitgestellt.

Die Rinder wurden für die jeweilige Untersuchung in einer abgetrennten, mit reichlich Stroh eingestreuten Versuchsbucht (Abbildung 3) im Liegebereich der Trockensteher untergebracht. Dies ermöglichte ihnen Sicht- und Berührungskontakt mit ihren Artgenossen.



Abbildung 3: Eingestreuete Versuchsbucht im Liegebereich der Trockensteher.

3.2 Verwendetes Material

3.2.1 Polysomnograph und übrige technische Ausstattung

Die Erfassung der polysomnographischen Daten erfolgte mit dem tragbaren Polysomnographen „SomnoscreenTM plus“ der Firma SOMNOmedics GmbH (Randersacker, Deutschland). Es wurden EEG, EOG, EMG, EKG sowie die Atmung

(nicht bei allen Tieren) aufgezeichnet. Zur Bearbeitung der erhobenen Daten stand ein Notebook mit der Software DOMINO zur Verfügung.

Für die Videoaufzeichnungen wurden eine Kamera, Typ: Sanyo VCC-HD2300P und zwei Infrarotstrahler, Typ: IR-LED294S-90, über der Versuchsbucht montiert. Das Stallklima wurde mit dem Gerät HUMLOG 20 von E+E Elektronik erfasst.

Die Atmung wurde mittels Atmungsgurt der Firma SOMNOmedics GmbH (Randersacker, Deutschland), welcher mit dem Polysomnographen verbunden wurde, aufgezeichnet.

3.2.2 Elektroden

Für die Ableitung des EEGs wurden fünf Goldnapfelektroden der Firma GRASS Technologies (Middleton, U.S.A.) mit kurzem Stiel und einem Durchmesser von 1 cm und einer Kabellänge von 122 cm, verwendet. Die Ableitung von EOG, EMG und EKG erfolgte mittels Snap-On-Elektroden mit einem Durchmesser von 2,5 cm der Firma SOMNOmedics GmbH (Randersacker, Deutschland).

3.2.3 Verbrauchsmaterial

In der folgenden Tabelle 5 sind die für den Versuch benötigten Materialien aufgelistet.

Tabelle 5: Verwendete Materialien

Rasur	Elektrodenfixierung	Kabel- und Gerätefixierung
Einwegrasierer (BiC Flex 3)	Alkohol	Euterhalter (Kerbl)
Rasiergel (Balea Rasiergel sensitive)	Einweghandschuhe	Sleezy (Loesdau)
Rasierapparat	Nuprep Skin Prep Gel (Weaver)	Kabelbinder
Küchenschwamm	Wattestäbchen	Gaffa Tape
Kübel	Kollodium	Kabelschlauch (Ø 2 cm)
	Petrischale	Zwickzange
	Elektrodenpaste (Synapse)	
	Mulltupfer (LR, 8cm x 8cm)	
	Superkleber (Power Flex Gel von LOCTITE), Leukotape classic (2cm x 10m)	

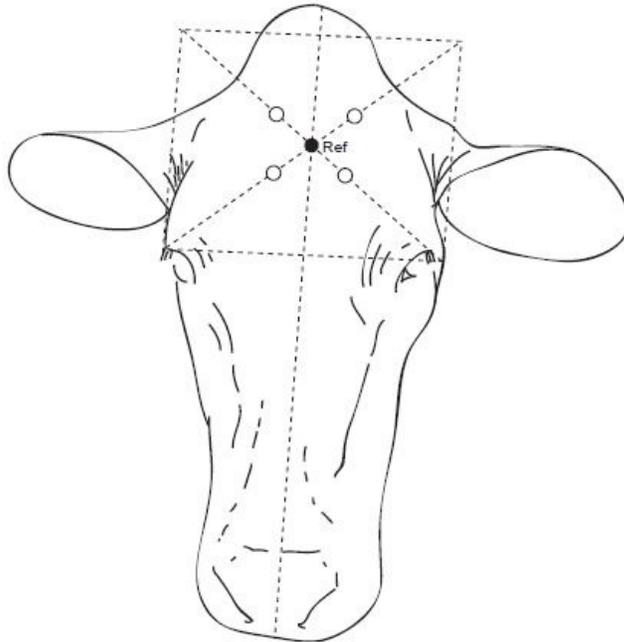
3.3 Vorbereitungsphase

Den Versuchstieren wurden regelmäßig sowohl ein Euterhalter als auch ein aus der Pferdehaltung stammender textiler Brust- und Halsschutz („Sleezy“) angelegt. Der Euterhalter diente im Zuge der Datenerhebung der Fixierung des Somnoscreen™ plus und einzelner Elektrodenkabel mit Kabelbinder. Der Sleezy wurde leicht modifiziert und über den Euterhalter angezogen, um die Elektrodenkabel zusammenzuhalten und gleichzeitig einen gewissen Bewegungsspielraum zu gewährleisten. Zur Befestigung des Sleezy (Abbildung 4) am Euterhalter wurden Knopflöcher eingenäht.



Abbildung 4: Kuh Leonie im Sleezy.

Die Gewöhnung der Tiere an den Untersuchungsablauf fand während einer zweiwöchigen Vorbereitungsphase statt. Jedes Tier wurde an der Stirn (EEG), über dem rechten (Abbildung 7) und unter dem linken Auge (EOG), an der Hornbasis (Abbildung 6) (Basiselektrode), rechts und links am Hals (Abbildung 6) (EMG), sowie je nach Lage des Euterhalters, rechts und links, im achten bis neunten Intercostalraum, eine Handbreite dorsal des Buggelenks (Abbildung 10) (EKG), trocken sowie nass mit Rasiergel rasiert. Danach wurde der Euterhalter angelegt. Nach einer mehrstündigen Pause erfolgte die Fixierung der Elektroden an den rasierten Stellen und die Befestigung einer Geräteatrappe am Euterhalter, welche das Gewicht des Somnoscreen™ plus simulierte.



Die Elektrodenpositionierung auf der Stirn (Abbildung 5) orientierte sich an Takeuchi u.a. (1998), wobei als Referenzelektrode die mittlere der 5 EEG-Elektroden definiert wurde (siehe auch Hänninen u.a., 2008 und Ternman u.a., 2012).

Die Positionierung der Referenzelektrode wurde außerdem mit einem SOMNOmedics-Techniker besprochen.

Abbildung 5: Elektrodenpositionierung auf der Stirn. Die mittlere Elektrode ist die Referenzelektrode für die vier differenten Elektroden; sie ermöglicht bipolare Ableitungen (siehe auch Kapitel 2.2.2).

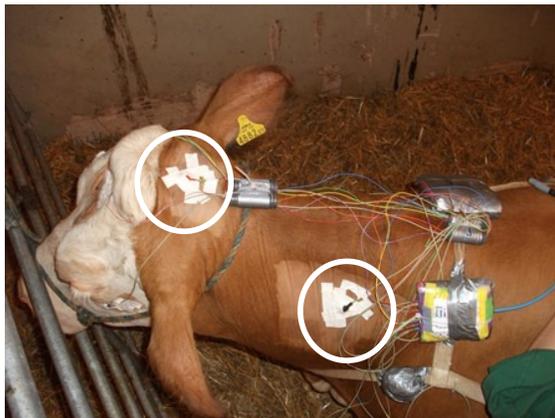


Abbildung 6: Basiselektrode an der Hornbasis und linke EMG Elektrode am Hals.

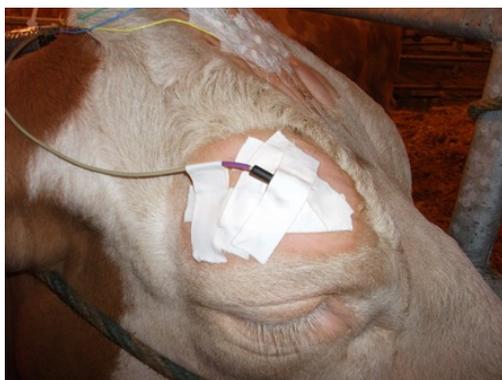


Abbildung 7: EOG Elektrode über dem rechten Auge.

Um eine lange Aufzeichnungsdauer zu gewährleisten, wurden verschiedene Elektrodenarten und deren Befestigungsmöglichkeiten sowie geeignete Systeme zur Elektrodenkabelfixierung mittels Kabelschläuchen getestet. In Tabelle 6 ist die finale Methode angeführt.

Tabelle 6: Elektrodenauswahl für EEG, EOG, EMG und EKG und die jeweilige Befestigungsmethode.

Ableitung	Elektrodenart	Befestigung
EEG	Goldnapfelektroden	Kollodium
EOG	Snap On Elektroden	Superkleber (Power Flex Gel von LOCTITE), Leukotape classic (2cm x 10m)
EMG	Snap On Elektroden	Superkleber (Power Flex Gel von LOCTITE), Leukotape classic (2cm x 10m)
EKG	Snap On Elektroden	Superkleber (Power Flex Gel von LOCTITE), Leukotape classic (2cm x 10m)

Vor der Fixierung der Elektroden wurden die rasierten Stellen mit Wasser und Seife und abschließend Alkohol gereinigt und die Elektrodenpositionierung mit einem Markierungsstift gekennzeichnet. Zur Fixierung der Goldnapfelektroden wurde die Haut mit einem Wattestäbchen und Nuprep Skin Prep Gel der Firma Weaver aufgeraut. Die Goldnapfelektroden wurden randvoll mit der Elektrodenpaste „Synapse“ befüllt und positioniert. Anschließend wurden passend zurechtgeschnittene Mulltupfer (4cm x 4 cm) in Kollodium getaucht und über die Goldnapfelektroden gelegt und angedrückt, bis diese aushärteten und klebten. Nach Anbringung der 5 Stirnelektroden wurden diese noch einmal mit einem in Kollodium getauchten Mulltupfer bedeckt und angedrückt. Vor der Befestigung der Snap-On-Elektroden wurde die Haut ebenfalls mit dem Nuprep Skin Prep Gel behandelt und die Elektroden mit einer ausgiebigen Menge Superkleber (Power Flex Gel von LOCTITE) angeklebt. Um einen optimalen Halt zu gewährleisten, wurden anschließend Leukotapestreifen (Leukotape classic, 2cm x 10m) über die Elektroden geklebt und an den Streifenenden zusätzlich mit Superkleber befestigt. Für eine längere Haftung erwies es sich außerdem als sinnvoll, die Elektroden so zu kleben, dass diese nicht auf einer Hautfalte lagen, siehe Abbildung 8.

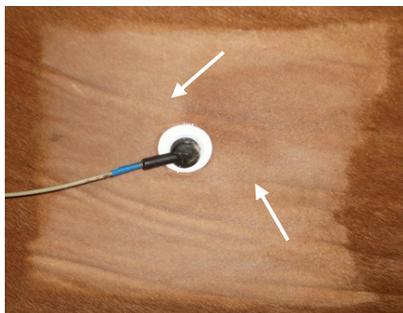


Abbildung 8: Die Elektrode wurde hier zwischen zwei Hautfalten geklebt. Die weißen Pfeile markieren jeweils eine Hautfalte.

Um die Elektrodenkabel locker, aber geregelt von der Klebestelle zum Somnoscreen™ plus zu führen, wurden je zwei Kabelschläuche von 8 cm Länge zusammengeklebt. Die Elektrodenkabel wurden je nach Lokalisation durch den rechten oder linken Kabelschlauch gezogen (Abbildung 9). Diese Kabelschlauchkonstruktionen wurden während des Aufklebens der Elektroden vorübergehend am Strick caudal der Hornbasis bzw. am Euterhalter mit Kabelbindern fixiert. Die Kabel der EKG-Elektroden führten nicht durch die Kabelschläuche, sondern wurden locker mit Kabelbindern am Euterhalter fixiert. Der Atmungsgurt wurde mit Kabelbindern locker am Euterhalter befestigt (Abbildung 10). Nach abgeschlossener Montage und Fixierung des in einer Schutzhülle verpackten Somnoscreen™ plus (bzw. der Attrappe) mit Gaffa-Tape am Euterhalter wurde der Kopfstrick abgenommen und der Sleezy angezogen. Die zuvor am Strick bzw. Euterhalter fixierten Kabelschläuche wurden mit Kabelbindern am Sleezy (genähte Knopflöcher) angebracht.

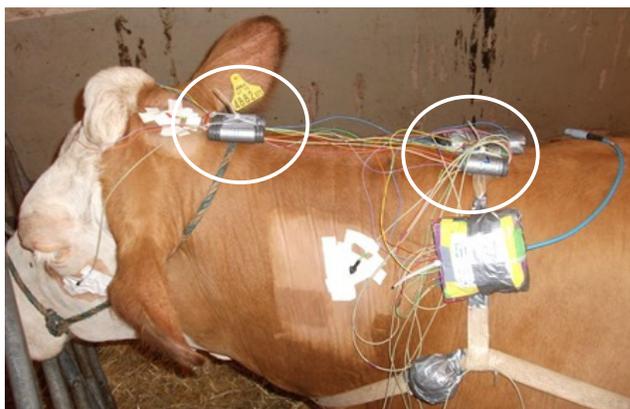


Abbildung 9: Kabelschlauchsystem und vorübergehende Fixierung am Euterhalter bzw. Kopfstrick während der Montage.



Abbildung 10: Der Atmungsgurt (blau) wurde mit Kabelbindern am Euterhalter befestigt. Positionierung der linken EKG Elektrode im achten bis neunten Intercostalraum, eine Handbreite dorsal des Buggelenks.

Zur Überprüfung der Elektrodensignale wurde der SomnoscreenTM plus mit dem Notebook verbunden und über die DOMINO Software ein Impedanztest durchgeführt. In der Vorbereitungsphase wurden nach erfolgreich durchgeführtem Test (grüne Ampel) das Gerät entfernt und der Sleezy angezogen und mit Kabelbindern am Euterhalter befestigt. War das Signal nicht zufriedenstellend (gelbe oder rote Ampel), wurden die Elektroden erneut geklebt. Die Geräteattrappe verblieb am Euterhalter und jedes Tier verbrachte mindestens eine Nacht der Vorbereitungsphase voll ausgestattet in der Versuchsbucht. Während der Datenerhebungsphase wurde der SomnoscreenTM plus nach erfolgreich abgeschlossenem Impedanztest auf dem Tier belassen.

3.4 Datenerhebung

Je Tier erfolgte die Datenaufzeichnung während dreier Nächte, siehe Tabelle 7, Kapitel 4.1. Die Tiere wurden am Vormittag in die Versuchsbucht gebracht, in der die Rasur erfolgte. Nachmittags wurde ihnen der Euterhalter angelegt und die rasierten Bereiche erneut gereinigt. Danach erfolgte die Fixierung der Elektroden. Die Tiere wurden jeweils von einer Person gehalten, wodurch diese ruhiger wurden und für die Beklebung mit den Elektroden still standen. Tiere, die eine Anbindung per Strick an der Stalleinrichtung gewohnt waren, wurden so fixiert.

Die genauen Vorbereitungen der Tiere für die nachfolgenden Messungen wurden bereits in der Vorbereitungsphase erarbeitet und sind in Kapitel 3.3 beschrieben.

Parallel zu den elektrophysiologischen Aufzeichnungen erfolgten jeweils auch Videoaufzeichnungen (für die vorliegende Arbeit nicht weiter berücksichtigt).

3.5 Datenaufbereitung und -auswertung

3.5.1 Software

Die Daten wurden mit der Polysomnographiesoftware DOMINO ausgewertet. Die Ausstellung von Reports ermöglicht es, wichtige Eckdaten, wie beispielsweise die Schlafstadienverteilung, in übersichtlicher Form darzustellen.

3.5.2 Manuelle Auswertung

Da das Aufzeichnungsgerät SomnoscreenTM plus und die Software DOMINO für den Menschen konzipiert wurden, wurde in dieser Arbeit auf die mögliche automatisierte, algorithmenbasierte Auswertung verzichtet. Die Daten wurden manuell ausgewertet und jeder 30-Sekunden-Periode die Zustände Wach, NREM-Schlaf, REM-Schlaf, Wiederkauen oder Bewegung (Movement) zugeordnet (s. 3.5.3). Beim Auftreten von zwei verschiedenen Stadien innerhalb einer 30 Sekunden-Periode wurde jenes gewertet, welches mehr als die Hälfte der Periode einnahm.

Zusätzlich wurden der Beginn und das Ende der NREM- und REM-Stadien in einer Excel-Datei vermerkt, um später die durchschnittliche Dauer der einzelnen Stadien berechnen zu können. Alle Ergebnisse basieren auf diesen Excel-Daten.

3.5.3 Schlafstadienauswertung

Die Kriterien von Rechtschaffen und Kales (2002) dienen als Basis für die Auswertung. Außerdem erfolgte durch die Mitarbeiter des Schlaflabors des Krankenhauses der Barmherzigen Brüder Wien eine Einschulung in das korrekte Vorgehen bei der Auswertung und die Bedienung der Software. Anschließend wurden Probeauswertungen durchgeführt, welche bei Unklarheiten und Fragen wiederum mit den Mitarbeitern des Schlaflabors nachanalysiert wurden. In Folge wurde mit der Auswertung der Daten begonnen.

3.5.3.1 Wach (W)

Das EEG kann sich im Wachzustand in Abhängigkeit von der Aktivität des Tieres sehr unterschiedlich darstellen. Fressen sowie Bewegungen können klar dem Wachzustand zugeordnet werden. Kaubewegungen (Abbildung 11) sind als hochfrequente, hochgespannte Ableitungen erkennbar. Auch das EMG und das EOG zeigen eine unregelmäßige Aktivität. Kaubewegungen und heftige Bewegungen

können zu Artefakten führen und die eigentlichen Ableitungen werden überlagert (Abbildung 12).

Bei allen Abbildungen handelt es sich jeweils um 30-Sekunden-Intervalle.

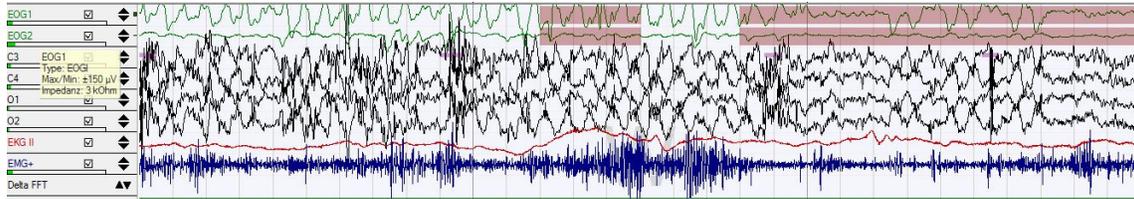


Abbildung 11: Das Tier ist wach und frisst. Kaubewegungen sind im EEG und im EOG deutlich als Kauartefakte erkennbar.

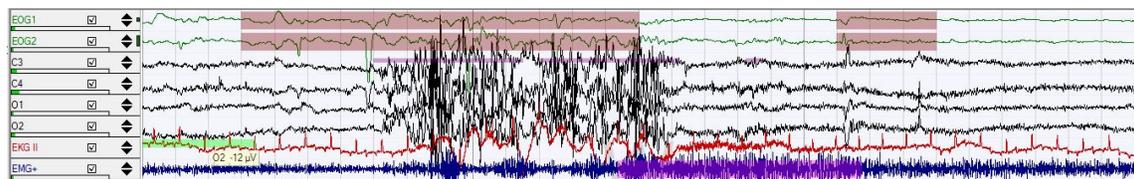


Abbildung 12: Das Tier ist im Wachzustand und im EEG und EMG ist eine heftige Bewegung erkennbar.

Sind die Tiere entspannt wach, sind keine Bewegungsartefakte und Kaubewegungen erkennbar und es liegt ein hochfrequentes EEG vor (Abbildung 13).

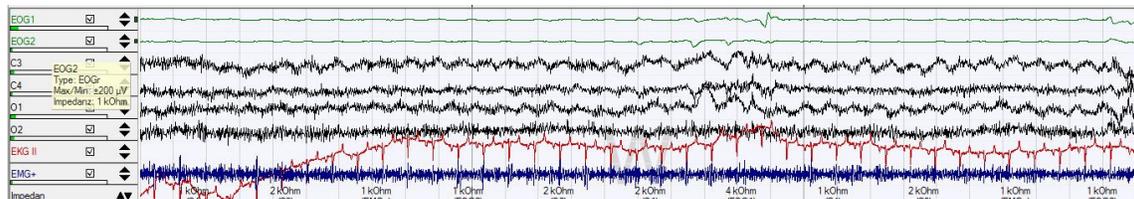


Abbildung 13: Waches Tier ohne Bewegungs- oder Kauartefakte in der Ableitung.

3.5.3.2 Movement (M)

Beim Auftreten von starken Artefakten (Abbildung 15) und Unsicherheit, ob das Tier wach ist oder nicht, wurde Movement (M) gewertet (Abbildung 14).

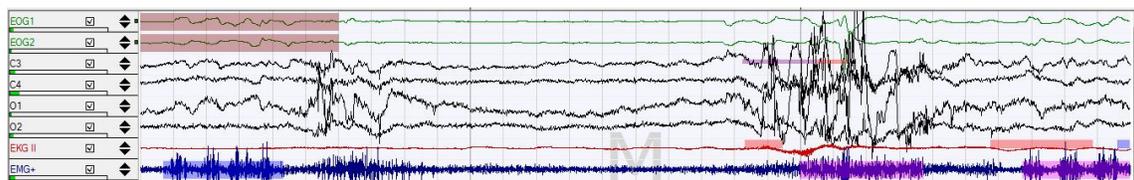


Abbildung 14: Hier wurde Movement (M) gewertet, da sich das Tier vor und nach diesem 30-Sekunden-Intervall im NREM-Schlaf befand und die Bewegungsartefakte nicht sicher auf eine Wachphase hinweisen. Außerdem nehmen die Artefakte über die Hälfte des 30 Sekunden Intervalls ein.

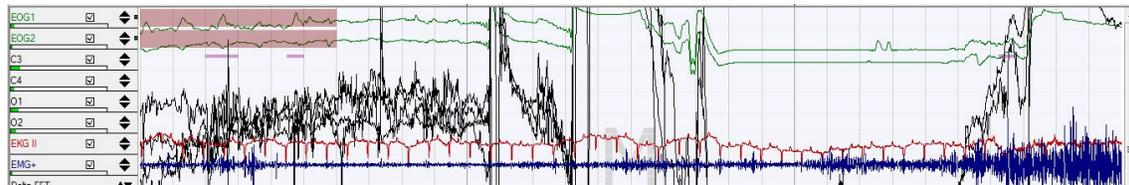


Abbildung 15: Starke Bewegungsartefakte im EEG und EOG.

3.5.3.3 Wiederkauen (4)

Die Kennzeichnung der Wiederkauphasen mit der Ziffer 4 hat nichts mit dem NREM-Schlafstadium 4 nach Rechtschaffen und Kales (2002) zu tun, sondern wurde nur zur Unterscheidung bzw. Beschriftung verwendet. Die Wiederkaubewegungen sind aufgrund der regelmäßigen Kaubewegungen deutlich erkennbar und unterscheiden sich durch die rhythmischen und spitzen Wellen klar von Fressen.

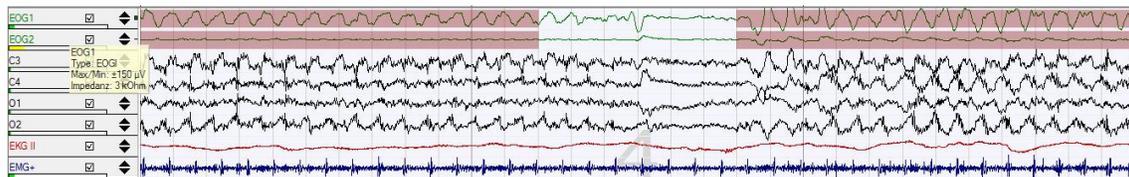


Abbildung 16: Wiederkauen ist aufgrund der regelmäßigen Kaubewegungen klar von Fressen (siehe Abbildung 11) unterscheidbar. Ein klares Erkennungsmerkmal sind die rhythmischen und spitzen Wellen.

3.5.3.4 Non Rapid Eye Movement (NREM)-Schlaf (1)

Für die manuelle Auswertung konnte NREM-Schlaf nicht weiter in die Stadien 1 bis 4 unterteilt werden. Es waren keine K-Komplexe oder Spindeln erkennbar, bei welchen man vollkommen ausschließen konnte, dass diese nicht artefaktbedingt zu sehen waren. Auch das Ausbleiben der für die Stadien 3 und 4 typischen hochamplitudigen niederfrequenten Delta-Aktivität erschwerte eine weitere Unterteilung.

Folglich wurde NREM-Schlaf gewertet, wenn keine Kaubewegungen, keine heftigen Bewegungen, kein Wiederkauen, kein REM-Schlaf und kein aktiver Wachzustand erkennbar waren (Abbildung 17). In Abbildung 18 ist der Übergang von NREM-Schlaf auf eine Wachphase dargestellt. Hier erkennt man die Unterscheidung von NREM-Schlaf und Wach im EEG, obwohl sich, laut Angaben der Analyse-Software DOMINO, der Frequenzbereich nicht ändert.

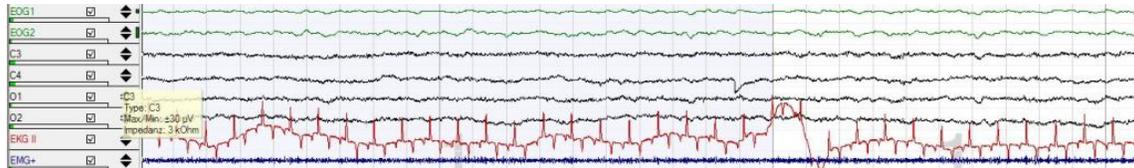


Abbildung 17: NREM wurde bei geringer Aktivität im EEG und regelmäßigem Muskeltonus sowie gleichmäßigem EOG gewertet.

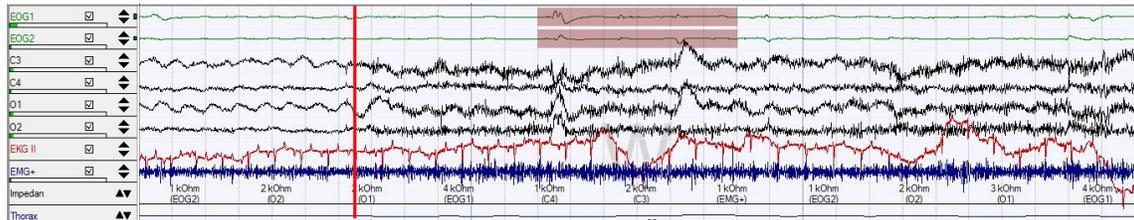


Abbildung 18: Die rote Markierung kennzeichnet den Übergang von NREM auf WACH: sehr gut in allen vier Kanälen des EEG erkennbar.

Aufgrund des Fehlens von unterschiedlichen Frequenzbereichen, welche zur Schlafstadien-Auswertung beim Menschen (Tabelle 2) (Rechtschaffen und Kales, 2002) und auch beim Pferd (Kalus, 2014) genutzt werden, wurde für diese Arbeit die Berücksichtigung von Power-Spektren in Erwägung gezogen. Wie bereits in Kapitel 2.1.3.2 erwähnt, verwendeten Ternman u.a. (2012) und Strasser (2011) zur Bestimmung der einzelnen Schlafstadien von adulten Kühen Power-Spektren. Um den NREM-Schlaf nach den Vorgaben von Ternman u.a. (2012) definieren zu können, wurden die Power-Spektren für 30-Sekunden-Intervalle mit der Mathematik Software MATLAB berechnet.

In Abbildung 19 ist das Power-Spektrum eines fressenden Tieres im Frequenzbereich von 10-30 Hz über 30 Sekunden dargestellt. Abbildung 20 zeigt das Power-Spektrum für ein Tier im REM-Schlaf (10-30 Hz, 30 Sekunden, C3). Das Power-Spektrum wird nur für jeweils eine EEG-Ableitung berechnet und die Einstellung der Frequenzbereiche wurde von Ternman u.a. (2012) übernommen. Es ist zu beachten, dass die hier abgebildeten Stadien „Wach-fressend“ und REM-Schlaf, anhand der manuellen Auswertung und nicht mittels Power-Spektral-Analyse bestimmt wurden. Die Power-Spektren wurden im Nachhinein berechnet, um sie anhand der von Ternman u.a. (2012) gewählten Grenzen zu bestimmen und mit der eigenen manuellen Auswertung zu vergleichen. Die berechneten Power-Spektren konnten jedoch nicht mittels der von Ternman u.a. (2012) vorgegebenen Grenzen ausgewertet werden, da die dort angegebenen Grenzwerte zumindest für die Bestimmung des REM-Schlafs unstimmtig bzw. fehlerhaft sind (siehe Kapitel 2.1.3.2) und auch jene für den NREM-Schlaf nicht anwendbar waren, da keine in dieser

Arbeit berechneten Power-Spektren im vorgegebenen Grenzbereich (siehe Kapitel 2.1.3.2) lagen. Zurückzuführen ist das vermutlich auf die Verwendung unterschiedlicher Aufzeichnungsgeräte. Zudem ist, wie bereits in Kapitel 2.1.3.2 erwähnt, die Sinnhaftigkeit der Verwendung des Frequenzbereiches 10-30 Hz fragwürdig. Somit wurde die Verwendung einer Power-Spektral-Analyse zur Auswertung der Schlafstadien in dieser Arbeit verworfen. Alle Aufzeichnungen wurden folglich nur manuell ausgewertet.

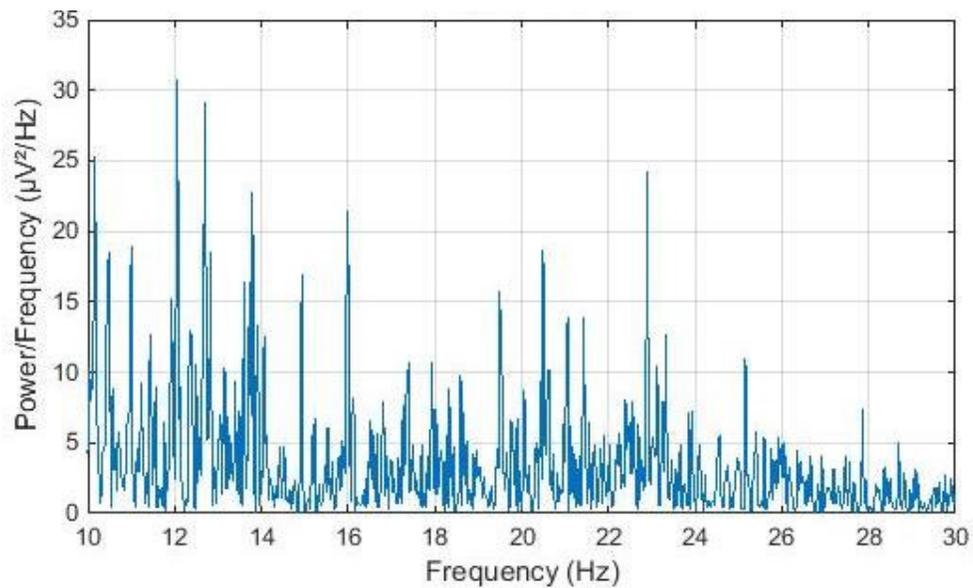


Abbildung 19: 30 Sekunden Abschnitt eines fressenden Tieres der Ableitung C4.

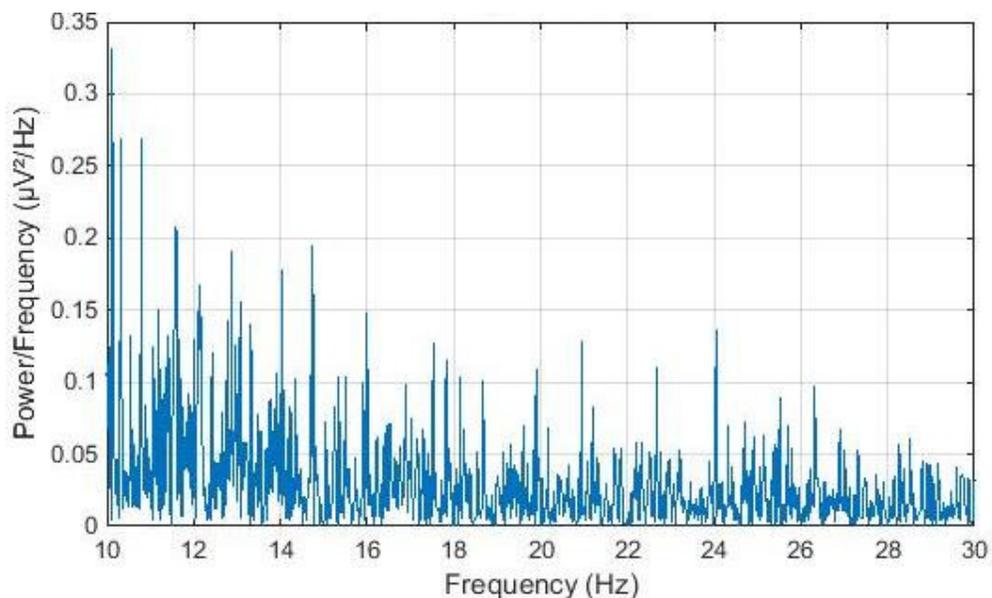


Abbildung 20: 30 Sekunden Abschnitt eines Tieres im REM Stadium der Ableitung C3.

3.5.3.5 Rapid Eye Movement (REM)-Schlaf

Der REM-Schlaf konnte anhand von EMG und EOG problemlos bestimmt werden. Der geringere Muskeltonus sowie vereinzelte Muskelzuckungen und die typischen schnellen Augenbewegungen, erkennbar durch gegenläufige Spannungsänderungen im EOG, ermöglichten eine klare Definition dieses Stadiums, siehe Abbildung 21 und Abbildung 22. Dieses Stadium wurde nach Rechtschaffen und Kales (2002) ab dem Eintritt des niedrigen Muskeltonus bis zur Wiedererkennung des normalen Muskeltonus gewertet, auch wenn nicht in jedem 30-Sekunden-Intervall dieses Zeitraumes schnelle Augenbewegungen erkennbar waren.

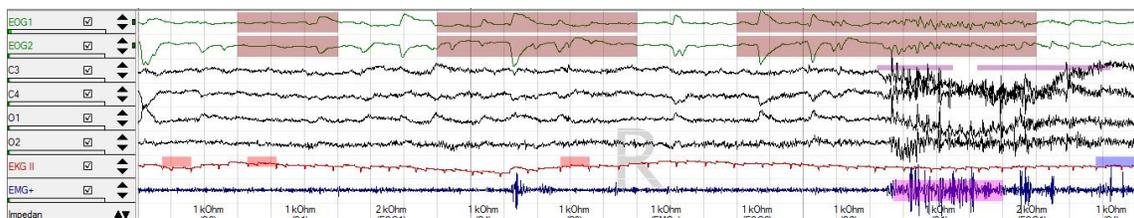


Abbildung 21: REM-Schlaf erkennbar durch die typischen Rapid Eye Movements im EOG und niedrigen Muskeltonus.

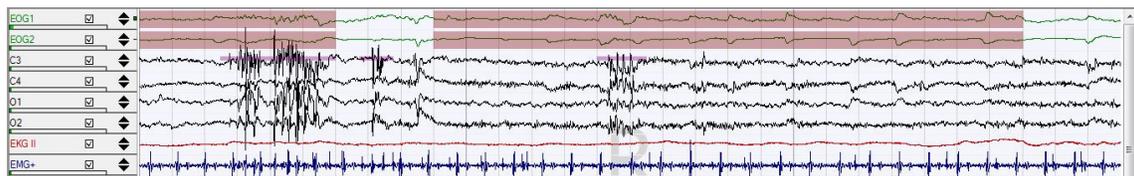


Abbildung 22: Auch hier sind die typischen schnellen Augenbewegungen sowie Muskelzuckungen erkennbar, wobei es sich bei den senkrechten Linien im EMG um EKG-Artefakte handelt.

3.5.4 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung erfolgte mit Excel 2010.

Es wurden für jedes Tier und die jeweiligen Nächte die Beobachtungszeit, die NREM-Schlafzeit, die REM-Schlafzeit und die Gesamtschlafzeit sowie der prozentuelle Anteil der drei letzteren an der Beobachtungszeit berechnet. Außerdem wurden der Mittelwert, die Standardabweichung sowie Maximum und Minimum über alle 10 Nächte von allen Tieren berechnet und wiederum der prozentuelle Anteil (n=10) von NREM, REM und GSZ an der Beobachtungszeit dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Messdauer

In Tabelle 7 sind der Messbeginn, das Messende und die Gesamtmesszeit pro Tier und Nacht dargestellt. Die Tiere wurden während den Messungen keiner Manipulation (z.B. Nachkleben von Elektroden) unterzogen.

Tabelle 7: Messbeginn, Messende und Gesamtmesszeiten pro Tier und Nacht.

Datum	Kuh/Kalbin	Messbeginn	Messende	Messung Gesamt (h)
19.08.2014	Ehra	19:57:32	09:48:59	13:51:27
20.08.2014	Ehra	20:12:30	08:58:41	12:46:11
22.08.2014	Elbi	18:50:37	08:50:59	14:00:22
25.08.2014	Endora	19:39:49	09:40:00	14:00:11
26.08.2014	Endora	18:55:26	08:55:00	13:59:34
27.08.2014	Leonie	22:17:00	08:13:48	09:56:18
28.08.2014	Leonie	19:11:22	09:11:00	13:59:38
01.09.2014	Elbi	18:16:33	06:20:07	12:03:34
03.09.2014	Leonie	20:00:34	09:17:20	13:16:46
04.09.2014	Ehra	20:07:30	08:48:59	12:41:29

4.2 Schlafarchitektur

4.2.1 Gesamtschlafzeit

Insgesamt wurden 130 Stunden und 35 min ausgewertet. Von den Versuchstieren Ehra und Leonie wurden jeweils drei Nächte analysiert. Eine Nachtaufzeichnung der Kalbin Endora musste ausgeschlossen werden, da diese vorzeitig ein Kalb gebar. In der ersten Nacht der Kuh Elbi konnte nur REM-Schlaf ausgewertet werden, da ein Signalfehler im EEG die Auswertung von NREM-Schlaf unmöglich machte, aber REM-Schlaf sehr gut alleine über EOG und EMG auswertbar ist.

Tabelle 8: Beobachtungszeit (min), NREM-Schlafzeit (min), REM-Schlafzeit (min) und Gesamtschlafzeit (min) für jedes Tier und jede Nacht sowie der prozentuelle Anteil von NREM, REM und GSZ an der Beobachtungszeit. Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum über alle 10 Nächte aller Tiere und der prozentuelle Anteil an der Beobachtungszeit.

Tier	Nacht	Zeitraum	Beobachtungszeit (BZ) (min)	NREM (min)	REM (min)	Gesamtschlafzeit (GSZ) (min)	Anteil NREM an BZ (%)	Anteil REM an BZ (%)	Anteil GSZ an BZ (%)
Ehra	1	19:57:32 bis 9:48:59	831.5	156.1	53.4	209.5	18.8	6.4	25.2
	2	20:12:30 bis 8:58:41	766.2	40.2	49.0	89.1	5.2	6.4	11.6
	3	20:07:30 bis 8:48:59	761.5	113.0	67.3	180.3	14.8	8.8	23.7
		Summe	2359.1	309.3	169.6	478.9	13.1	7.2	20.3
Leonie	1	22:17:00 bis 8:13:48	596.3	140.5	30.4	170.9	23.6	5.1	28.7
	2	19:11:22 bis 9:11:00	839.6	118.4	53.7	172.1	14.1	6.4	20.5
	3	20:00:34 bis 9:17:20	796.8	103.4	33.0	136.4	13.0	4.1	17.1
		Summe	2232.7	362.3	117.1	479.4	16.2	5.2	21.5
Endora	1	19:39:49 bis 9:40:00	840.2	99.1	68.8	167.9	11.8	8.2	20.0
	2	18:55:26 bis 8:55:00	839.6	96.1	53.6	149.6	11.4	6.4	17.8
		Summe	1679.8	195.2	195.2	317.5	11.6	7.3	18.9
Elbi	1	nur REM Phasen			31.6	31.6			
	2	18:50:37 bis 8:50:59	840.4	157.7	37.4	195.1	18.8	4.5	23.2
	3	18:16:33 bis 6:20:07	723.6	219.2	50.3	269.5	30.3	7.0	37.2
		Summe	1563.9	376.9	119.3	496.2	24.1	7.6	31.7
Mittelwert (n=10 Nächte)			783.6	124.4	48.0	161.1	16.2	6.3	22.5
Standardabweichung (n=10 Nächte)			77.9	47.7	13.5	62.1	7.0	1.5	7.0
Maximum (n=10 Nächte)			840.4	219.2	68.8	269.5	30.3	8.8	37.2
Minimum (n=10 Nächte)			596.3	40.2	30.4	31.6	5.2	4.1	11.6

Vergleicht man die prozentuellen Anteile von NREM an der Beobachtungszeit der jeweiligen Tiere (Tabelle 8 – orange Felder), ist jener von Elbi auffällig höher und führt bei dieser daher zu einem höheren Anteil der Gesamtschlafzeit an der Beobachtungszeit. Der Anteil des REM-Schlafes an der Beobachtungszeit ist allgemein relativ konstant, bei Leonie etwas geringer. Bei der Betrachtung der prozentuellen Anteile über alle 10 Nächte (Tabelle 8 – blaue Felder) ist eine höhere Standardabweichung des prozentuellen Anteils von NREM-Schlaf an der BZ erkennbar.

In Tabelle 9 ist die durchschnittliche Dauer der Schlafstadien NREM und REM über alle 10 Nächte dargestellt. Im Mittel übersteigt die Dauer der REM-Phasen deutlich die der NREM-Phasen.

Tabelle 9: Durchschnittliche Dauer (inkl. Standardabweichung) der Schlafstadien NREM und REM aller Tiere und Nächte (n=10).

Schlafstadium	Durchschnittliche Dauer (n=10)
NREM	3:58 ± 3:05 min
REM	5:48 ± 2:35 min

In den Abbildungen 23 bis 26 werden die jeweiligen Anteile der zugeordneten Stadien pro Kuh und Nacht dargestellt.

Bei Ehra (Abbildung 23) sind die ausgewerteten Stadien der Nächte 1 und 3 ähnlich verteilt. In der Nacht 2 ist deutlich weniger Schlaf aber dafür ein höherer Wiederkau- und Wachanteil erkennbar. Die Nächte 1 und 2 von Leonie zeigen einen hohen Movement-Anteil.

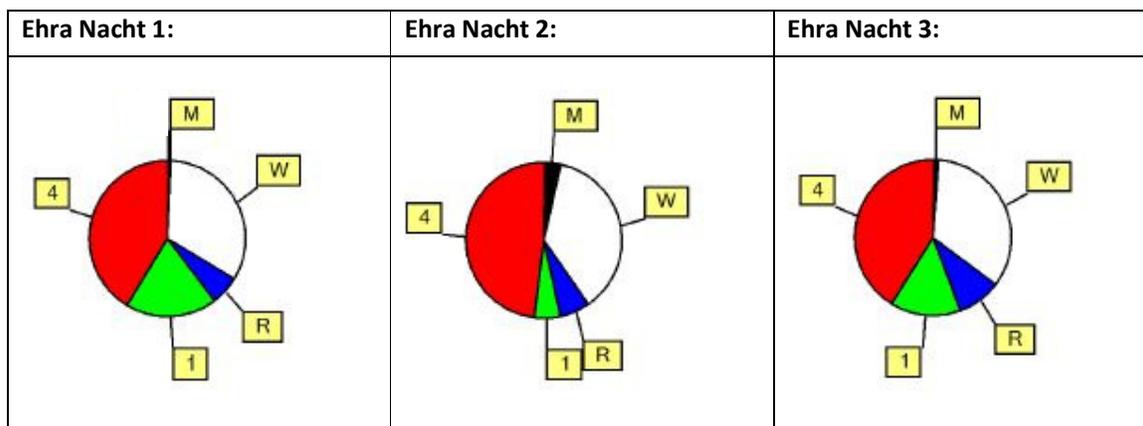


Abbildung 23: Ehra: Anteil der pro Nacht ausgewerteten Stadien an der jeweiligen Gesamtbeobachtungszeit. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.

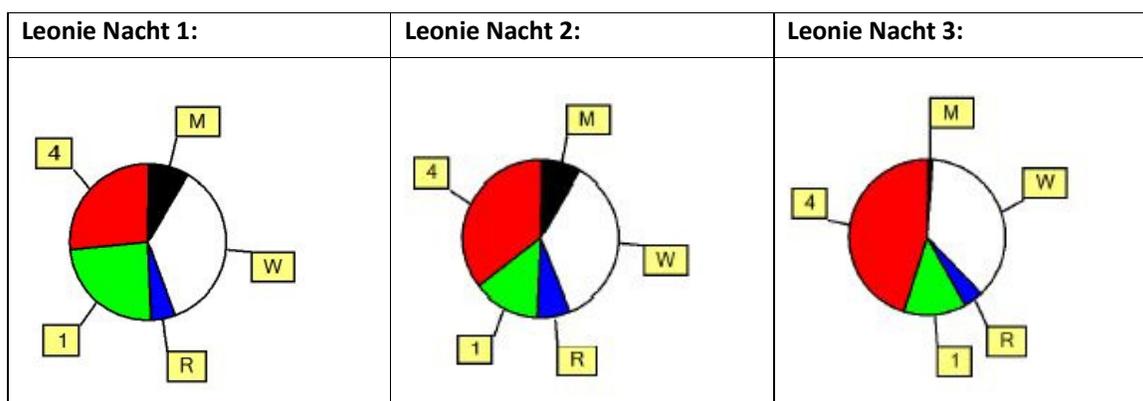


Abbildung 24: Leonie: Anteil der pro Nacht ausgewerteten Stadien an der jeweiligen Gesamtbeobachtungszeit. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.

Die Stadien der Nächte 1 und 2 von Endora (Abbildung 25) zeigen ein ähnliches Muster. Bei Elbi (Abbildung 26) ist in Nacht 3 ein relativ hoher Schlafanteil und vor allem NREM-Anteil erkennbar.

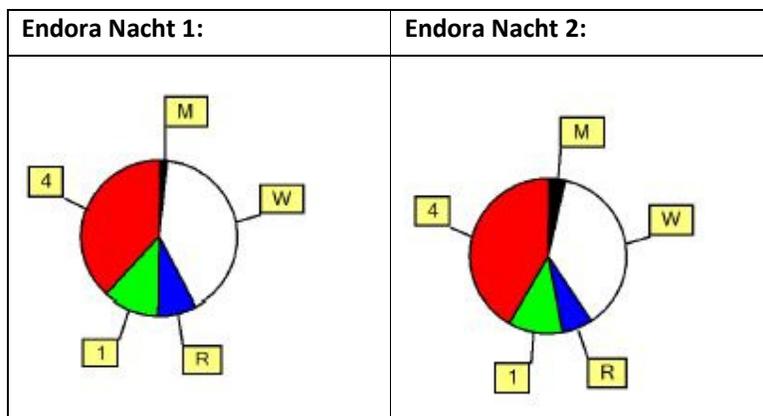


Abbildung 25: Endora: Anteil der pro Nacht ausgewerteten Stadien an der jeweiligen Gesamtbeobachtungszeit. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.

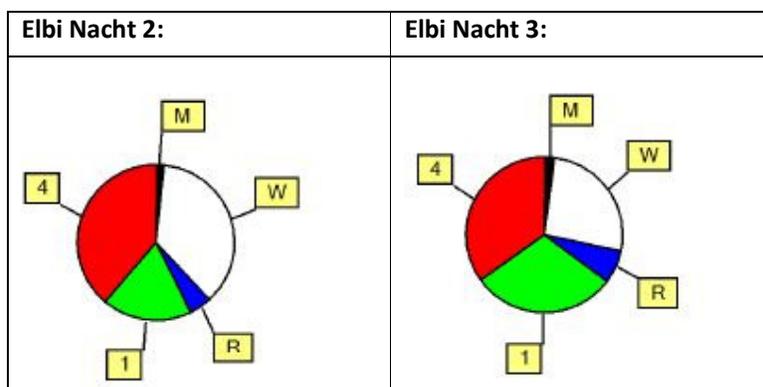


Abbildung 26: Elbi: Anteil der pro Nacht ausgewerteten Stadien an der jeweiligen Gesamtbeobachtungszeit. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.

Generell sind die Wiederkauphasen aller Tiere relativ gleich verteilt (mit Ausnahme der Nächte 1 und 2 von Leonie).

4.2.2 Schlaffragmentierung

In den folgenden Abbildungen 27 bis 30 wird die Schlaffragmentierung aller Tiere für die jeweiligen Nächte und deren Beobachtungszeit dargestellt. Bereits ein erster Blick zeigt, dass die Wiederkauphasen bei allen Tieren einen großen Anteil der Beobachtungszeit einnehmen. Bei Ehra (Abbildung 27) treten die REM-Phasen in allen drei Nächten oft direkt nach einer Wiederkauphase auf. Auch bei Elbi (Abbildung 30) und Endora (Abbildung 29) ist dieses Muster erkennbar, aber auch ein häufiger Übergang von NREM zu REM. Bei Leonie tritt REM-Schlaf größtenteils zwischen den Wiederkauphasen und nach dem NREM-Schlaf auf. Siehe dazu auch Kapitel 5.3.2.

Ehra

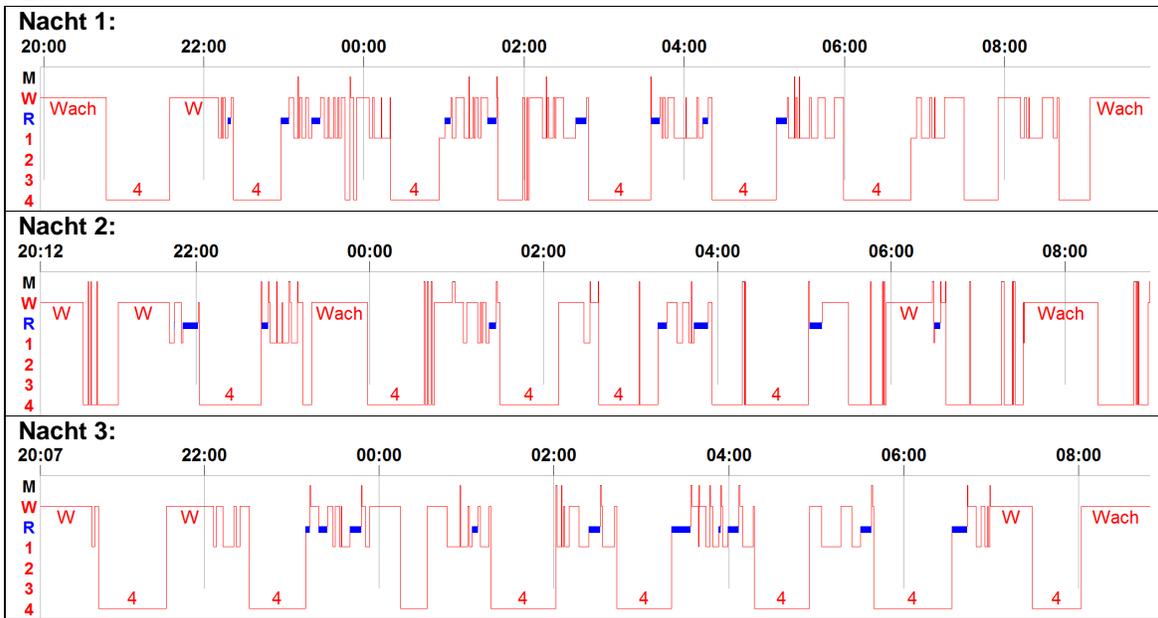


Abbildung 27: Schlaffragmentierung Ehra Nacht 1 bis 3. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.

Leonie

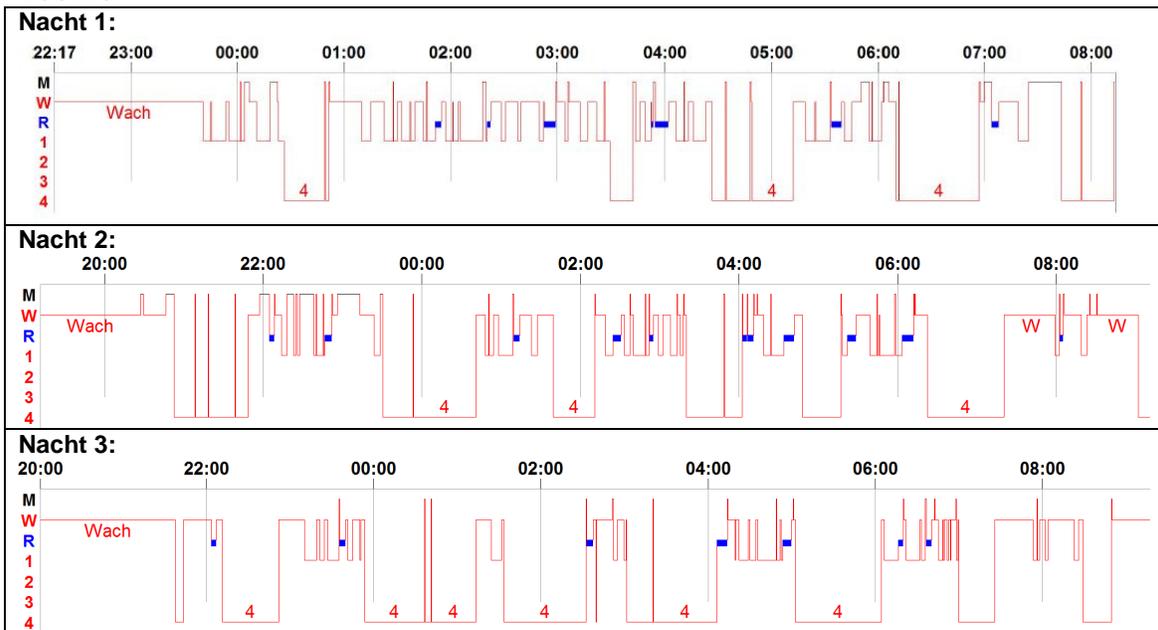


Abbildung 28: Schlaffragmentierung Leonie Nacht 1 bis 3. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.

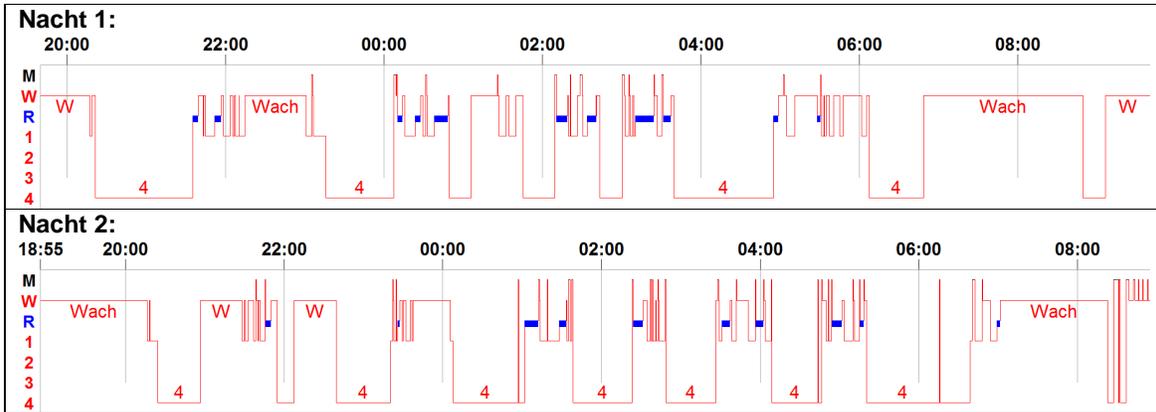
Endora

Abbildung 29: Schlafragmentierung Endora Nacht 1 und 2. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.

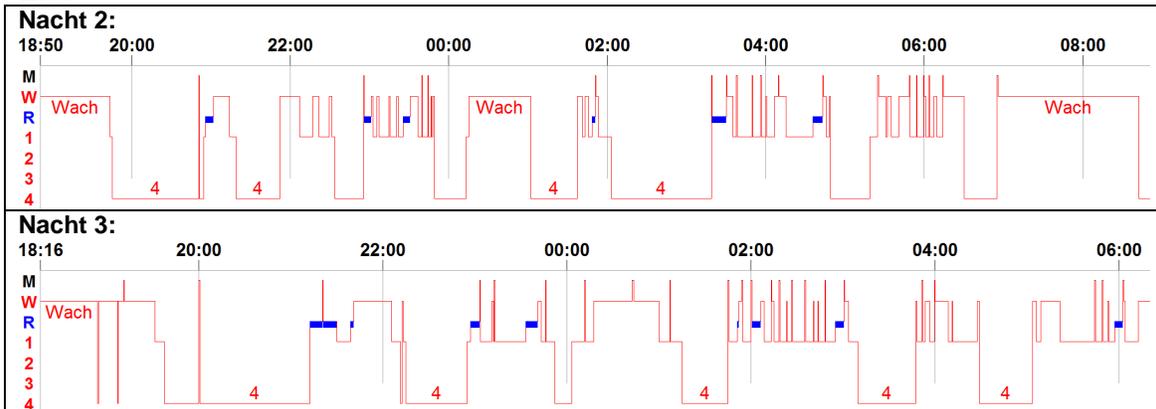
Elbi

Abbildung 30: Schlafragmentierung Elbi Nacht 2 und 3. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.

4.3 Messung in der Gruppe

Da es ursprünglich geplant war, die Messungen in der Gruppe durchzuführen, wurden die Tiere für einen Testdurchgang mit den aufgeklebten Elektroden und der Geräteatruppe nicht von der Herde isoliert. Der dadurch mögliche Zugang zur Kratzbürste erwies sich als problematisch, denn die Elektroden lockerten sich bereits nach wenigen Minuten. Auch die Neugierde der Artgenossen und die Nutzung verschiedener Elemente der Stalleinrichtung führten zu einer Lockerung der Elektroden. Um eine Messung über die gesamte Nacht zu gewährleisten, wurden die Tiere daher jeweils für die Aufzeichnungen isoliert.

5 Diskussion

5.1 Methodik

5.1.1 Referenzelektrode

Bevor mit der Testphase und Erhebungsphase begonnen wurde, stellte sich die Frage, ob die auch von Hänninen u.a. (2008) und Ternman u.a. (2012), angewandte Platzierung der Referenzelektrode an der Stirnmitte (Cz) sinnvoll ist. Takeuchi u.a. (1998) platzierte die Referenzelektrode bei Kälbern am Nasenrücken. Nach Wellach (2011) bezieht sich bei einer Referenzableitung das Messsignal aller zur Verfügung stehenden Elektroden auf eine gemeinsame Bezugselektrode. Die ausgewählte Referenz sollte hierbei neutral sein, das heißt frei von störenden Artefakten und möglichst wenig hirneigene Aktivität registrieren. Die Platzierung der Referenzelektrode an der Stirnmitte scheint bezüglich der Artefakt-Störungen sinnvoll, da hier wenig Bewegungs- und Muskelartefakte entstehen können, allerdings ist diese keineswegs frei von hirneigener Aktivität. Beim Menschen wird als Referenzpunkt in der Regel das Ohr gewählt, da dieses einen Kompromiss zwischen den Eigenschaften „Neutralität“ und „Artefaktbelastung“ darstellt, jedoch auch nie völlig neutral und relativ artefaktanfällig ist (Wellach, 2011). Bei der Untersuchung von Schlaf wird häufig die Ableitung gegen Cz verwendet, da unterhalb der Elektrode Cz mit Vigilanzschwankungen zusammenhängende Potentiale besonders häufig auftreten. Cz, auch Vertex genannt, bildet den gemeinsamen Bezugspunkt (Wellach, 2011). Die Positionierung der Elektroden wurde daraufhin mit einem Medizintechniker von Somnomedics besprochen, welcher die Ableitung gegen Cz empfahl, da diese für die Verwendung des SomnoscreenTM plus nötig ist.

5.1.2 Versuchsbedingungen und Tiere

Die Gewöhnung der Tiere an den Versuchsablauf und die Montage ist unerlässlich. Hier zeigte sich bereits früh, dass manche Tiere nicht kooperierten und ausgeschlossen werden mussten. Bei der Tierauswahl sollte man darauf achten, dass diese den Umgang mit Menschen gewöhnt sind und sich am Kopf berühren lassen. Generell muss für die Vorbereitung der Tiere viel Zeit eingeplant werden und je nach Kooperationsfähigkeit der Tiere benötigt man 2 bis 3 Personen, um die Elektroden sorgfältig zu befestigen und das Tier stressfrei zu fixieren. Die Tiere anhand einer zufälligen Stichprobe auszuwählen, könnte zu Problemen führen, da

Tiere, die generell einen nahen Umgang mit dem Menschen nicht dulden, möglicherweise auch schwierig an Berührungen am Kopf zu gewöhnen sind.

Das Vorhaben, die Tiere während der Aufzeichnung nicht zu isolieren, musste aufgrund des sofortigen Ganges zur Kratzbürste und der frühzeitigen Lockerung der Elektroden verworfen werden (siehe Kapitel 4.3).

Die Verwendung eines Slezys und die lockere Führung der Elektrodenkabel durch die kurzen Kabelschläuche sind notwendig, um eine lang andauernde Messung zu gewährleisten. Auch die zusätzliche Fixierung der Snap-On-Elektroden mit Leukotape und Superkleber sowie die zweifache Abdeckung der Goldnapfelektroden mit in Kollodium getauchten Mulltupfern sind ausschlaggebend.

5.2 Nomenklatur der Schlafstadien

5.2.1 Definition Dösen und SWS-Schlaf

Die Hauptproblematik der Definition von Dösen und SWS-Schlaf beim Rind wurde bereits in Kapitel 2.1.2 erwähnt. Obwohl in dieser Arbeit davon ausgegangen wird, dass Ruckebusch (1972) SWS-Schlaf als Synonym für NREM-Schlaf verwendete, ist nicht auszuschließen, dass es sich bei der angegebenen Definition von SWS-Schlaf nur um die Stadien 3 und 4 handelt. Dösen wie von Ruckebusch (1972) verwendet ist vermutlich mit den Stadien 1 und 2 beim Menschen vergleichbar, da der Autor diskutiert, dass Dösen eine Übergangsphase zwischen Wach zu SWS darstellen könnte, welche durch eine Mischung von LVFS und HVSA (siehe Kapitel 2.1.3.2) charakterisiert ist und je nach Vorkommen von schnellen oder langsamen Wellen eine unterschiedliche Stadiumtiefe vorliegt. In Abhängigkeit von der Schlaftiefe geht es entweder in Wach oder SWS über.

5.2.2 Wach, Rem-Schlaf, Wiederkauen, Movement

Die Auswertung von Wiederkauen, Movement und dem Stadium REM-Schlaf verlief ohne Probleme. Auch die Bewertung wacher Tiere, die aktiv waren, also beispielsweise gefressen oder sich bewegt haben, war unproblematisch.

5.2.3 Problematik NREM-Schlaf

Die Unterscheidung zwischen NREM-Schlaf und „entspanntem Wachsein“ erwies sich als schwierig. Das EEG zeigte keine für den NREM-Schlaf typischen Delta-Frequenzen, welche bei Untersuchungen von Pferden (Kalus u.a., 2014) auftraten. Ein möglicher Grund dafür könnte die Dicke der Schädeldecke und der Hornbasis beim Rind sein und die dadurch vermutlich schwächere Signalregistrierung. Ruckebusch (1972) beschrieb während des SWS-Schlafes beim Rind eine synchronisierte, langsame Aktivität mit hoher Spannung, was Delta-Frequenzen vermuten lässt. Trotz fehlendem Auftreten von Delta-Wellen und fehlendem Wechsel der Frequenzbereiche in dieser Arbeit, waren Veränderungen der EEG-Kurven (leicht höhere Frequenz und Amplitude bei wachen Tieren), die auf wechselnde Stadien hindeuten könnten, erkennbar (siehe Abbildung 18) und anhand dieser wurde NREM-Schlaf (leicht niedrigere Frequenz und Amplitude) zugeordnet.

Strasser (2011) konnte in Phasen, die als Dösen eingeordnet wurden, ab und zu K-Komplexe erkennen. Auch Ternman u.a. (2012) erkannten K-Komplexe und Spindeln, die jedoch nicht weiter bei der Auswertung berücksichtigt wurden. Auch in dieser Arbeit traten selten K-Komplexe und Spindeln auf, die jedoch mit Absprache der Mitarbeiter des Schlaflabors des Krankenhauses der Barmherzigen Brüder Wien verworfen wurden, da es sich auch um Artefakte handeln könnte.

Auf die Problematik der Power-Spektral-Analyse für die Bestimmung von Schlafstadien beim Rind wurde bereits in den Kapiteln 2.1.3.2 und 3.5.3.4 eingegangen.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Schlafarchitektur

Der höhere prozentuelle NREM-Anteil an der Beobachtungszeit bei einem Tier (Elbi) (Tabelle 8) ist schwer nachzuvollziehen und könnte tierindividuell aber auch aufgrund von externen Faktoren wie beispielsweise Stalltemperatur, Licht, Futterroboterfahrt etc. hervorgerufen worden sein. Gleiches gilt auch für die Abweichung der Nacht 2 von Nacht 1 und 3 bei der Kuh Ehra in Hinblick auf die Stadienverteilung (Abbildung 23). In diesem Zusammenhang wird auf die Arbeit von M. Raab verwiesen, da in dieser externe sowie auch physiologische Faktoren untersucht werden. Die im

Vergleich zum REM-Schlaf relativ höhere Standardabweichung des prozentuellen Anteils von NREM-Schlaf an der Beobachtungszeit (Tabelle 8) ist ebenfalls durch den hohen NREM-Anteil an der BZ bei der Kuh Elbi begründbar.

Der niedrigere REM Anteil ($n=3$) an der Beobachtungszeit bei Leonie (Tabelle 8) ist vermutlich auf kurzzeitige Lockerungen der Augenelektroden in Nacht 1 und Nacht 2 zurückzuführen (siehe Abbildung 24 – höherer Movement-Anteil), wodurch nicht alle möglichen REM-Phasen erkannt werden konnten. Länger andauernde Movement-Phasen, welche ebenfalls durch die lockeren Augenelektroden verursacht wurden, wurden aus der Auswertung rausgenommen. Die kürzeren Wiederkauperioden der Nächte 1 und 2 von Leonie sind vermutlich ebenfalls auf den erhöhten Movement-Anteil zurückführbar.

Vergleicht man die durchschnittliche Dauer der Schlafstadien NREM und REM dieser Arbeit (Tabelle 9) mit anderen Studien (Tabelle 3), sind keine erheblichen Abweichungen erkennbar. Betrachtet man jedoch die durchschnittlichen prozentuellen Anteile von NREM, REM und der Gesamtschlafzeit (Tabelle 8) an der Gesamtbeobachtungszeit über alle 10 Nächte und vergleicht diese mit Ruckebusch (1972) (Tabelle 10) ist auffällig, dass der REM Anteil dieser Arbeit (6,3%) mit jenem von Ruckebusch (1972) (6,3%) übereinstimmt. Hier ist noch einmal hervorzuheben, dass bei der Auswertung der REM-Schlaf aufgrund der guten EOG-und EMG-Qualität sehr gut erkannt werden konnte. Der niedrige REM-Anteil (1,5 %) in der Arbeit von Strasser (2011) wurde mit einer suboptimalen Platzierung der EOG-Elektroden begründet. Die Abweichung im Hinblick auf den NREM-Anteil der Studie von Ruckebusch (1972) ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass ein erheblicher NREM-Anteil bei nicht-invasiven Methoden in die Wiederkauperioden fällt und somit nicht ausgewertet werden kann.

Tabelle 10: NREM- (SWS-) und REM-Anteile sowie Anteile von Dösen und der Gesamtschlafzeit an der Beobachtungszeit in den Studien von Ruckebusch (1972), Strasser (2011) und dieser Arbeit.

Studie	Anzahl Tiere im Versuch	Anzahl Stunden gesamt	NREM (SWS) (%)	REM (%)	Dösen (%)	GSZ (%)
Ruckebusch, (1972)	3	36	25,8 %	6,3 %	51,9%	32,1 %
Strasser, (2011)	7	25	14,6 %	1,5 %	13,7 %	16,1 %
Heigl, (2015)	3	130	16,2 %	6,3 %	-	22,5 %

5.3.2 Schlaffragmentierung

Die Annahme, dass die Tiere in dieser Arbeit während des Wiederkauens in den NREM-Schlaf fallen können, ergibt sich vor allem aus der Betrachtung der Schlaffragmentierung (siehe Abbildung 27 bis 30). Besonders bei Ehra (Abbildung 27) tritt REM-Schlaf sehr häufig direkt nach Wiederkauphasen auf. Da Säugetiere und Vögel üblicherweise erst nach dem NREM-Schlaf in den REM-Schlaf fallen können (Zepelin u. a., 2005), wird hier davon ausgegangen, dass sich diese während des Wiederkauens im NREM-Schlaf befunden haben. Auch Elbi (Abbildung 30), Endora (Abbildung 29) und Leonie (Abbildung 28) zeigen REM-Phasen, welche direkt an eine Wiederkauperiode grenzen, und häufig auch welche, die direkt einer ausgewerteten NREM-Phase folgen.

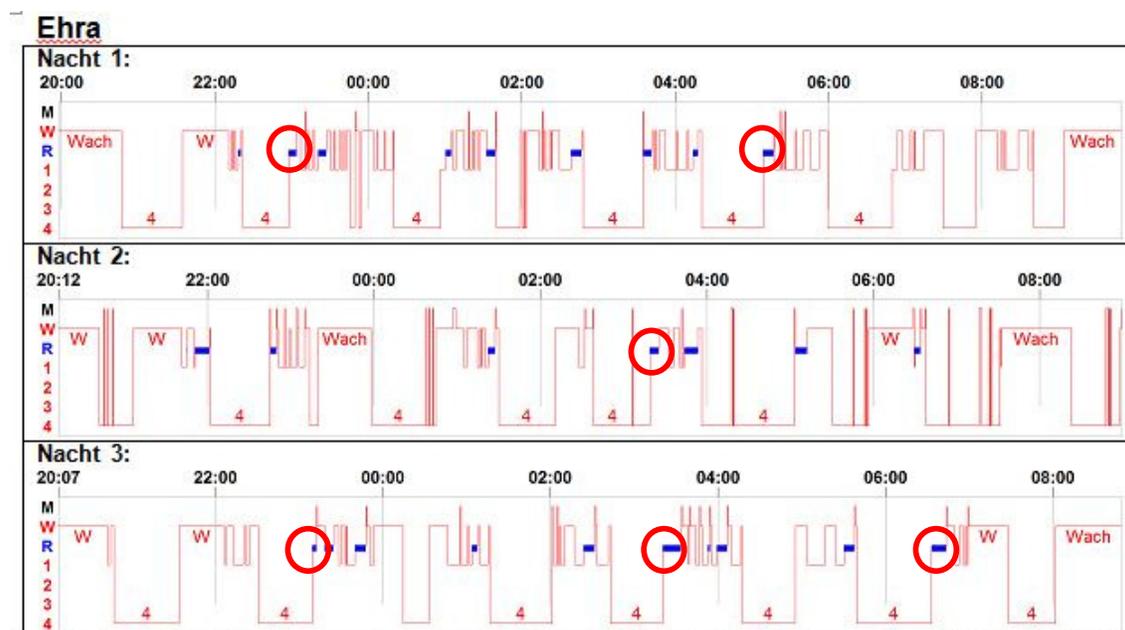


Abbildung 31: Schlaffragmentierung Ehra Nacht 1 bis 3. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement. Die roten Kreise markieren REM-Schlafphasen welche direkt nach einer Wiederkauphase auftreten.

6 Schlussfolgerung

Die Verwendung von nicht-invasiven Methoden zur elektrophysiologischen Untersuchung von Schlaf beim Rind war in dieser Arbeit teilweise erfolgreich. Die mittlere Messdauer von 13 Stunden pro Tier und auch die sichere Erkennung des REM-Schlafes, dank der sehr gut positionierten und dauerhaft befestigten EOG- und EMG-Elektroden, sind als sehr positiv zu bewerten. Die Erkennung des NREM-Schlafes hingegen erwies sich als schwieriger und es sind hier weitere Untersuchungen vorzunehmen. Eine genaue anatomische Untersuchung eines Rinderkopfes bezüglich der Lage des Gehirns sowie der Dicke der Schädeldecke sollte durchgeführt werden, um vermutliche Signalstörungen aufgrund der dicken Schädeldecke auszuschließen und die Elektrodenpositionierung möglicherweise optimieren zu können. Dies ist vermutlich die Voraussetzung für eine klare Abgrenzung einzelner Schlafstadien anhand der elektrophysiologischen Messungen beim Rind. Um Messungen auch in der Gruppe durchführen zu können, ist die Verwendung von Funkelektroden möglicherweise vielversprechend und in Zukunft zu erwägen.

7 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, die nicht-invasive Polysomnographie zur Charakterisierung von Schlaf beim Rind weiter zu etablieren und validere Ergebnisse bei der elektrophysiologischen Untersuchung des Schlafs beim Rind zu erhalten. Die Erhebungen wurden an vier Tieren (2 Trockensteher, 2 Kalbinnen) der Rassen Fleckvieh und Holstein im Lehr- und Forschungsgut der Veterinärmedizinischen Universität Wien durchgeführt. Bei jedem Tier wurden für je drei Nächte polysomnographische Aufzeichnungen (EEG, EMG, EOG, EKG, Atmung) durchgeführt und ausgewertet; für diese Arbeit wurden EEG, EMG und EOG herangezogen. Die Tiere wurden in den Versuchsnächten vom Rest der Herde getrennt und in einer Einzelbucht gehalten, die aber Sicht- und Berührungskontakt zu anderen Kühen erlaubte. Die Durchführung der Messungen verlief mit einer mittleren Messdauer von 13 Stunden pro Tier und Nacht ohne weitere Manipulation (z.B. Nachkleben von Elektroden) sehr erfolgreich. Für die Schlafstadienauswertung wurde in NREM-Schlaf, REM-Schlaf und Wach unterschieden. Weiters wurden Wiederkauen und Movement (Bewegungsartefakte) erfasst. REM-Schlaf ließ sich aufgrund der gut positionierten EOG- und EMG-Elektroden und der dadurch gut erkenntlichen schnellen Augenbewegungen und des niedrigen Muskeltonus eindeutig erkennen. Schwieriger gestaltete sich die Auswertung von NREM-Schlaf bzw. die Unterscheidung von NREM-Schlaf und „ruhigem Wachsein“. Der Grund dafür war, dass im Gegensatz zum Menschen und zu Pferden keine klare Änderung in der EEG-Frequenz erkenntlich war, und so ausschließlich nach visuellen Gesichtspunkten ausgewertet werden musste. Aufgrund dieser Problematik und des Fehlens von klaren Definitionen zur Unterteilung des NREM-Schlafs beim Rind wurde NREM-Schlaf nicht, wie beim Menschen üblich, in die Stadien 1 bis 4 unterteilt. Weiters konnte beobachtet werden, dass häufig direkt nach einer Wiederkauperiode REM-Schlaf auftritt, was vermuten lässt, dass adulte Rinder während des Wiederkauens in den NREM-Schlaf fallen können. Aufgrund der Kauartefakte, die während des Wiederkauens auftreten, kann dies aber mit der verwendeten Methode nicht elektrophysiologisch nachgewiesen werden. Um den NREM-Schlaf in Zukunft sicher bestimmen zu können und auch mögliche Differenzierungen in die Stadien 1 bis 4 vornehmen zu können, sind weitere Untersuchungen zur Elektrodenpositionierung notwendig.

8 Abstract

The aim of this study was to further establish a non-invasive polysomnographic technique for the assessment of sleep in adult cattle and thus to obtain valid data from the electrophysiological investigation of sleep in cattle. The measurements were carried out using four animals (2 dry cows and 2 heifers) of the breeds Holstein and Simmental at the experimental facility of the University of Veterinary Medicine, Vienna. For each animal, polysomnographic recordings (EEG, EMG, EOG, EKG and respiration frequency) were taken during three nights; however, the present master thesis only refers to the EEG, EMG and EOG recordings. For data recording, the animals were kept individually in pens which allowed visual and tactile contact with other cows. Without any kind of further manipulation (e. g. re-sticking of electrodes), recordings lasted for on average 13 hours per animal and night. Based on the electrophysiological data, sleep stages were differentiated in NREM sleep, REM sleep and wakefulness; furthermore, ruminating and movement (movement artefacts) were recorded. Due to the correct position of EOG and EMG electrodes, rapid eye movements as well as low muscle tone were clearly recognisable and thus REM sleep phases unambiguously assigned. However, the detection of NREM sleep and its differentiation from „still wakefulness“ turned out to be more difficult. One reason for this might be the fact that frequency changes of EEG, as used for differentiating human sleep or sleep in horses, were not observed and the evaluation was only based on visual scoring of the data. Taking this difficulty and the lack of definitions to classify NREM sleep in adult cattle into account, NREM sleep was not further categorized into sub-stages as commonly done in humans. Interestingly, REM sleep often occurred after a rumination period, suggesting that adult cattle may show NREM sleep while ruminating. However, artefacts in the EEG resulting from jaw movements during rumination do not allow to electrophysiologically determine the sleep state when the animals show this behaviour. In order to define and differentiate NREM sleep in adult cattle, further research on positioning of the electrodes is advisable.

9 Anhang

9.1 Abbildungen verschiedener Schlafstadien beim Menschen

Die angeführten Abbildungen stammen vom Schlaflabor des Krankenhauses der Barmherzigen Brüder in Wien.

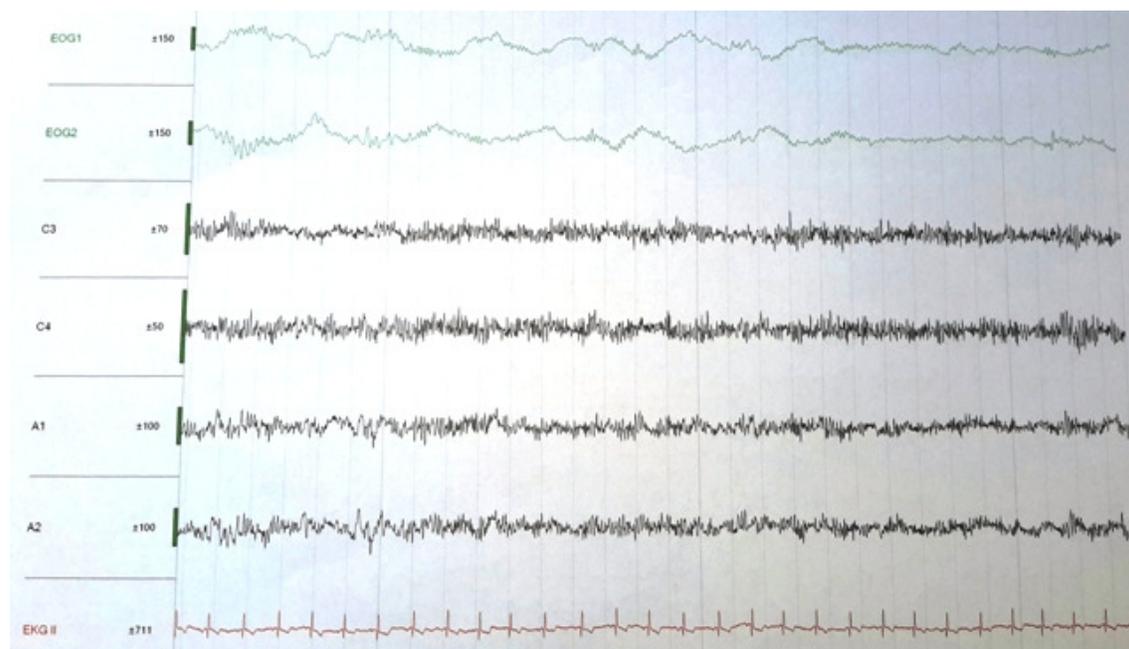


Abbildung 32: Wach, nach Rechtschaffen und Kales (2002).

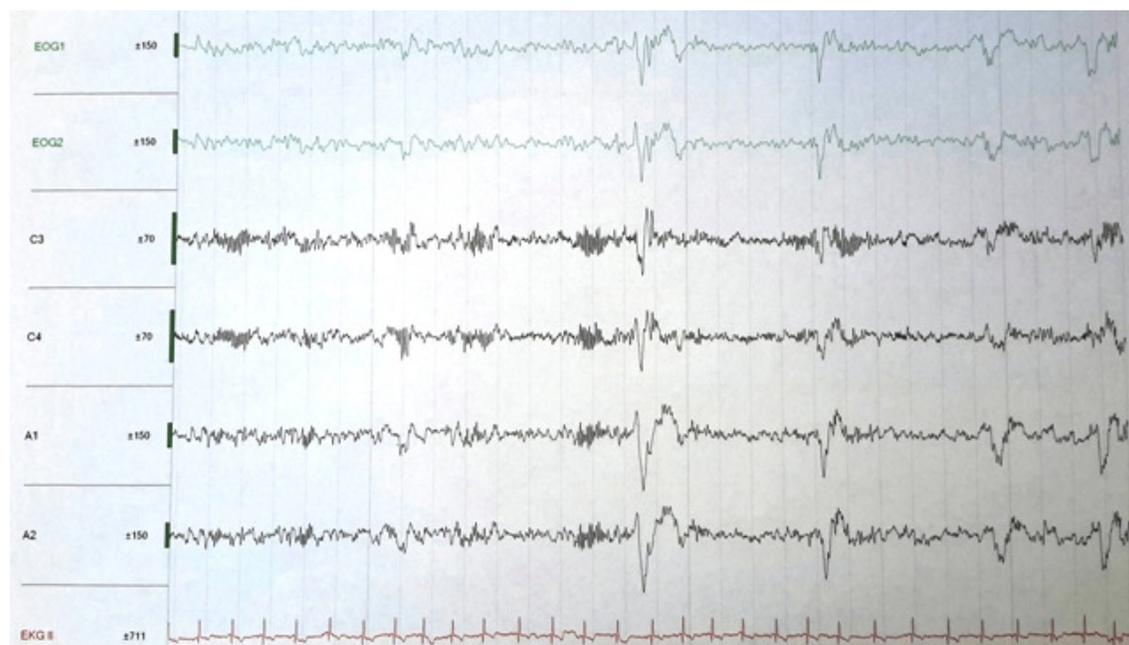


Abbildung 33: Stadium 2, nach Rechtschaffen und Kales (2002).

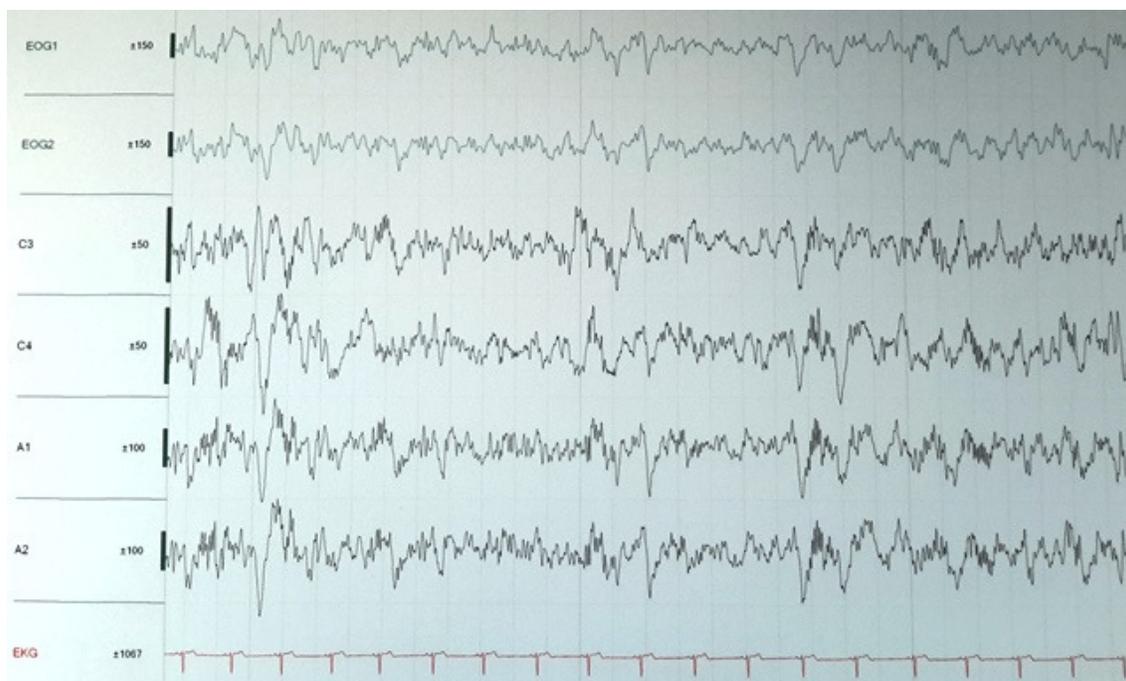


Abbildung 34: Stadium 3, nach Rechtschaffen und Kales (2002).

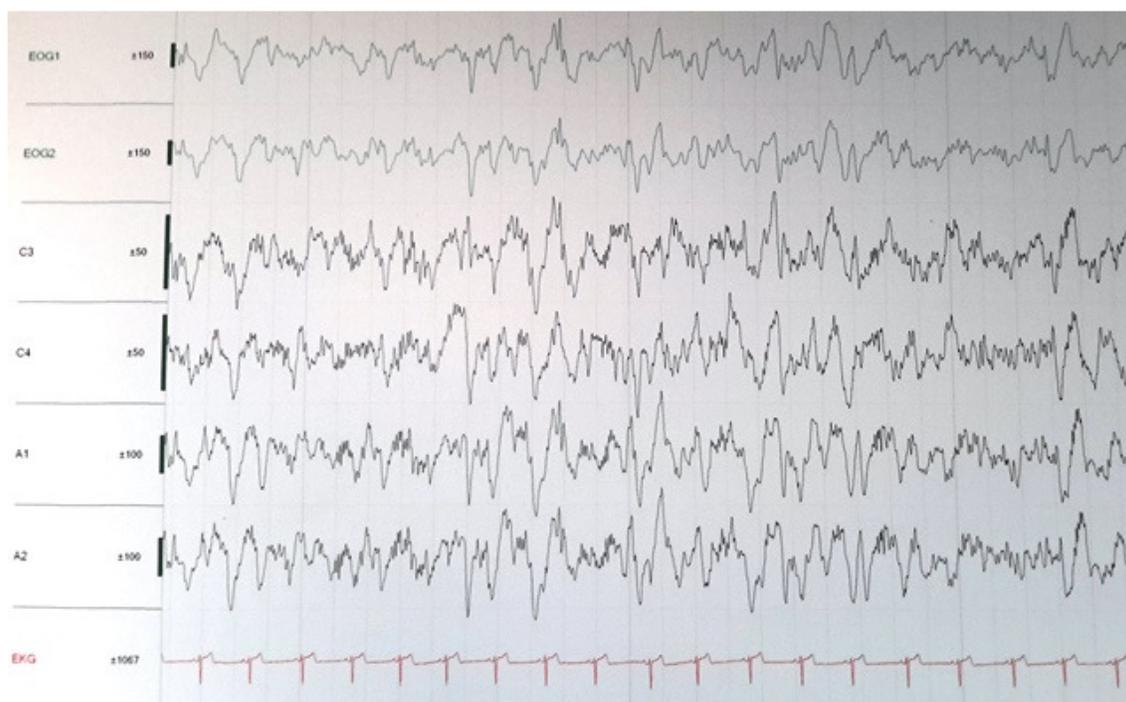


Abbildung 35: Stadium 4, nach Rechtschaffen und Kales (2002).



Abbildung 36: REM-Schlaf nach Rechtschaffen und Kales (2002).

10 Danksagung

Ich danke meinem Freund Michael und meiner Familie für ihre immerwährende Unterstützung und die Gespräche; ohne euch hätte ich es vermutlich nie bis hierher geschafft. Ein besonderer Dank gilt meinem Bruder Herbert, der mir bei technischen Fragen immer die richtigen Erklärungen lieferte. Ich danke meiner Freundin Anja, für die Zeit, die sie mir für verschiedenste Fragestellungen schenkte und mich immer motivierte. Zudem bedanke ich mich bei meiner Kusine Magdalena, für die ausgezeichnete Zusammenarbeit und die gemeinsame Datenerhebung.

Großer Dank gilt meinem Betreuer Dr. Christoph Winckler für die exzellente Betreuung, die vielen konstruktiven Besprechungen und die immer freundliche und kompetente Beratung.

Weiteres bedanke ich mich sehr herzlich beim Schlaflabor des Krankenhauses der Barmherzigen Brüder Wien, besonders bei Ingrid Klicpera und Dr. Robert Stepansky, für ihre großartige Unterstützung und Geduld.

Ich danke außerdem der SOMNOmedics GmbH (Randersacker, Deutschland), besonders Herrn DI Martin Drachsler, für die Zurverfügungstellung des Polysomnographen und die Unterstützung und Einführung in die Bedienung der Software.

Auch möchte ich mich bei allen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Tierhaltung für ihre stete Hilfsbereitschaft und das sehr angenehme Arbeitsumfeld bedanken.

Besonders bedanke ich mich auch bei den Mitarbeitern des Lehr- und Forschungsgutes Kremesberg, für deren freundliche Unterstützung zu jeder Tages- und Nachtzeit.

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hypnogram einer Nacht beim Menschen von ca. 01:00 bis 07:00.	8
Abbildung 2: Neuron nach Campbell und Reece (2006).....	18
Abbildung 3: Eingestreute Versuchsbucht im Liegebereich der Trockensteher.....	24
Abbildung 4: Kuh Leonie im Slezzy.	26
Abbildung 5: Elektrodenpositionierung auf der Stirn.....	27
Abbildung 6: Basiselektrode an der Hornbasis und linke EMG Elektrode am Hals. .	27
Abbildung 7: EOG Elektrode über dem rechten Auge.	27
Abbildung 8: Die Elektrode wurde hier zwischen zwei Hautfalten geklebt. Die weißen Pfeile markieren jeweils eine Hautfalte.....	29
Abbildung 9: Kabelschlauchsystem und vorübergehende Fixierung am Euterhalter bzw. Kopfstrick während der Montage.....	29
Abbildung 10: Der Atmungsgurt (blau) wurde mit Kabelbindern am Euterhalter befestigt. Positionierung der linken EKG Elektrode im achten bis neunten Intercostalraum, eine Handbreite dorsal des Buggelenks.....	30
Abbildung 11: Das Tier ist wach und frisst. Kaubewegungen sind im EEG und im EOG deutlich als Kauartefakte erkennbar.	32
Abbildung 12: Das Tier ist im Wachzustand und im EEG und EMG ist eine heftige Bewegung erkennbar.	32
Abbildung 13: Waches Tier ohne Bewegungs- oder Kauartefakte in der Ableitung..	32
Abbildung 14: Hier wurde Movement (M) gewertet, da sich das Tier vor und nach diesem 30-Sekunden-Intervall im NREM-Schlaf befand und die Bewegungsartefakte nicht sicher auf eine Wachphase hinweisen. Außerdem nehmen die Artefakte über die Hälfte des 30 Sekunden Intervalls ein.....	32
Abbildung 15: Starke Bewegungsartefakte im EEG und EOG.....	33
Abbildung 16: Wiederkauen ist aufgrund der regelmäßigen Kaubewegungen klar von Fressen (siehe Abbildung 11) unterscheidbar. Ein klares Erkennungsmerkmal sind die rhythmischen und spitzen Wellen.	33
Abbildung 17: NREM wurde bei geringer Aktivität im EEG und regelmäßigem Muskeltonus sowie gleichmäßigem EOG gewertet.	34
Abbildung 18: Die rote Markierung kennzeichnet den Übergang von NREM auf WACH: sehr gut in allen vier Kanälen des EEG erkennbar.	34
Abbildung 19: 30 Sekunden Abschnitt eines fressenden Tieres der Ableitung C4. ..	35

Abbildung 20: 30 Sekunden Abschnitt eines Tieres im REM Stadium der Ableitung C3.	35
Abbildung 21: REM-Schlaf erkennbar durch die typischen Rapid Eye Movements im EOG und niedrigen Muskeltonus.	36
Abbildung 22: Auch hier sind die typischen schnellen Augenbewegungen sowie Muskelzuckungen erkennbar, wobei es sich bei den senkrechten Linien im EMG um EKG-Artefakte handelt.	36
Abbildung 23: Ehra: Anteil der pro Nacht ausgewerteten Stadien an der jeweiligen Gesamtbeobachtungszeit. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.	39
Abbildung 24: Leonie: Anteil der pro Nacht ausgewerteten Stadien an der jeweiligen Gesamtbeobachtungszeit. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.	39
Abbildung 25: Endora: Anteil der pro Nacht ausgewerteten Stadien an der jeweiligen Gesamtbeobachtungszeit. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.	40
Abbildung 26: Elbi: Anteil der pro Nacht ausgewerteten Stadien an der jeweiligen Gesamtbeobachtungszeit. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.	40
Abbildung 27: Schlaffragmentierung Ehra Nacht 1 bis 3. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.	41
Abbildung 28: Schlaffragmentierung Leonie Nacht 1 bis 3. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.	41
Abbildung 29: Schlaffragmentierung Endora Nacht 1 und 2. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.	42
Abbildung 30: Schlaffragmentierung Elbi Nacht 2 und 3. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement.	42
Abbildung 31: Schlaffragmentierung Ehra Nacht 1 bis 3. 4 = Wiederkauen, 1 = NREM, R = REM, W = Wach, M = Movement. Die roten Kreise markieren REM-Schlafphasen welche direkt nach einer Wiederkauphase auftreten.	48
Abbildung 32: Wach, nach Rechtschaffen und Kales (2002).	51
Abbildung 33: Stadium 2, nach Rechtschaffen und Kales (2002).	51
Abbildung 34: Stadium 3, nach Rechtschaffen und Kales (2002).	52
Abbildung 35: Stadium 4, nach Rechtschaffen und Kales (2002).	52
Abbildung 36: REM-Schlaf nach Rechtschaffen und Kales (2002).	53

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unterteilung der Schlafstadien beim Menschen nach Rechtschaffen und Kales (2002).	6
Tabelle 2: Verwendete Frequenzbereiche zur Bestimmung der Schlafstadien beim Menschen (Ebe u. a., 2002):	7
Tabelle 3: Durchschnittliche Dauer der einzelnen Schlafstadien der verschiedenen angeführten Studien.	17
Tabelle 4: Versuchstiere die zur Erfassung polysomnographischer Daten herangezogen wurden.	24
Tabelle 5: Verwendete Materialien	25
Tabelle 6: Elektrodenauswahl für EEG, EOG, EMG und EKG und die jeweilige Befestigungsmethode.	28
Tabelle 7: Messbeginn, Messende und Gesamtmesszeiten pro Tier und Nacht.	37
Tabelle 8: Beobachtungszeit (min), NREM-Schlafzeit (min), REM-Schlafzeit (min) und Gesamtschlafzeit (min) für jedes Tier und jede Nacht sowie der prozentuelle Anteil von NREM, REM und GSZ an der Beobachtungszeit. Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum über alle 10 Nächte aller Tiere und der prozentuelle Anteil an der Beobachtungszeit.	38
Tabelle 9: Durchschnittliche Dauer (inkl. Standardabweichung) der Schlafstadien NREM und REM aller Tiere und Nächte (n=10).	38
Tabelle 10: NREM- (SWS-) und REM-Anteile sowie Anteile von Dösen und der Gesamtschlafzeit an der Beobachtungszeit in den Studien von Ruckebusch (1972), Strasser (2011) und dieser Arbeit.	47

13 Literaturverzeichnis

Bogner, H.; Grauvogl, A. (1984): Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. Eugen Ulmer. S. 184-192

Campbell, N. A.; Reece, J. B. (2006): Biologie. Auflage: 6. München: Pearson, S. 1224-1251

Carskadon, M. A.; Dement, W. C. (2011): Normal Human Sleep: An Overview. In: Principles and Practice of Sleep Medicine. Auflage: 5. Elsevier, S. 16-26

Cirelli, C.; Tononi, G. (2008): Is Sleep Essential?. In: PLoS Biology. 6 (8), S. 216

Ebe, M.; Homma, I. (2002): Leitfaden für die EEG-Praxis: ein Bildkompendium. Auflage: 3. München: Urban & Fischer, S. 12

Gooley, J. J.; Saper, C. B. (2011): Anatomy of the Mammalian Circadian System. In: Principles and Practice of Sleep Medicine. Auflage: 5. Elsevier, S. 376-389

Hänninen, L.; Mäkelä, J. P.; Rushen, J.; Passilé A. M.; Saloniemi H. (2008): Assessing sleep state in calves through electrophysiological and behavioural recordings: A preliminary study. In: Applied Animal Behaviour Science. 111 (3-4), S. 235–250

Hinrichs, H. (2011): Technik. In: EEG. Auflage: 2. Thieme, S. 10-17

Iber, C.; Ancoli-Israel, S.; Chesson, A.; Quan S. F. (2007): The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications. Westchester: Academy of Sleep Medicine

Kalus, M. (2014): Schlafverhalten und Physiologie des Schlafes beim Pferd auf Basis polysomnographischer Untersuchungen. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München

Keenan, S.; Hirshkowitz, M. (2011): Monitoring and Staging Human Sleep. In: Principles and Practice of Sleep Medicine. Auflage: 5. Elsevier, S. 1602-1609

Klemm, W. R. (1966): Sleep and Paradoxical Sleep in Ruminants. In: Proceedings of Society for Experimental Biology and Medicine. 121, S. 635-638

Kronholm E.; Härmä, M.; Hublin, C.; Aro, A. R.; Partonen, T. (2006): Self-reported sleep duration in Finnish general population. In: Journal of Sleep Research. 15 (3), S. 276–290

Lima, S. L.; Rattenborg, N. C.; Lesku, J. A.; Amlaner, J. (2005): Sleeping under the risk of predation. In: *Animal Behaviour*. 70 (4), S. 723–736

Mistlberger, R. E.; Rusak, B. (2011): Circadian Rhythms in Mammals: Formal Properties and Environmental Influences. In: *Principles and Practice of Sleep Medicine*. Auflage: 5. Elsevier, S. 363-375

Porkka-Heiskanen, T.; Zitting, K.-M.; Wigren, H.-K. (2013): Sleep, its regulation and possible mechanisms of sleep disturbances. In: *Acta Physiologica*. 208, S. 311-328

Rattenborg, N. C. (2006): Do birds sleep in flight?. In: *Naturwissenschaften*. 93 (9), S. 413–425

Rechtschaffen, A.; Kales, A. (2002): Ein Manual der standardisierten Terminologie, Techniken und Auswertung der Schlafstadien beim Menschen. Auflage: 1. Landsberg/Lech: ecomed Medizin, S. 4-17

Reyner, A.; Horne, J. A. (1995): Gender- and age-related differences in sleep determined by home-recorded sleep logs and actimetry from 400 adults. In: *Sleep*. 18 (2), S. 127–134

Roth, T. C.; Lesku, J. A.; Amlaner, C. J.; Lima, S. L. (2006): A phylogenetic analysis of the correlates of sleep in birds. In: *Journal of Sleep Research*. 15 (4), S. 395–402

Ruckebusch, Y. (1972): The relevance of drowsiness in the circadian cycle of farm animals. In: *Animal Behaviour*. 20 (4), S. 637–64

Ruckebusch, Y. (1974): Sleep deprivation in cattle. In: *Brain Research*. 78, S. 495-499

Samraus, H. H. (1978): Nutztierethologie, das Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere – eine angewandte Verhaltenskunde für die Praxis. Auflage: 1. Verlag Paul Parey, S. 115 – 120

Samraus, H. H. (1971): Zum Liegeverhalten der Wiederkäuer. In: *Züchtungskunde*. 43, S. 187-198

Siegel, J. (2003): Why we sleep. In: *Scientific American*. 289, S. 92-97

Siegel, J. M. (2005): Clues to the functions of mammalian sleep. In: *Nature*. 437 (7063), S. 1264–1271

Siegel, J. M. (2008): Do all animals sleep?. In: *Trends in Neurosciences*. 31 (4), S. 208–213

- Staunton, H. (2005): Mammalian sleep. In: *Naturwissenschaften*. 92 (5), S. 203–220
- Strasser, C. (2011): Ethologische und elektrophysiologische Untersuchungen zum Schlaf beim adulten Rind. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur Wien
- Takeuchi, T.; Sitizyo K.; Harada E. (1998): Analysis of the electroencephalogram in growing calves by use of power spectrum and cross correlation. In: *American Journal of Vet. Research*. 59, S. 777-781
- Ternman, E.; Hänninen, L.; Pastell, M.; Agenäs S.; Nielsen P. P. (2012): Sleep in dairy cows recorded with a non-invasive EEG technique. In: *Applied Animal Behaviour Science*. 140 (1-2), S. 25–32
- Tobler, I. (2011): Phylogeny of Sleep Regulation. In: *Principles and Practice of Sleep Medicine*. Auflage: 5. Elsevier, S. 112-125
- Tobler, I. (1995): Is sleep fundamentally different between mammalian species?. In: *Behavioural Brain Research*. 69 (1-2), S. 35–41
- Turek, F. W. (2011): Introduction: Master Circadian Clock and Master Circadian Rhythm. In: *Principles and Practice of Sleep Medicine*. Auflage: 5. Elsevier, S. 360-632
- Trepel, M. (2011): *Neuroanatomie*. Auflage: 5. München: Urban & Fischer, S. 2
- Ulfing, N. (2008): *Kurzlehrbuch Neuroanatomie*. Auflage: 1. Stuttgart: Thieme, S. 120
- Vaseghi, S. V. (2009): *Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction*. Auflage: 4. Wiley, S. 279
- Watson, N. F.; Harden, K. P.; Buchwald, D.; Vitiello M.; Pack, A. I.; Weigle, D. S.; Goldberg, J. (2012): Sleep duration and body mass index in twins: a gene-environment interaction. In: *Sleep*. 35 (5), S. 597
- Wellach, I. (2011): *Praxisbuch EEG: Einführung in die Befundung, Beurteilung und Differenzialdiagnose*. Auflage: 1. Stuttgart: Thieme, S. 6-18
- Williams, J. A.; Zimmerman, F. J.; Bell, J. F. (2013): Norms and trends of sleep time among US children and adolescents. In: *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*. 167 (1), S. 53–60
- Williams, D. C., Aleman, M., Tharp, B., Fletcher, D. J., Kkass, P. H., Steffey, E. P., Lecouteur, R. A., Holliday, T. A. (2012): Qualitative and quantitative characteristics of

the electroencephalogram in normal horses after sedation. In: Journal of veterinary internal medicine /American College of Veterinary Internal Medicine. 26, S. 645-653

Witte, O. W.; Hagemann G.; Haueisen J. (2011): Physiologische Grundlagen des EEG. In: EEG. Auflage: 2. Stuttgart: Thieme, S. 1-9

Zalpour, C. (2006): Anatomie Physiologie. Auflage: 6. München: Urban & Fischer, S. 175-189

Zepelin, H.; Siegel, J. M.; Tobler, I. (2005): Mammalian Sleep. In: Principles and Practice of Sleep Medicine. Auflage: 4. Elsevier, S. 91–100