

16 Befundung von EEG-Kurven

M. Hoppe

16.1 Einleitung

Im Klinikjargon wird häufig der Ausdruck benutzt, ein EEG zu „lesen“. Die Verwendung des Begriffs „Lesen“ ist durchaus angebracht, da das Lesen eines Textes in einer Sprache und die Analyse des EEG Gemeinsamkeiten haben: Das Lesen erfordert Kenntnisse der Grammatik und des Vokabulars der Sprache, in der der Text geschrieben ist. Der Grammatik als Mittel zum Verstehen der Gesetzmäßigkeiten einer Sprache entspricht bei der Analyse des EEG das Verständnis der Polaritätsregeln und darauf aufbauend der Montagen, d.h. zu verstehen, wie die von der Kopfoberfläche abgeleiteten Spannungen als Wellenformen dargestellt werden. Nur mit diesem Verständnis ist es auch möglich, aus den aufgezeichneten Kurven auf die zugrunde liegenden intrazerebralen Generatoren, ihre Ausdehnung und Lokalisation zu schließen. Der Kenntnis der Vokabeln entspricht die Mustererkennung, d.h. die Kenntnis des Aussehens charakteristischer physiologischer oder pathologischer Potenziale – hierfür ist kein Verständnis erforderlich, da es sich wie beim Vokabellernen um „stures Einpauken“ handelt. Die Sicherheit, aber auch Schnelligkeit dieser Mustererkennung hängen entscheidend von der Erfahrung und Expertise des Befunders ab.

Der erste Blick beim „Lesen“ sollte deshalb stets nach links zum Rand des Blattes oder Displays gehen, nämlich dorthin, wo die Montage steht. Denn vom Montagetypr hängen sowohl Morphologie und Amplituden der Wellenformen als auch die Prinzipien ab, nach denen die Lokalisierung (topographische Zuordnung) erfolgen muss (s.Kap.3 und 4).

Bereits die erste(n) Seite(n) sollte(n) sehr sorgfältig analysiert werden. Häufig kann man schon innerhalb der ersten aufgezeichneten Minuten erfassen, ob die Grundaktivität normal ist und welche Pathologien vorhanden sind. Der Rest der Ableitung dient dann vornehmlich der Ergänzung/Bestätigung dieser Befunde. Dies ist zeitökonomischer, als mit flüchtigem Betrachten der EEG-Kurven zu beginnen in der sich oft nicht erfüllenden Erwartung oder Hoffnung, im Verlauf auf den entscheidenden Befund zu stoßen.

16.2 Systematik

Jede Änderung der Potenzialdifferenz zwischen zwei Ableiteelektroden wird Welle (Graphoelement) genannt. Die einzelne Welle oder Folgen von Wellen werden auch als Aktivität bezeichnet. Streng systematisch muss diese Aktivität hinsichtlich folgender Parameter/Eigenschaften charakterisiert werden (DGKN):

- Frequenz,
 - Amplitude,
 - Lokalisation (Verteilung, Distribution),
 - Morphologie,
 - zeitliches Verhalten,
 - Reagibilität,
- von denen die ersten beiden quantifiziert werden können.

16.2.1 Frequenz

Die Frequenz kann als wichtigster Parameter überhaupt angesehen werden. Sie wird angegeben als Zahl der Wellen pro Sekunde oder in Hertz. Bei singulären Graphoelementen wird deren Dauer (Wellenlänge) gemessen und daraus als Reziprokerwert die dazugehörige „Frequenz“ errechnet. Einzelne Wellen oder Komplexe können repetitiv in Intervallen von längerer Dauer als ihrer Wellenlänge auftreten und werden dann periodisch genannt, wobei als Periode das Zeitintervall zwischen ihnen bezeichnet wird.

Die Frequenzen werden eingeteilt in einen Alpha- (8–13Hz), Beta- (>13Hz), Theta- (4–7Hz) und Delta- (<4Hz) Frequenzbereich. Einige Aktivitäten weisen typischerweise immer nur eine (interindividuell durchaus unterschiedliche) Frequenz auf, wie z.B. Alpha-Rhythmus, My-Rhythmus oder Schlafspindeln, andere umfassen eher einen gewissen Frequenzbereich, wie z.B. Beta-Aktivität oder pathologische Theta- und Delta-Verlangsamungen.

16.2.2 Amplitude

Die Höhe der Amplituden hängt entscheidend von der benutzten Montage ab, weswegen streng genommen bei jeder absoluten Angabe in Mikrovolt die zur Messung benutzte Montage mit angegeben werden muss. Die Messung erfolgt überwiegend von Spitze zu Spitze, d.h., die gesamte vertikale Ausdehnung eines Graphoelements wird erfasst. In der klinischen Praxis ist oftmals eine semiquantitative Abschätzung ausreichend, ebenso die Einordnung als niedrig, mittel oder hoch, wobei diese Einschätzung frequenzbezogen ist: Je langsamer eine Aktivität, desto höher ist in der Regel ihre „normale“ Amplitude. Als niedrigamplitudig zu bezeichnende Delta-Aktivität ist meist absolut gesehen höher als hochamplitudige Beta-Aktivität. Bei bilateral auftretender Aktivität muss auf Symmetrie (gleich hohe Amplituden) resp. Asymmetrie (unterschiedlich hohe Amplituden) über der rechten und linken Hemisphäre geachtet werden.

16.2.3 Lokalisation

Die Lokalisation von Wellen kann sehr ausgedehnt über alle Elektroden oder sehr umschrieben, d.h. auf nur wenigen Elektroden beschränkt, sein. Generalisierte oder diffuse Aktivität tritt gleichzeitig überall oder fast überall auf der Kopfoberfläche auf, kann dabei aber ein lokalisiertes Maximum aufweisen. Lateralisierte Aktivität ist auf eine Kopfseite beschränkt. Dabei kann es sich um pathologische Aktivität einer Hirnhälfte oder um fehlende physiologische Aktivität einer Hemisphäre handeln. Regionale bzw. fokale Aktivität tritt nur an einigen oder wenigen Elektroden auf. Ist sie auf eine Elektrode beschränkt, muss sie differenzialdiagnostisch von einem Elektrodenartefakt abgegrenzt werden (Abb. 16.1). Die Platzierung der Elektroden nach dem 10/20-System gewährleistet eine anatomisch definierte Lage der Elektroden und ermöglicht die topographische Zuordnung der lokal auftretenden Aktivität zu den verschiedenen Hirnregionen. Wie bereits erwähnt, hängen die hierzu erforderlichen Überlegungen vom verwendeten Montagertyp ab: Das Maximum des Potenzialfeldes wird entweder durch die Phasenumkehr (bipolar) oder durch die höchste Amplitude (referenziell) (s. Abb. 16.3 u. Abb. 16.4) bestimmt.

16.2.4 Morphologie

Die Form oder Gestalt der Wellen definieren die Morphologie der Aktivität. Einzelne Wellen können monophasisch, bi-, tri- oder polyphasisch sein, je nachdem, ob sie die Grundlinie nicht, einmal, zweimal oder mehr als zweimal kreuzen. Treten Wellen uniform auf, d.h., haben sie annähernd die gleiche Frequenz, Amplitude und Form, wird die Aktivität regelmäßig, regulär oder rhythmisch genannt. Sind die Wellenformen auch noch rund und ähneln Sinus-

wellen, werden sie sinusoidal genannt. Sind Wellen morphologisch unähnlich aufgrund unterschiedlicher Frequenz, Amplituden und Form, wird die Aktivität unregelmäßig, irregulär oder arrhythmisch genannt. Mit den Begriffen monomorph bzw. polymorph wird der gleiche Sachverhalt beschrieben. Lagern sich einzelne Wellen zu kurzen Abfolgen zusammen, bilden sie Komplexe, die eine z.T. bizarre Konfiguration aufweisen können. Scharfe oder steile Transienten haben eine spitze Morphologie und heben sich klar von der (Hinter-)Grundaktivität ab. Eine steile bzw. scharfe Konfiguration ist ein Charakteristikum epilepsietypischer Potenziale, längst nicht alle steilen Transienten sind jedoch epilepsietypische Potenziale. Die Kenntnis physiologischer Aktivität, die eine spitze oder scharfe Morphologie aufweisen kann, wie z.B. Beta-Aktivität, My-Rhythmus, Lambda-Wellen, Vertex-Wellen oder POSTS, oder pathologischer Aktivität wie Knochenlücken-Rhythmus oder der sog. benignen Varianten, die epilepsietypischen Potenzialen ähneln, ist deshalb von enormer Wichtigkeit (Stichwort: Mustererkennung). Epilepsietypische Aktivität selbst kann in verschiedenen morphologischen Varianten auftreten u.a. als Spalten, scharfe Wellen, Polyspikes, Spitze-Wellen-Komplexe.

16.2.5 Zeitliches Verhalten

Das zeitliche Verhalten umfasst mehrere zeitbezogene Aspekte:

- Aktivität kann entweder kontinuierlich während einer Ableitung oder intermittierend (diskontinuierlich) auftreten. Tritt sie intermittierend auf, kann dies rhythmisch oder auch periodisch bzw. völlig irregulär und zufällig geschehen. Sie kann in Form einzelner intermittierender Wellen, einzelner Komplexe oder in kurzen Ausbrüchen (Gruppen, Paroxysmen) in Erscheinung treten.

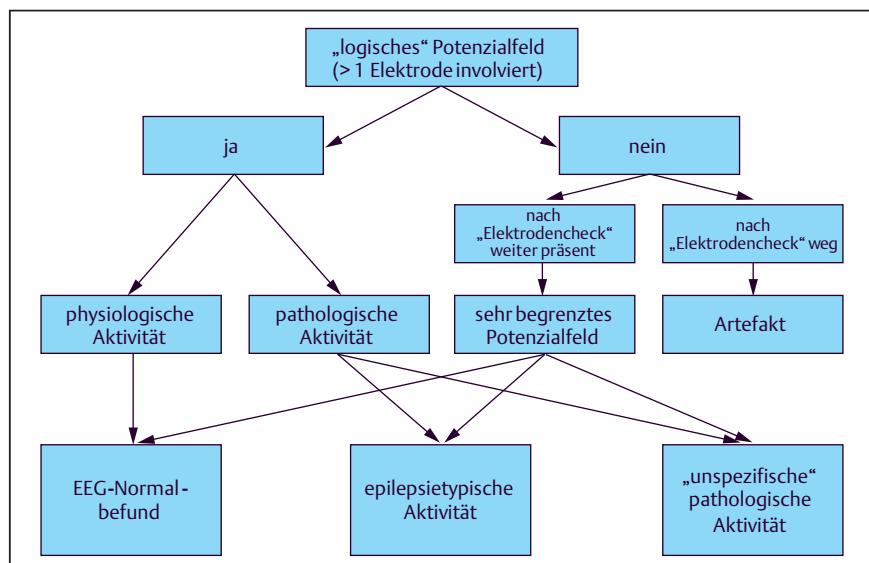


Abb. 16.1 Flussdiagramm zur systematischen EEG-Analyse.

- Bei bilateral auftretender Aktivität muss darauf geachtet werden, ob sie synchron (wie der Alpha-Rhythmus) oder asynchron (wie u.U. der My-Rhythmus) auftritt.
- Mit Ausprägung oder auch Persistenz ist der prozentuale zeitliche Anteil einer Aktivität während einer Ableitung gemeint. Speziell im deutschsprachigen Raum wird ein Alpha-Aktivitätsindex ermittelt und von einem gut (>60%), mäßig (30–60%) oder gering (<30%) ausgeprägtem Alpha-EEG gesprochen.
- Bestimmte Aktivitäten und Wellen treten abhängig vom Vigilanzzustand auf: Wach- und Schlafzustand weisen verschiedene charakteristische Potenziale auf. Oder gleich aussehende und gleich lokalisierte Potenziale können eine unterschiedliche Bedeutung haben, wie Lambda-Wellen im Wachen und POSTS im Schlaf. Eine Aktivität wie diffuse Theta- und Delta-Aktivität kann normal oder pathologisch sein, je nachdem, ob sie im Schlaf (normal) oder im Wachen (pathologisch) auftritt.

16.2.6 Reagibilität

Sowohl physiologische als auch pathologische Aktivitäten können eine charakteristische Reagibilität aufweisen, evoziert oder auch geblockt werden durch spezielle Manöver. Diese Reagibilität muss nachgewiesen und beschrieben werden. Sie umfasst unter anderem Blockieren des Alpha-Rhythmus durch Augenöffnen, des My-Rhythmus durch Faustschluss, Auslösen von K-Komplexen durch akustische Stimuli, von Lambda-Wellen durch horizontale, abtastende Augenbewegungen. Das Verhalten pathologischer, langsamer Aktivität komatöser Patienten (Delta-Koma) als Reaktion auf verschiedene Stimuli wie akustische, taktile oder Schmerzreize kann wichtige prognostische Hinweise geben.

16.3 Pathologische Befunde

Die verschiedenen pathologischen Aktivitäten lassen sich grundsätzlich einordnen in nur wenige Kategorien:

- Verlangsamungen
 - regional (fokal)
 - kontinuierlich
 - intermittierend
 - generalisiert (diffus)
 - kontinuierlich
 - intermittierend
- epileptotypische Aktivität
 - regional (fokal)
 - interiktal
 - iktal
 - generalisiert (diffus)
 - interiktal
 - iktal
- spezielle Muster (z.B. bei bestimmten Syndromen, Ätiologien)
 - periodische Muster

- PLEDS (periodische lateralisierte epileptiforme Entladungen) (Abb. 16.2)
- BiPLEDS (bilateral unabhängig auftretende PLEDS)
- GPEDS (generalisierte periodische epileptiforme Entladungen)
- triphasische Wellen
- Koma-Muster
- Burst-Suppression
- elektrozerebrale Inaktivität (sog. Nulllinien-EEG)

16.4 Praktische Hinweise

16.4.1 Befundung

Nach Vergegenwärtigung der gerade benutzten Montage erfolgt zum einen die Suche nach charakteristischen physiologischen Mustern und Aktivitäten, die vorhanden sein sollten. Der Alpha-Rhythmus, oder besser gesagt der okzipitale Grundrhythmus (bei Kindern altersabhängig im Theta-Bereich liegend), stellt die optische Leitstruktur eines jeden EEG im Wachen dar. Es folgt die Suche nach weiteren gut erkennbaren normalen Mustern wie My-Rhythmus oder Lambda-Wellen. Entsprechen weitere Aktivitäten wie Beta- und Theta-Aktivität, die neben den genannten Wellen Bestandteil der Grundaktivität sind, einem normalen Befund, wobei insbesondere die Theta-Aktivität eine starke Altersabhängigkeit aufweist? Gibt es Hinweise, dass der Patient auch geschlafen hat und sind schlaftypische Elemente vorhanden wie Vertex-Wellen, Schlafspindeln, K-Komplexe, POSTS, hypnagogic Theta-Gruppen bei Kindern? Treten „photic driving“ als normale Reaktion während Photostimulation auf und eine diffuse Verlangsamung unter Hyperventilation?

Dabei sollten Artefakte identifiziert und von zerebraler Aktivität abgegrenzt werden (s. Abb. 16.1).

Zum anderen erfolgt die Suche nach pathologischen Veränderungen, wobei gleichzeitig auf deren Lokalisation geachtet wird. Findet sich eine generalisierte Verlangsamung bzw. Verlangsamtung des okzipitalen Grundrhythmus als enzephalopathisches Muster (Allgemeinveränderung)? Gibt es regionale Verlangsamungen (Herdbefunde)? Sind epileptotypische Potenziale oder spezielle Muster wie triphasische Wellen, periodische Muster u.a. vorhanden? Bestehen Amplitudensymmetrien? Wenn ja, liegt eine pathologische Erniedrigung oder Erhöhung vor?

Um Eindeutigkeit der Befunde und Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen EEG-Abteilungen, Kliniken, Praxen und behandelnden Ärzten zu ermöglichen, sollten nur Begriffe verwendet werden, die in der deutschen Übersetzung des Glossars der meistgebrauchten Begriffe in der klinischen Elektroenzephalographie der Internationalen Föderation der Gesellschaften für Klinische Neurophysiologie aufgeführt sind (Noachtar et al. 2004). Dies bedingt den Verzicht auf in der deutschsprachigen Tradition verwurzelte und altvertraute Begriffe wie z.B. Allgemeinveränderung oder Dysrhythmie, die in anderen Sprachregionen aber



Abb. 16.2 PLEDS in bipolarer Längsreihenmontage (bei Zustand nach Mediainfarkt links).

nicht entsprechend vorhanden sind. Daneben dient es auch der wünschenswerten internationalen Vereinheitlichung der Terminologie.

Die schriftliche Erfassung aller Aktivitäten kann frei formuliert oder anhand eines vorgegebenen Schemas erfolgen. Letzteres bietet den Vorteil einer knappen und damit übersichtlichen Notation und zwingt zur systematischen Berücksichtigung sämtlicher oben angeführter Kriterien.

Neben dem reinen EEG-Befund müssen vom zuweisenden Arzt stammende Angaben zum Patienten (Name, Geburtsdatum, Verdachtsdiagnose/Diagnose, Medikation, klinische Fragestellung) sowie von der EEG-MTA stammende Angaben zur EEG-Ableitung (EEG-Nummer, Datum und Uhrzeit der Ableitung, Kooperation des Patienten, Vigilanz, Aktivierungsmaßnahmen) protokolliert sein.

16.4.2 Beurteilung mit klinischer Korrelation

Im Rahmen der Befundung wurde jede EEG-Aktivität, jedes EEG-Muster sorgfältig nach den oben angeführten Kriterien protokolliert. Stellen sie insgesamt einen altersentsprechenden Befund dar, reicht es aus, dies in einer kurzen Bemerkung festzuhalten. Sind pathologische Befunde vorhanden, werden sie erfasst und in der Reihenfolge ihrer allgemeinen klinischen Wichtigkeit und Relevanz aufgezählt. Erst danach erfolgt eine Korrelation mit den individuellen anamnestischen und klinischen Daten des untersuchten Patienten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die meisten pathologischen EEG-Veränderungen unspezifisch hinsichtlich der Ätiologie sind.

16.4.3 Beispiel

Abschließend sei zur Veranschaulichung ein Beispiel angeführt.

EEG:



Abb. 16.3 Spike links temporal in bipolarer Längsreihenmontage mit zusätzlichen anterior-temporalen Elektroden.



Abb. 16.4 Gleicher Spike links temporal wie in Abb. 16.3 in Referenzschaltung gegen Cz.

Angaben:

Datum: 02.01.10	EEG-Nr.: 11-10
Name: Der Patient	Geb.-Datum: 05.05.85
Beh. Arzt: Dr. Kollege	Station: 1A

Diagnose: symptomatische, fokale Epilepsie mit epigastischen Auren, komplex-fokalen Anfällen mit psychomotorischer Symptomatik bei Hippocampusklerose links.

Med.: Carbamazepin retardiert 2000 mg/d

Fragestellung: V.a. mesiale Temporallappen-Epilepsie links. Gibt es pathologische Befunde im EEG, die diese Verdachtsdiagnose stützen?

Befund:

Vigilanz	Aktivität	Frequenz	Amplitude	Verteilung	Beschreibung
Wach (%) 80	Grundrhythmus	9 Hz	niedrig bis mittel	posterior, symmetrisch	rhythmisches, blockiert durch Augenöffnen, mäßig ausgeprägt
	Verlangsamung	2–5 Hz	mittel bis hoch	links temporal anterior (FT9)	intermittierend, irregulär, präsent in ca. 30 % der Zeit
	Sharp Waves		mittel bis hoch	links temporal anterior (FT9)	ca. 1–2 pro 5 Minuten
Schlaf (%) 20	Verlangsamung	2–5 Hz	mittel bis hoch	links temporal anterior (FT9)	intermittierend, irregulär, präsent in ca. 50 % der Zeit
	Sharp Waves		mittel bis hoch	links temporal anterior (FT9)	ca. 1–2 pro 2 Minuten
HV (5 Minuten): gut durchgeführt	Verlangsamung	2–5 Hz	mittel bis hoch	links temporal anterior (FT9)	intermittierend, irregulär, präsent in ca. 70 % der Zeit
	Sharp Waves		mittel bis hoch	links temporal anterior (FT9)	ca. 1–2 pro 2 Minuten
Photo- stimulation	Photic Driving	15, 20, 25 Hz	niedrig	okzipital, symmetrisch	gut ausgeprägt

Befundzusammenfassung:

Bei altersentsprechender Grundaktivität mit normalem, mäßig ausgeprägtem Alpha-Rhythmus treten Sharp Waves und eine irreguläre Theta-/Delta-Verlangsamung, die unter Hyperventilation und im Schlaf zunehmen, links temporal anterior auf. Das Maximum beider Aktivitäten liegt an der zusätzlich gesetzten Elektrode FT9.

Beurteilung mit klinischer Korrelation:

Die epilepsietypischen Potenziale links temporal anterior sowie die gleich lokalisierte Hirnfunktionsstörung stützen die anamnestisch, klinisch und radiologisch basierte Verdachtsdiagnose sehr. Beweisend für die Diagnose wäre aber nur eine iktales Registrierung mit Erfassung eines links temporal gelegenen Anfallsmusters.

Literatur

Deutsche Gesellschaft für klinische Neurophysiologie und funktionelle Bildgebung. Richtlinien zur Beschreibung und Beurteilung des EEG. http://www.dgkn.de/fileadmin/richtlinien_pdf/EEG7.pdf.
Noachtar S et al. Glossar der meistgebräuchten Begriffe in der klinischen Elektroenzephalographie und Vorschläge für die EEG-Befunderstellung. Klin Neurophysiol 2004; 35: 5–21.

Zusätzliche weiterführende Literatur:

- Binnie CD. Recording techniques: montages, electrodes, amplifiers, and filters. In: Halliday, AM, Butler SR, Paul R, eds. A Textbook of Clinical Neurophysiology. New York: John Wiley & Sons Ltd; 1987: 3–21.
- Blume WT, Kaibara M. Atlas of Adult Electroencephalography. New York: Raven Press Ltd.; 1995.
- Ebersole JS, Pedley TA. Current Practice of Clinical Electroencephalography. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2003.
- Lueders HO, Noachtar S. Atlas und Klassifikation der Elektroenzephalographie. Wehr: Ciba-Geigy Verlag; 1994.
- Niedermeyer E, Lopes da Silva F. Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields. Baltimore, München: Urban & Schwarzenberg; 1999.
- Zschocke S. Klinische Elektroenzephalographie. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; 1995.