

EEG EMG

Zeitschrift für Elektroenzephalographie Elektromyographie und verwandte Gebiete

Herausgegeben von

H. Caspers, Münster
G. Dumermuth, Zürich †
R. Hess, Zürich
J. Kugler, München
H. Petsche, Wien
E.-J. Speckmann, Münster
A. Struppler, München
H.-G. Wieser, Zürich

Schriftleitung

St. Kubicki, Berlin
K. Lowitzsch, Ludwigshafen
E. Rimpl, Klagenfurt

Beirat

C. Baumgartner, Wien
L. Deecke, Wien -
R. Dengler, Hannover
J. Dichgans, Tübingen
C. E. Elger, Bonn
U. Hegerl, Berlin
H.-J. Heinze, Hannover
W. D. Heiss, Köln
W. M. Herrmann, Berlin
Ch. W. Hess, Bern
H. C. Hopf, Mainz
K. A. Hossmann, Köln
K. Karbowski, Bern
W. Klimesch, Salzburg
F. H. Lopes da Silva, Amsterdam
H. P. Ludin, St. Gallen
C. H. Lücking, Freiburg
W. Machleidt, Köln
B. Mamoli, Wien
E. Niedermeyer, Baltimore
J. Noth, Aachen
G. Pfurtscheller, Graz
P. Rappelsberger, Wien
J. Röhmel, Berlin
B. Rockstroh, Konstanz
D. Scheffner, Berlin
M. Stöhr, Augsburg
P. Wolf, Bielefeld
St. Zschocke, Hamburg
U. Zwiener, Jena

Georg Thieme Verlag

Rüdigerstraße 14
D-70469 Stuttgart

Postfach 301120
D-70451 Stuttgart

Empfehlungen zur Durchführung und Auswertung polygraphischer Ableitungen im diagnostischen Schlaflabor

T Penzel, G. Hajak¹, R. M. Hoffmann², R. Lund³, T Podszus, T Pollmächer⁴, T Schäfer⁵,
H. Schulz⁶, W Sonnenschein⁷, I. Spieweg⁸
Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGS)

Medizinische Poliklinik der Philipps-Universität Marburg

¹ Psychiatrische Klinik der Universität Göttingen

² Psychologisches Institut II der Universität Münster

³ Zentralkrankenhaus Gauting

⁴ Max-Planck-Institut für Psychiatrie München

⁵ Abteilung für angewandte Physiologie der Ruhr-Universität Bochum

⁶ Schlafambulanz des Klinikums Rudolf Virchow der Freien Universität Berlin

⁷ Neurologische Klinik Hephata Treysa

⁸ Schlafforschungslabor der Psychophysiologie der Psychiatrischen Klinik der Freien Universität Berlin

1989 hat die *Arbeitsgemeinschaft klinischer Schlafzentren (AKS)*, die 1992 in **Deutsche Gesellschaft für Schlafmedizin und Schlafforschung** (DGS) umbenannt wurde, einen Arbeitskreis zur Entwicklung von Standards für Aufzeichnung und Auswertung von Schlafpolygrammen eingerichtet. Dies war notwendig, da aufgrund der zunehmenden klinischen Bedeutung einer differenzierten Diagnostik von Schlafstörungen immer mehr Schlaflabors eingerichtet werden, jedoch qualitätssichernde Richtlinien bezüglich der technischen Voraussetzungen und der Auswertung im deutschen Sprachraum bisher fehlen.

Die nachfolgenden Empfehlungen gelten für das Schlaflabor und unterstützen eine fundierte Diagnostik von Schlafstörungen entsprechend der Internationalen Klassifikation von Schlafstörungen (2). Im Schlaflabor ist - im Unterschied zu ambulanten diagnostischen Untersuchungen - eine kontinuierliche Überwachung des Patienten durch Nachtwachen gewährleistet. Die Einstellung von Patienten auf eine interventionelle Therapie, z. B. auf die nasale CPAP-(Continuous Positive Airway Pressure) Beatmung bei Patienten mit Schlafapnoe, darf daher nur unter Überwachung in einem Schlaflabor durchgeführt werden. Die nachfolgenden Empfehlungen beziehen sich auf das Schlaflabor für Erwachsene, auf Untersuchungen bei Kindern sind sie nur bedingt übertragbar.

Bauliche Grundausrüstung

Der Schlafraum muß eine ausreichende Größe besitzen, die 12 m² nicht unterschreiten sollte. Der Ableiterraum, in dem die Aufzeichnungsgeräte stehen, muß vom Schlafraum getrennt, aber in dessen Nähe sein. Die räumliche Trennung soll eine Schallisolierung gegen Arbeitsgeräusche aus dem Ableiterraum sicherstellen. Auch gegen andere Geräusche von außen sollte eine Schalldämmung vorhanden sein. Extreme Temperaturschwankungen im Schlafraum sind zu vermeiden. Gegebenenfalls ist die Installation einer Klimaanlage zu empfehlen. Der Schlafraum sollte über eine Verdunkelungsmöglichkeit verfügen. Die visuelle und akustische Überwachung des Schlafraumes durch Infrarot-Videokamera, Mikrophon und Gegensprechanlage muß gewährleistet sein. Eine Gegensprechanlage ist einer Rufanlage vorzuziehen, denn über erstere kann sich der Patient mit dem Überwachungspersonal verständigen und es können Kalibrierungen am Patienten vorgenommen werden. Außerdem erleichtert sie die Erhebung von Weckberichten, wenn dies gewünscht wird.

Die Registrierung der Schlafpolygraphie

Um einen einfachen und schnellen Rückgriff auf die bereits erfolgte polygraphische Registrierung zu gewährleisten, wird eine kontinuierliche Aufzeichnung auf Papier empfohlen, bis Computer zu einem Rückgriff in der Lage sind. Die Papiergeschwindigkeit bei der Aufzeichnung des EEG sollte 10 oder 15mm/s betragen. Die Aufzeichnung auf optische oder magnetooptische Medien ist zur Archivierung geeignet, sofern die Signale jederzeit wieder in analoger Form auf einem Polygraphen ausgeschrieben werden können.

Die Auswahl der Biosignale zur Aufzeichnung eines Schlafpolygramms richtet sich nach der klinischen Fragestellung. Daher sollte eine eingehende klinische Untersuchung und Erhebung der Anamnese Grundlage jeder Ableitung sein. Die Anzahl der zu registrierenden Nächte richtet sich ebenfalls nach dem klinischen Problem. Jeder Patient sollte mindestens in zwei aufeinanderfolgenden Nächten untersucht werden. Dabei dient die erste Nacht auch der Laboreingewöhnung.

Ein diagnostisches Schlaflabor muß so ausgestattet sein, daß die folgenden Biosignale simultan auf einem Datenträger registriert werden können: Für die diagnostische Polygraphie sind mindestens 12 Registrierkanäle erforderlich:

- 1. EEG:** (C3-A2 oder C4-A1). Statt A1 und A2 sind auch entsprechende Referenzelektroden am Mastoid sinnvoll. Es gilt das 10:20-System der Elektrodenplatzierung (10). Die Zeitkonstante soll 0,3 s, die obere Grenzfrequenz 70 Hz und die Verstärkung 7 µV/mm betragen. Mindestens zwei EEG-Ableitungen sind wünschenswert, da technische Probleme die Beurteilung einer einzigen Ableitung unmöglich machen können.
- 2. EOG:** Zwei Ableitungen vom linken und rechten Epikanthus nach *Rechtschaffen u. Kales* (15). Die Zeitkonstante ist 0,3 s oder größer und die obere Grenzfrequenz ist 30 Hz oder höher. Die Verstärkung ist 7 µV/mm.
- 3. EMG** des M. mentalis oder M. submentalis, bipolar abgeleitet. Als Zeitkonstante ist 0,1 s oder kleiner zu wählen und eine obere Grenzfrequenz von 70 Hz oder größer. Die Verstärkung sollte 2 µV/mm oder größer sein.

Alle Elektroden am Kopf, die mit einer gemeinsamen Referenz verbunden sind, sollten vom gleichen Typ sein - entweder Gold oder Silber/Silberchlorid-Elektroden. In einem Schlaflabor mit erfahrenen EEG-Spezialisten können andere EEG- und EOG-Ableitungen entsprechend einem eigenen Laborstandard benutzt werden (z. B. C3-A1, C4-A2, horizontale und vertikale EOG-Ableitungen etc.). Allerdings ist zu beachten, daß die Amplitude des EEG-Signals vom Abstand der Elektroden abhängt und somit Amplitudenkriterien bei der Auswertung ableitungsspezifisch sind.

4. EKG: Die einkanalige Ableitung muß so registriert werden, daß neben der R-Zacke die P- und T-Wellen gut erkannt werden. Die indifferente Elektrode wird über dem Manubrium sterni und die indifferente in Höhe des 5. Interkostalraums in der vorderen Axillarlinie befestigt. Die Verstärkung sollte 1 mV/cm betragen.

5. Atemfluß: Gemessen wird mit Thermistoren oder Thermoelementen an Mund und beiden Nasenöffnungen, wobei die Ableitungen einzeln oder als Summensignal aufgezeichnet werden können. Bei Beatmungstherapien kann statt der Messung des Atemflusses die Registrierung des Beatmungsmaskendrucks verwandt werden. Die Verstärkung wird so gewählt, daß eine Hypoventilation von einer normalen Atemamplitude unterschieden werden kann.

6. Atmungsanstrengung: Sie wird mit zwei Kanälen für thorakale und abdominale Anstrengung getrennt gemessen. Am besten ist die Induktions-Plethysmographie geeignet. Alternativ werden Dehnungsmeßstreifen, Piezosensoren oder Impedanzmessung verwandt. Die Verstärkung wird so gewählt, daß eine Hypoventilation von einer normalen Atemamplitude unterschieden werden kann. Eine Hyperventilation sollte nicht zu einer Übersteuerung führen.

7. Blutgase: Die Sauerstoffsättigung (SaO₂) wird mittels Pulsoximetrie gemessen. Bei analoger Aufzeichnung sollte die Verstärkung 1 %/mm betragen.

8. EMG des M. tibialis anterior: An beiden Beinen wird das EMG bipolar abgeleitet. Der Elektrodenabstand beträgt jeweils ca. 5 cm. Bei einer Beschränkung der Kanäle kann eine Summenableitung beider Beine vorgenommen werden. Falls erwünscht, kann auch das EMG von anderen Muskelgruppen registriert werden. Als Zeitkonstante ist 0,1 s oder kleiner und als obere Grenzfrequenz 70 Hz oder größer zu wählen. Die Verstärkung sollte 2 µV/mm oder größer sein.

9. Schnarchen ist mittels Larynxmikrophon zu registrieren.

Stehen weitere Kanäle zur Verfügung, so sind die folgenden Ableitungen zu erwägen:

1. Weitere EEG-Kanäle, z. B. zur Anfallsdiagnostik.
2. Obstruktion der oberen Atemwege mittels Ösophagusdruckmessung.
3. Atemfluß auf getrennten Kanälen für Mund- und Nasenatmung.
4. Arterieller Blutdruck mit nichtinvasiven kontinuierlichen Methoden (Photoplethysmographie am Finger) oder intermittierend mit aufblasbaren Armmanschetten.
5. Körperposition mittels Lagesensor. Änderungen der Körperposition können auch durch ein ausführliches Protokoll oder eine Videoaufzeichnung dokumentiert werden.
6. Die Körpertemperatur wird meist mit einem rektalen Thermoelement gemessen.
7. Messung nächtlicher Erektionen erfolgt mit Dehnungsmeßstreifen.

Bei gewissen Fragestellungen ist es sinnvoll, zusätzliche ambulante Aufnahmesysteme einzusetzen. In Frage kommen:

8. Das *Langzeit-EKG*.
9. Das *Langzeit-EEG*.
10. Die *Aktographie*.
11. Die *Langzeit-Blutdruckmessung*.
12. Die *ambulante Apnoemessung* sowie eine Kombination mehrerer Signalaufzeichnungen.

Zu Beginn der Messung muß eine technische Eichung aller Signale durchgeführt werden. An die technische ist eine biologische Eichung anzuschließen. Diese umfaßt Kommandobewegungen der Augen, Körperbewegung, willkürliche Apnoe, Hypopnoe und Hyperventilation.

Die visuelle Auswertung

Elektroenzephalogramm: Die *visuelle Bestimmung der Schlafstadien* erfolgt nach den Kriterien von *Rechtschaffen u. Kales (15)*. In die Auswertung werden das EEG, das EOG und das mentale oder submentale EMG einbezogen. Es werden die Stadien Wach, 1, 2, 3, 4, REM und MT (movement time) klassifiziert. Die Stadieneinteilung ermöglicht einen einheitlichen Sprachgebrauch beim Austausch von

polygraphischen Befunden. Aufgrund der physiologischen Gegebenheiten sind Abweichungen von den Kriterien von *Rechtschaffen u. Kales* zugelassen, sofern sie genau definiert werden (z. B. die Änderung des Amplitudenkriteriums für δ -Wellen auf 40 μ V) (8).

Die nicht-EEG-Parameter lassen sich darüber hinaus wie folgt auswerten:

1. EOG: Das EOG dient im Rahmen der visuellen Schlafstadienklassifikation in erster Linie der Erkennung des REM-Schlafes (schnelle Augenbewegungen) und erleichtert die Erkennung von Schlafstadium 1 (langsame, rollende Augenbewegungen). Darüber hinaus ist die Bestimmung der Augenbewegungsdichte von Interesse. Sie erfolgt meist visuell in semiquantitativer Weise. Hierzu wird die REM-Schlafepoche (in der Regel 30 s) in 10 Mini-Epochen unterteilt, in denen jeweils beurteilt wird, ob rasche Augenbewegungen vorkommen. Hieraus resultiert ein Wert zwischen 0 und 10, der zur Berechnung der mittleren REM-Dichte in den einzelnen REM-Episoden herangezogen werden kann (9). Es fehlen bisher verbindliche Definitionen bezüglich der Amplitude und der Steilheit rascher Augenbewegungen.

2. EMG: Das EMG der Kinnregion wird, wie das EOG, im Rahmen der Schlafstadienklassifikation zur Erkennung des REM-Schlafes herangezogen. Es eignet sich zusätzlich zur Quantifizierung phasischer bzw. transientser EMG-Aktivität (13).

3. EKG: Ein einkanaliges EKG dient zur Erkennung von Herzfrequenzvariationen und von Herzrhythmusstörungen. Angegeben wird die mittlere Herzfrequenz im Wachzustand und im Schlaf, die maximale Herzfrequenz und der Zeitpunkt ihres Auftretens. Zur differenzierten Beurteilung von Herzrhythmusstörungen muß zusätzlich ein Langzeit-EKG ausgewertet werden.

4. Atmung: Die Auswertung der Atmung erfordert die Aufzeichnung des Atemflusses und der Atmungsanstrengung. Es werden die **Amplituden** der Kurven und die Phasenverschiebung zwischen thorakaler und abdominaler Atmungstätigkeit ausgewertet. Bei einer Abnahme der Atmungsamplitude auf weniger als 10 % der normalen Amplitude für eine Dauer von mindestens 10 s liegt eine Apnoe vor. Bei einer Abnahme der Amplitude auf 50 % der normalen Amplitude spricht man von einer Hypopnoe. Es wird die Anzahl der Apnoen pro Stunde Schlafzeit als Apnoeindex (A1) angegeben. Entsprechend wird ein Hypopnoeindex (HI) berechnet. Der Index- aus der Summe der respiratorischen Ereignisse (Apnoen plus Hypopnoen je Stunde Schlafzeit) wird oft als RDI (respiratory disturbance index) bezeichnet. Es wird die Gesamtzahl der obstruktiven, der gemischten und der zentralen

Apnoen angegeben. Es wird eine mittlere Apnoedauer und Hypopnoedauer angegeben. Ebenso wird die Dauer der längsten Apnoe und Hypopnoe angegeben. Die Aufzeichnung des Schnarchens wird zur Beurteilung der Obstruktion der oberen Atemwege hinzugezogen.

5. Blutgase: Die Messung der Sauerstoffsättigung ist zur Diagnostik primärer schlafbezogener Atmungsstörungen notwendig (z. B. alveoläre Hypoventilation). Als klinisch relevanter Sauerstoffsättigungsabfall wird ein Absinken der Sättigung um mindestens 4 % angesehen. Angegeben wird die mittlere Sättigung im Wachen und im Schlafen und die Anzahl der Entsättigungen je Stunde Schlafzeit (ODI; oxygen desaturation index) und die prozentuale Zeit, die bei einer Sauerstoffsättigung unter 90 %, 80 %, 70 % usw. verbracht wurde. Es wird auch der niedrigste gemessene Sättigungswert angegeben.

6. Das EMG der Mm. tibiales anterioris dient der Erkennung und Quantifizierung periodischer Beinbewegungen im Schlaf (PMS; periodic movements in sleep). Die Regeln hierzu wurden von *Coleman* (4) entwickelt, wobei diese Kriterien ausdrücklich nur solche Bewegungen einbeziehen, die im Schlaf auftreten. Die Dauer der Bewegungen liegt definitionsgemäß zwischen 0,5 und 5 s, wobei die EMG-Amplitude mindestens das Doppelte der EMG-Amplitude im entspannten Wachzustand betragen muß. Bewegungen gelten als periodisch, wenn mindestens vier solcher Ereignisse hintereinander auftreten und ihre Abstände zwischen 4 und 90 s liegen (der mittlere Abstand liegt bei 20-40 s). Bei jeder Bewegung wird zusätzlich beurteilt, ob sie mit einem Arousal einhergeht. Der PMS-Arousalindex (die Anzahl von Bewegungen mit begleitendem Arousal pro Stunde Schlaf) gilt allgemein als pathologisch, wenn er über 5 liegt.

Aus zwei Gründen ist damit zu rechnen, daß die Auswertung von PMS (periodischen Bewegungen im Schlaf) und vor allem die Interpretation im Sinne einer pathologischen Wertigkeit, sich in absehbarer Zeit ändern: Zum einen belegen neuere Untersuchungen, daß periodische Beinbewegungen unwillkürlicher Natur nicht nur im Schlaf, sondern auch beim Einschlafen und während intermittierender Wachzeiten auftreten (16,18). Zum anderen finden sich PMS, auch in einer Häufigkeit von mehr als 5 pro Stunde, bei einem großen Prozentsatz subjektiv gesunder, insbesondere älterer Menschen (6).

7. Blutdruck: ausgewertet werden systolischer, diastolischer und mittlerer Blutdruck. Angegeben werden mittlere Druckwerte im Wachen vor Schlafbeginn und im Schlaf sowie Minimal- und Maximalwerte während der Nacht.

8. Körperlage: Die Körperlage wird im Zusammenhang mit der Atmungsstörung ausgewertet. Es werden die Apnoen und Hypopnoen für die jeweiligen Körperlagen Bauch, Rücken und Seitenlage links oder rechts gezählt, um lageabhängige Störungen zu erkennen.

9. Die Messung der rektalen Körpertemperatur ist insbesondere in der Diagnostik chronobiologischer Störungen des Schlaf-Wach-Verhaltens von Nutzen, da sie Rückschlüsse auf die Phasenlage und die Periode zirkadianer Rhythmen erlaubt. Bei chronobiologischen Schlafstörungen empfiehlt sich eine Untersuchung über längere Zeit (mindestens 32 Stunden), z. B. unter konstanten Bettruhebedingungen.

10. Die Messung nächtlicher Spontanerektionen dient der Differentialdiagnostik der erektilen Impotenz. Hierbei macht man sich zunutze, daß bei gesunden Männern in enger zeitlicher Assoziation zu REM-Episoden, Spontanerektionen auftreten, die in Fällen organischbedingter Impotenz fehlen können. Allerdings ist die frühere Annahme, daß ein unauffälliger nächtlicher penisplethysmographischer Befund eine psychogene Ursache der Impotenz beweise, heute nicht mehr haltbar (14).

11. Interaktion der Parameter: Mit Hilfe der simultanen, kontinuierlichen Aufzeichnung der Parameter werden Zusammenhänge beispielsweise zwischen Schlafphasen, Arousals und anderen EEG-Elementen und kardiorespiratorischen Ereignissen und Bewegungen analysiert.

Schlafparameter, die anhand der visuellen Auswertung berechnet werden

Die Berechnung der folgenden Parameter beruhen auf der visuellen Auswertung der Schlafpolygrammie nach den Kriterien von *Rechtschaffen u. Kales* (15).

1. Zeit im Bett: TIB (time in bed) oder Registrierzeit: Die Zeit zwischen dem Zubettgehen (Licht aus) und dem Wecken (Licht an), in Minuten.

2. Dauer der Schlafperioden: SPT (sleep period time): Die Dauer der Schlafperiode ist die Zeit zwischen Schlafbeginn (Beginn Stadium 2 oder eines anderen Schlafstadiums außer Stadium 1) und der letzten Epoche Schlaf.

3. Gesamtschlafzeit: TST (total sleep time): Die Schlafzeit, abzüglich aller Wachzeiten und Pausen. MT (movement time) wird dabei als Schlafzeit gewertet.

4. Wachzeit während des Schlafes: (WASO (wakefulness after sleep onset): Die Zeit, die nach dem Einschlafen während der Schlafperiode "wach" verbracht wurde.

5. Bewegungszeit: MT (movement time). Große Körperbewegungen mit einer Dauer von mehr als 15 s werden als MT klassifiziert.

6. Stadium Wach der SPT (sleep periode time).

7. Dauer der Stadien in Minuten.

8. Prozentualer Anteil der Schlafstadien: Als Bezugsgrößen kommen TIB (time in bed), SPT (sleep period time) und TST (total sleep time) in Frage. Die gewählte Bezugsgröße muß immer angegeben werden.

9. Als REM-Schlafperiode wird eine Sequenz von REM-Epochen bezeichnet, solange diese Sequenz nicht von anderen Schlafstadien für länger als 15 min unterbrochen wird.

10. Schlafeffizienz-Index: SEI (sleep efficiency index): Das Verhältnis von TST (total sleep time) gegenüber TIB (time in bed), angegeben in Prozent. $SEI = TST/TIB \times 100$.

11. Schlaflatenzen: Die Latenzen werden in Minuten angegeben.

Schlaflatenz 1: Zeit von Licht aus bis zur ersten Epoche Stadium 1.

Schlaflatenz 2: Zeit von Licht aus bis zur ersten Epoche Stadium 2.

Diese Latenz wird häufig als Einschlaflatenz (SOL, sleep onset latency) bezeichnet. Die Einschlaflatenz kann auch bis zum Erreichen eines anderen Kriteriums (z. B. Minuten Stadium 2) berechnet werden, wenn dieses angegeben wird.

REM-Latenz: Zeit ab Schlafbeginn bis zur ersten REM-Episode.

12. Periodizität: Es wird die Dauer der REM/N(on)REM-Zyklen in Minuten angegeben. Ein Zyklus ist definiert als eine Non-REM-Episode und die nachfolgende REM-Episode. Ein REM-Intervall ist die Zeit vom Ende einer REM-Episode bis zum Beginn der nächsten REM-Episode.

13. Stadienwechsel: Anzahl der Übergänge zwischen aufeinanderfolgenden Stadien einschließlich Wach. Es wird die Anzahl der Stadienwechsel während TIB (time in bed) angegeben. Die Stadienwechsel können in Form einer Matrix angegeben werden, bei der die Stadien horizontal und vertikal aufgetragen sind. Bei der Angabe von Stadienwechsel muß angegeben werden, ob diese auf 30s-Epochen basieren oder ob zeitlich gefiltert wurde, und wenn ja, wie.

14. Arousal: Die Erkennung von Arousals basiert allein auf der EEG-Aktivierung (1). Die Dauer eines Arousals sollte mindestens 3 s betragen. Erweiterte Definitionen von Arousals z. B. unter Berücksichtigung der EMG-Aktivität, sind jedoch möglich. Die verwendeten Methoden müssen genau angegeben werden.

Ansätze einer automatischen Weiterverarbeitung und Analyse

Es existieren eine Reihe verschiedener Ansätze zur computergestützten Auswertung von Schlafpolygrammen (11). Ein internationaler Standard der computergestützten Verfahren zur Analyse von Schlafstadien liegt nicht vor, da alle Methoden an der visuellen Auswertung nach *Rechtschaffen u. Kales* (15) gemessen werden. Unterschiedliche Systeme zeigen verschiedene Stärken und Schwächen bei der automatischen Auswertung. Automatische Systeme können niemals Phänomene des Schlafes erkennen, die im Programm nicht bereits vorgesehen sind.

Dennoch bleibt die computergestützte Auswertung ein Werkzeug, welches in der klinischen Routine Zeit ersparen kann und bei wissenschaftlichen Fragestellungen präzise vorgegebene Analyseschritte wiederholen kann. Problematische Schlafpolygramme bedürfen auch in Zukunft einer visuellen Überprüfung und daher muß ein computergestütztes Schlafpolygraphiesystem eine visuelle Auswertung unter allen Umständen ermöglichen.

Beschreibungen gängiger Analysemethoden sind in verschiedenen Übersichtsarbeiten aufgeführt (17). Sie basieren auf

1. Frequenzanalysen mittels Fouriertransformation oder autoregressiver Filter,
2. Analysen im Zeitbereich durch Erkennen von Wellen und Mustern,
3. hybride Systeme mit analog arbeitenden Filtertechniken.

Einigkeit besteht darüber, daß der NonREM-Schlaf bei guter Artefakterkennung durch geeignete kontinuierliche Deskriptoren beschrieben werden kann. Als geeignet werden die Gesamtpower des EEG-Signals, die integrierte Aktivität der δ -Frequenzen und der α -Frequenzen angesehen. Von einer diskreten Einteilung in Stadien 1-2-3-4 soll bei kontinuierlichen Deskriptoren Abstand genommen werden. Da die jetzt existierenden Systeme an ihrer Fähigkeit gemessen werden, eine visuelle Auswertung nach *Rechtschaffen* u. *Kales* zu imitieren, ist zu fordern, daß eine ausführliche, nachvollziehbare Beschreibung des zugrundeliegenden Verfahrens gegeben wird. Manuelle Nachbearbeitungen an den errechneten Hypnogrammen -wie bei den meisten kommerziellen Systemen möglich - müssen als solche erkennbar bleiben. Daher ist zu fordern, daß der Einsatz automatischer Verfahren nach einer Ausbildung von Auswertern an diesen Systemen erfolgt. Voraussetzung ist, daß diese Auswerter zuvor die visuelle Auswertung von Schlafpolygrammen erlernt haben.

Im Rahmen einer konzertierten Aktion der Europäischen Gemeinschaft (COMAC-BME) zur Analyse des Schlaf-Wach-Kontinuums hat man sich auf einen Standard zur Aufzeichnung digitaler Schlafpolygramme auf optischen Platten geeinigt (7). Das vorgeschlagene Datenformat beinhaltet einen definierten Datenkopf, in dem alle Angaben über die aufgezeichneten Signale enthalten sind. Dieser Datenkopf verbindet eine große Flexibilität mit einem strukturierten Aufbau. Es ist zu wünschen, daß kommerzielle Polygraphiesysteme Optionen bereitstellen, um ihre Daten in dieses Format zu überführen. Das würde den Austausch von Schlafpolygrammen auf leicht transportablen Medien (z. B. optical disks) zwischen unterschiedlichen Systemen ermöglichen.

Für das EKG stehen etablierte und standardisierte Mustererkennungsverfahren zur Verfügung. Diese sind in allen gängigen Langzeit-EKG-Systemen eingebaut. Sie basieren auf der Aufzeichnung von mindestens zwei EKG-Ableitungen. Einige Schlafanalyseprogramme haben bereits entsprechende Auswerteprogramme mit eingebaut. Wird nur eine EKG-Ableitung aufgezeichnet, so ist eine Auswertung über Herzfrequenz- und Herzrhythmusstörungen' hinaus (z. B. ST-Strecken-Auswertung) nicht zulässig.

Algorithmen zur automatischen Auswertung der Atmung sind heute in der Lage, Apnoen zu erkennen, basierend auf der Diskrimination von Inspiration und Expiration. Dadurch läßt sich die Amplitude der Atmung berechnen sowie die Phasenverschiebung zwischen thorakaler und abdominaler Atmungsanstrengung bestimmen. Die automatische Differenzierung der unterschiedlichen Formen von Atmungsstörungen ist zur Zeit noch nicht ausreichend validiert. Prinzipiell ist die synchrone Auswertung der unabhängigen Signale *Atemfluß* und *Atmungsanstrengung* in der Lage, eine Differenzierung zwischen obstruktiven und zentralen Atmungsstörungen für die klinische Routine zu ermöglichen. Bei der Wiedergabe der Atmungssignale auf dem Computermonitor dürfen die Signalamplituden nicht künstlich abgeschnitten werden. Eine automatische Auswertung des Schnarchens im Hinblick auf Schnarchlautstärke und schnarchfreie Intervallzeiten sollte möglich sein.

Die Auswertungen der Blutgase umfaßt die Analyse von Sauerstoffsättigungsabfällen und das Erstellen von Histogrammen. Es werden alle Sauerstoffabfälle erfaßt, bei denen die Sättigung um mindestens 4 % gegenüber einem gemittelten Ausgangswert abfällt.

Computergestützte Auswertesysteme können in der klinischen Routine eingesetzt werden, sofern die polygraphische Schlafaufzeichnung epochenweise visuell ausgewertet werden kann. Als Computer stellen sie ein Werkzeug zur Zeitersparnis bei gleichbleibender Qualität dar. Sie können zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht die Erfahrung und Flexibilität eines menschlichen Auswerters ersetzen. Aufgrund der Möglichkeiten nachträglicher Bearbeitung der Ergebnisse wird eine Ausbildung für den Einsatz computergestützter Auswertesysteme gefordert.

Literatur

- 1 *American Sleep Disorders Association (ASDA) Report: EEG- Arousals: Scoring Rules and Examples. A Preliminary Report from the Sleep Disorders. Atlas Task of the American Sleep Disorders Association. Sleep 15 (1992) 174-184*
- 2 *American Sleep Disorders Association (ASDA) Diagnostic Classification Steering Committee: International Classification of Sleep Disorders, ICSD. Diagnostic and Coding Manual. Allen Press, Lawrence (Kansas) 1990*
- 3 *American Thoracic Society: Indications and Standards for cardiopulmonary Sleep Studies. Am. Rev. Resp. Dis. 139 (1989) 559-568*
- 4 *Coleman, R.M.: Periodic movement in sleep (nocturnal myoclonus) and restless legs syndrome. In: Sleeping and Waking Disorders: Indications and Techniques, 265 - 295. Ed: C. Guilleminault. Addison-Wesley, New York 1982*
- 5 *Deutsche Gesellschaft für Pneumologie, Arbeitsgruppe nächtliche Atmungs- und Kreislaufregulationsstörungen: Empfehlungen zur Diagnostik und Therapie nächtlicher Atmungs- und Kreislaufregulationsstörungen. Pneumologie 45 (1991) 45-48*
- 6 *Dickel, N. J., S. S. Mosko: Morbidity cut-offs of sleep apnea and periodic leg movements in predicting subjective complaints in seniors. Sleep 13 (1990) 155-166*
- 7 *Kemp, B., A. Värrä, A. C Rosa, K D. Nielsen, J. Gade: A simple format for exchange of digitized polygraphic recordings. Electroenceph. clin. Neurophysiol. 82 (1992) 391-393*
- 8 *Kryger, M. H., T Roth, W C. Dement: Principles and Practice of Sleep Medicine. Saunders, Philadelphia (1989)*
- 9 *Lauer, C. J., D. Riemann, M. Wiegand, M. Berger: Altersabhängige Veränderungen in der Schlafstruktur depressiver Patienten. In: Biologische Psychiatrie, Hrsg.: Saletu, B. Thieme, Stuttgart (1989)*

- 10 *Pastelak-Price, C.*: Das internationale 10-20 -System zur Elektrodenplatzierung: Begründung, praktische Anleitung zu den Meßschritten und Hinweise zum Setzen der Elektroden. EEGLabor 5 (1983) 49-72
- 11 *Penzel, T., K. Stephan, S. Kubicki, W M. Herrmann*: Integrated Sleep Analysis With Emphasis on Automatic Methods. In: Epilepsy, Sleep and Sleep Deprivation, Eds: *Degen, R., E. A. Rodin*. Elsevier, Amsterdam (1991) 177-204
- 12 *Peter, J H., H. Becker, J. Blanke, P Clarenbach, G. Mayer, E Raschke, K H. Rühle, E. Rüther, M. Schläfke, E. Schönbrunn, J. P Sieb, J Stumpner, R. Weis*: Empfehlungen zur Diagnostik, Therapie und Langzeitbetreuung von Patienten mit Schlafapnoe. Med. Klinik 86 (1991) 46-50
- 13 *Pilcher, J. J, H. Schulz*: The interaction between EEG and transient muscle activity during sleep in humans. Human Neurobiol. 6 (1987) 45-49
- 14 *Pollmächer, T., C. Lauer*: Physiologie von Schlaf und Schlafregulation. In: Handbuch des normalen und gestörten Schlafs, 1-44. Hrsg.: *Berger, M.* Springer, Berlin, Heidelberg, New York (1992)
- 15 *Rechtschaffen, A., A. Kales*: A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. U. S. Public Health Service. U. S. Government Printing Office. Washington D. C. (1968)
- 16 *Schulz, H., E. Kiss*: Sleep disturbance causes by rest-dependent muscular and motor dysfunction. In: Sleep and Health Risk, Eds.: *Peter, J H., T. Penzel, T. Podszus, P. von Wichert*. Springer, Berlin (1991) 137-145
- 17 *Smith, J. R.*: Automated Analysis of Sleep EEG Data. In: Handbook on Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Vol. 2. Eds.: *Lopes da Silva, F H., W Storm van Leeuwen, A. Rémond*. Elsevier, Amsterdam (1986) 131-147
- 18 *Walters, A., W Hening, L. Côté, S. Fahn*: Dominantly inherited restless legs with myoclonus and periodic movements of sleep: A syndrome related to the endogenous opiates? In: Advances in Neurology, Vol. 43, Myoclonus, Eds.: *Fahn, S., C. D. Marsden, Y M. C. Woest*. Raven Press, New York (1986) 309-319

Dipl.-Phys. Dr. rer. physiol. T. Penzel

Univ.-Zentrum für Innere Medizin
 Abteilung Poliklinik, Zeitreihenlabor
 Baldinger Straße 1
 35043 Marburg