

Die Physiologie des Schlafes

J. Zulley

Wir fangen gerade erst an, die biologische Zeitstruktur des Menschen in ihren Grundzügen zu verstehen. In dieser Serie erläutern – unter Federführung von E. Haen, München – Experten verschiedener Disziplinen sowohl die Grundlagen der Chronobiologie als auch Aspekte, die heute bereits für die praktische ärztliche Tätigkeit Bedeutung in Diagnostik und Therapie erlangt haben.

Der Schlaf ist gekennzeichnet durch einen zeitlich begrenzten Zustand reduzierter Bewußtseins- und Aktivitätslage. Ein Bewußtsein fehlt entweder oder ist – im Traumgeschehen – verändert. Die motorische Aktivität ist generell verringert, eine zielgerichtete Motorik fehlt. Die Reaktionsbereitschaft des Organismus auf Umweltreize ist im Schlaf eingeschränkt. Im Gegensatz zum komatösen Zustand kann der Schlaf jedoch jederzeit durch entsprechende Reize unterbrochen oder beendet werden.

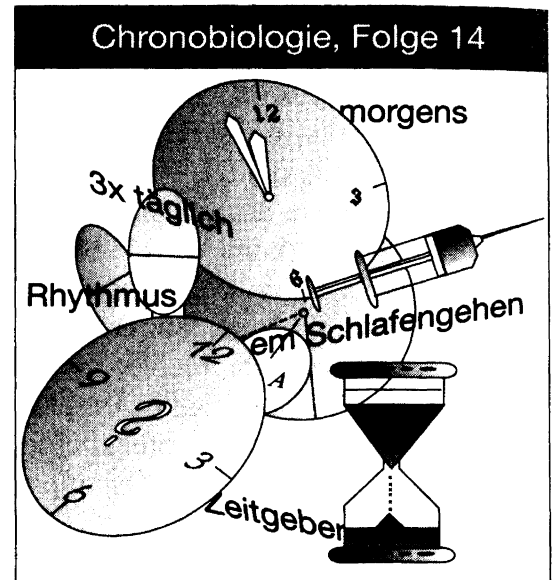
Bereits die Tatsache, daß die meisten Menschen zu einer bestimmten Zeit des Tages schlafen, zu einer anderen aber aktiv sind, weist auf die Bedeutung des zirkadianen Systems für den Schlaf hin. Erste chronobiologische Untersuchungen, die u. a. auch am Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München durchgeführt worden sind, lassen ein sehr komplexes Geschehen erkennen.

Das Schlaf-EEG

Eine Abgrenzung des Schlafes von anderen Ruheformen ist mit Hilfe einer elektrophysiologischen Registrierung der zentralnervösen Aktivität (Elektroenzephalogramm = EEG) möglich. Registriert wird hierbei die elektrische Potentialdifferenz zwischen Elektrodenpaaren, die an der Oberfläche des Kopfes angeklebt werden. Je nach Tätigkeit und Bewußtseinslage des Probanden lassen sich charakteristische Veränderungen der elektrischen Aktivität der Großhirnrinde (Cortex) nachweisen.

Das Schlaf-EEG ist durch bestimmte, sich charakteristisch ändernde Frequenzen und Amplituden gekennzeichnet. Neben dieser veränderten Hintergrundaktivität erkennt man im Schlaf-EEG auch bestimmte Wellenmuster (Abb. 1). Die wichtigsten sind die sog. K-Komplexe und die Schlafspindeln.

Die K-Komplexe sind hochamplitudige ($< 300 \mu V$) biphasische Wellenkomplexe, häufig mit schnellen alpha-wellenartigen (8 bis 13 Hz) Nachschwankungen. K-Komplexe können auch durch Sinnesreize oder durch interne somatische Reize ausgelöst werden. Die Spindeln sind an- und abschwellende Kurvenzüge mit einer Frequenz von 13 bis 15 Hz. Bisher ist recht wenig über Hintergründe dieser



typischen Kennzeichen des Schlaf-EEGs bekannt.

Die Schlafstadien

Die heute noch gängigsten Auswertekriterien für das Schlaf-EEG sind von Rechtschaffen und Kales (1968) aufgestellt worden. Sie erarbeiteten ein normatives System, das Mindestanforderungen für die Registriertechnik sowie Regeln für die Bestimmung der einzelnen Schlafstadien festlegt. Zum Erkennen von Schlafstadien benötigt man außer dem Elektroenzephalogramm (EEG) der Zentralregion nach dem internationalen „Ten-twenty-System“ noch die Registrierung der horizontalen Augenbewegungen (Elektrookulogramm = EOG) und des Tonus der Haltemuskulatur (Elektromyogramm = EMG der Anspannung der Kinnmuskulatur). Eine solche Mehrkanalaufzeichnung wird als Schlafpolygraphie oder Polysomnographie bezeichnet. Mit ihr lassen sich die folgenden Schlafstadien definieren: Wach-Zustand, REM-Schlaf (s. Seite 793) und die Schlafstadien 1, 2, 3 und 4 (Abb. 2). Je nach Fragestellung werden die Stadien 1 bis 4 auch als NREM-Schlaf zusammengefaßt. Des weiteren werden Bewegungsartefakte im EEG als MT (movement time) gekennzeichnet. Die aufeinanderfolgen-

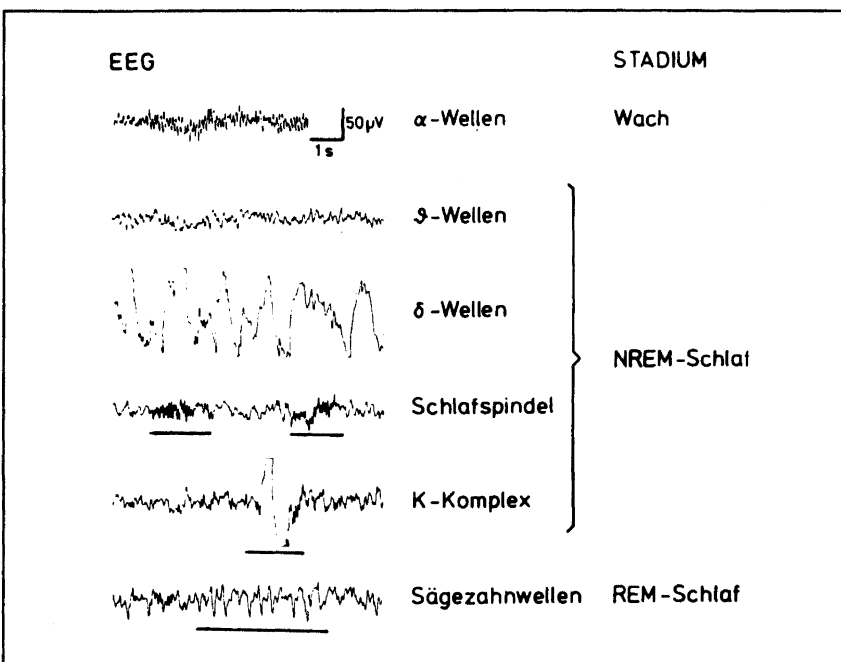


Abb. 1: Charakteristische EEG-Muster für die Bestimmung der Schlafstadien.

Dr. rer. soc. J. Zulley, Max-Planck-Institut für Psychiatrie, Kraepelinstr. 10, 8000 München 40.

den Schlafstadien werden meistens in 30-Sekunden-Abschnitten der kontinuierlich aufgezeichneten Polygraphie zugeordnet.

Die leichteste Form des Schlafes ist das Schlafstadium 1, welches häufig nur schwierig vom Wachzustand zu unterscheiden ist. Es ist charakterisiert durch eine Verlangsamung des EEGs und durch langsame horizontale Augenbewegungen. Die Alphawellen, die im entspannten Wachzustand auftreten können, verschwinden im Schlafstadium 1. Deutlicher vom Wachzustand zu unterscheiden ist das Schlafstadium 2, vor allem durch seine charakteristischen K-Komplexe und Spindeln. In diesem Stadium sind keine Augenbewegungen zu erkennen. In den Schlafstadien 1 und 2 zeigt das EMG unterschiedliche Tonuslagen. Als Tiefschlaf, Delta-Schlaf oder SWS („slow wave sleep“) werden die Schlafstadien 3 und 4 bezeichnet. In diesen Stadien treten Delta-Wellen (1 bis 3 Hz) auf. Im Schlafstadium 3 sind 20 bis 50% einer Auswerteeinheit (30 Sekunden) mit Deltawellen belegt, im Schlafstadium 4 über 50%.

Im EOG sind in diesen Stadien keine Augenbewegungen zu beobachten; auftretende Schwankungen des EOG sind durch EEG-Artefakte bedingt. Der Muskeltonus zeigt auch in diesen beiden Schlafstadien unterschiedliche Tonuslagen.

Der REM-Schlaf

Eine besondere Rolle unter den Schlafstadien nimmt der REM-Schlaf ein. Seine Bezeichnung stammt von der auffälligsten Eigenart dieses Stadiums, den schnellen Augenbewegungen („rapid eye movement“). Dieses Schlafstadium wird auch paradoxer Schlaf genannt. Hierbei wird auf das hochfrequente, niederamplitudige EEG, welches auf eine hohe zentrale Aktivierung hinweist, Bezug genommen. Ein weiteres Charakteristikum des REM-Schlafes ist eine vollständige Atonie der Haltemuskulatur. Trotz dieser Atonie kommt es während längerer REM-Schlaf-Episoden zu myoklonischen Zuckungen sowie größeren und kleineren Körperbewegungen.

Im REM-Schlaf ist auch die Regulation vegetativer Funktionen verändert. Es kommt zu tonischem Blutdruckabfall, phasischen Veränderungen der Herzfrequenz und einer Arrhythmie der Atmung. Periphere sowie zentrale Mechanismen der homöothermen Temperaturregulation (z. B. Kältezittern) sind während der REM-Episoden unterdrückt. Weiterhin typisch für diese Schlafphase ist eine Aktivierung der peripheren Sexualorgane mit Erektionen beim Mann und einer verstärkten vaginalen Durchblutung bei der Frau.

Besonderes Interesse erregt dieses Schlafstadium auch durch den Befund,

daß neben den physiologischen Merkmalen psychische Aspekte eine große Rolle spielen. Weckt man Probanden im REM-Schlaf, wird überwiegend von Traumerlebnissen berichtet. Weckt man die Probanden dagegen im Non-REM-Schlaf, so berichten sie in weit geringerem Ausmaß über Träume. Außerdem ist die Qualität der Traumberichte verändert; Berichte aus NREM-Schlafphasen sind eher gedankenähnlich, während Berichte aus REM-Schlaf-Phasen bizarrer, „farbiger“, somit „traumähnlicher“ sind.

Der Schlafverlauf

Die einzelnen Schlafstadien zeigen im Verlauf einer Nacht eine regelhafte Abfolge (Abb. 3). Nach dem Zubettgehen und dem Löschen des Bettlichts (im Schlaflabor: „Licht aus“) liegt man für einige Zeit wach (Stadium „Wach“), um dann ins Stadium 1 zu wechseln. Nach einigen Minuten erfolgt der Wechsel ins Schlafstadium 2. Das erste Auftreten dieses Schlafstadiums wird im allgemeinen als Schlafbeginn markiert. Der Zeitraum von „Licht aus“ bis zu diesem Zeitpunkt wird als „Einschlaflatenz“ bezeichnet. Nach dem Auftreten von Stadium 2 werden die Stadien 3 und 4 durchlaufen, und nach ca. 60 Minuten erscheint erstmals das REM-Stadium. Dieses Stadium tritt im weiteren Verlauf des Schlafes block-

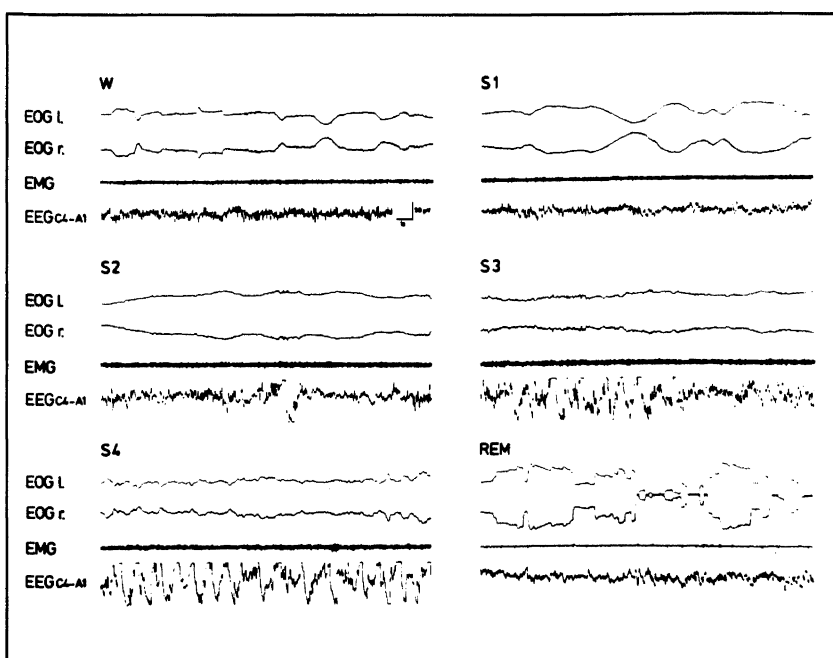


Abb. 2: Beispiele für die Schlafstadien (S1 bis S4, REM) und das Stadium Wach (nach Rechtschaffen u. Kales 1968).

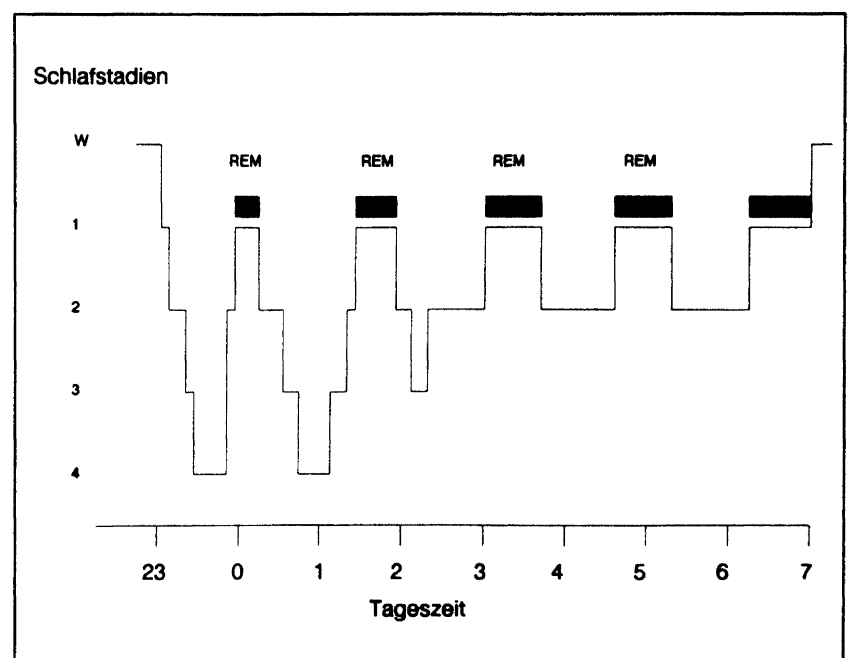


Abb. 3: Typischer Verlauf der Schlafstadien während eines Nachtschlafes (vereinfachte Darstellung).

weise in ca. 90- bis 100-Minuten-Abständen sehr regelhaft auf. Der zyklische Wechsel von REM- und NREM-Schlaf zeigt also eine ultradiane Periodik (kleiner als 24 Stunden). Die Dauer der REM-Phasen wird im Verlaufe des Schlafes immer länger. Die Wahrscheinlichkeit für das Erwachen ist zu Beginn und am Ende einer REM-Phase erhöht. Sind die ersten NREM-Zyklen noch durch das Auftreten von Stadium 3 und 4 gekennzeichnet, so enthalten die späteren nur noch die Stadien 1 und 2.

Altersabhängigkeit der Schlafstadienstruktur

Im Laufe der Ontogenese finden Veränderungen der Schlafstadienstruktur statt: Bei kontinuierlicher Abnahme der Gesamtschlafzeit bis in das hohe Alter zeigt sich ab ca. 40 Jahren auch eine Verringerung der Schlaffeffizienz, bedingt durch zunehmende Wachphasen während des Schlafes und eine Verlängerung der Einschlaf latenz. Stadium REM und vor allem die Stadien 3 und 4 verringern sich deutlich ab dem 20. Lebensjahr. Im hohen Alter findet man oft kein Stadium 3 und 4 mehr. Der Schlaf besteht dann vor allem aus den Stadien 1 und 2 sowie REM.

Spektralanalyse des Schlaf-EEG

Die bisher beschriebene Methode der Schlafauswertung hat den Nachteil, daß quantitative Veränderungen (Anteil der Deltawellen im EEG) durch die Schlafstadienklassifikation (Stadium 2, 3 und 4) in qualitative Unterschiede umgewandelt werden. Somit werden mittels eines relativ willkürlichen Kriteriums Klassen gebildet, wobei Informationen verlorengehen (tatsächlicher Anteil an Deltawellen). Diesem Nachteil wurde in letzter Zeit zunehmend durch die Verwendung der Spektralanalyse des Schlaf-EEG begegnet. Die Spektralanalyse zerlegt die unregelmäßige Kurve des EEG in seine Frequenz-Anteile. Aus dem Spektrum läßt sich dann ersehen, wie groß der tatsächliche Anteil an Deltawellen im

Verlauf der Nacht war. Es ist anzunehmen, daß diese Methode in Zukunft die bisherige Schlafstadienklassifikation ablösen wird.

Chronobiologie des Schlafes

Der Schlaf steht unter dem Einfluß einer endogen erzeugten, zirkadianen (tagesperiodischen) Rhythmik. Schlafuntersuchungen im natürlichen

24-Stunden-Tag und unter Zeitisolation konnten Einflüsse interner Steuerungsmechanismen auf die Schlaf-Wach-Regulation und auf die interne Schlafstadienstruktur nachweisen (vgl. R. A. Wever, Folge 8 dieser Serie).

Die spontane Einschlafhäufigkeit (Anzahl der Schlafanfänge pro Stunde) zeigt mehrere bevorzugte Zeitpunkte im zirkadianen Temperaturzyklus. Unter bestimmten experimentellen Bedingungen erfolgt der Wechsel von Schlafen und Wachen mit einer ultradianen Vier-Stunden-Periodik (Abb. 4). Neben dem Nachtschlaf tritt Tagschlaf vor allem um 10.00, 14.00 sowie 18.00 Uhr auf. Entsprechend diesem Rhythmus zeigt sich gegen 4.00 Uhr morgens eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für Erwachen. Überlagert ist diese ultradiane Rhythmik von einer stark ausgeprägten zirkadianen Schwingung, wobei nach dem Nachtschlaf ein stetiger Abfall der Schlafbereitschaft während des Tages bis zu einem deutlichen Minimum am frühen Abend hin erfolgt. Dann steigt die Schlaftendenz rasch wieder an. Der Tagesgang der Schlafbereitschaft verläuft invers zu dem der zirkadianen Körpertemperatur.

Auch die Schlafdauer zeigt einen deutlichen Tagesgang. Eine Schlafepisode ist um so kürzer, je mehr der Schlafbeginn in den folgenden Tag hinein verlegt wird. Auch hier zeigt sich ein deutlicher ultradianer Einfluß.

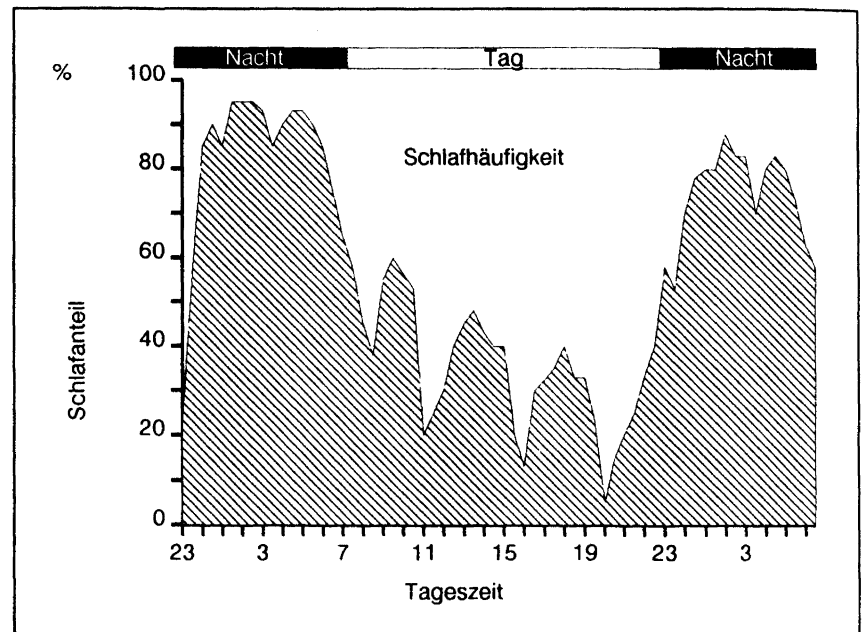


Abb. 4: Schlafneigung im Laufe einer Nacht, des Tages und der folgenden Nacht. Dargestellt ist die stündliche relative Häufigkeit, mit der Schlaf auftritt (= mittlere Schlafzeit pro Stunde).

Nach einer Schlafdauer von vier Stunden besteht eine erhöhte Tendenz zu erwachen; ein Überschlafen dieses kritischen Zeitraums führt zu einem deutlich längeren Schlaf.

In der Schlafstadienstruktur zeigen sich ebenfalls zirkadiane Einflüsse. Der Anteil von REM-Schlaf ändert sich über den Tag hinweg mit einem Maximum beim zirkadianen Temperaturminimum in den frühen Morgenstunden.

Die Steuerung von Schlafen und Wachen ist offensichtlich an den endogenen zirkadianen „Oszillator“ angekopelt, der auch die anderen physiologischen Prozesse steuert. Sie wird jedoch zusätzlich von dem homöostatisch regulierten Schlafbedarf beeinflusst.

Dokumentation: G7-F2, G11 Chronobiologie - Schlaf

Literatur

1. Borbely, A.: Das Geheimnis des Schlafes. Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart 1984.
2. Koella, W. P.: Die Physiologie des Schlafes. Gustav Fischer, Stuttgart 1988.
3. Rechtschaffen, A., Kales, A. (eds.): A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System. Public Health Service, U. S. Government Printing Office, Washington/D. C. 1968.
4. Schulz, H.: Schlafforschung. In: Kisher, K. P. u. Mitarb. (eds.): Psychiatrie der Gegenwart, Band 6: Organische Psychosen. Springer, Berlin - Heidelberg 1988, pp. 401-442.
5. Zimmer, D.: Schlafen und träumen. Ullstein-Buch Nr. 34343, Frankfurt 1986.
6. Zulley, J.: Schlaf und Chronobiologie. In: Meier-Ewert, K., Schulz, H. (eds): Schlaf und Schlafstörungen. Springer, Berlin 1990.

Thema der 15. Folge der Chronobiologie-Serie: Störungen des Schlaf-Wach-Rhythmus (R. Lund).