

I – 9.1.3 Die Auswertung von Delta-Wellen im Schlaf

ANDREA RODENBECK, Göttingen, für die Task Force Auswertung von Polysomnographien der DGSM

Zusammenfassung

Deltawellen sind das Leitkriterium im EEG für die Beurteilung des tiefen NREM-Schlafs (Stadien 3 und 4). Im Gegensatz zur sonst üblichen Definition von Deltawellen im EEG werden für die Bestimmung der Stadien 3 und 4 nach RECHTSCHAFFEN und KALES (1968) nur Deltawellen berücksichtigt, die eine Frequenz von maximal 2 Hz und eine minimale Amplitude von 75 μ V aufweisen. Dabei soll die Dauer jeder Delta-Welle einzeln („Welle für Welle“) gemessen werden. Die Amplitude wird zwischen dem negativsten und positivsten Punkt der Welle („Spitze zu Spitze“) gemessen. Die Task Force der DGSM gibt folgende erläuternde Ergänzungen zu diesen Konventionen an: a) Zur besseren Abgrenzung von z. B. Schwitzartefakten wird das Frequenzkriterium auf 0,5 bis 2 Hz erweitert. b) Die Dauer der Deltawelle soll vom tatsächlichen Beginn bis zum Ende bestimmt werden und nicht von der Grundlinie des EEGs aus. c) Zur Bestimmung der Amplitude ist ein Schenkel der Delta-Welle ausreichend. Um die Zuverlässigkeit der Auswertung (Interrater-Reliabilität) zu verbessern, sollten a) isolierte K-Komplexe als solche gewertet werden, wobei auch die auf einen isolierten K-Komplex ggf. folgende Nachschwankung keine Delta-Welle darstellt, b) in Delta-Wellen eingestreute K-Komplexe bei entsprechender Frequenz und Amplitude ebenfalls als Deltawellen gewertet werden, c) Unterscheidungen zwischen einer Delta-Welle oder mehreren Teilwellen anhand des Kriteriums der halben Amplitudenhöhe getroffen werden und d) zur Bestimmung der Amplitude Maxima, die allein auf einem Artefakt oder einer Überlagerung durch höherfrequente Wellen beruhen, nicht berücksichtigt werden.

Delta-Wellen sind in der Polysomnographie das wesentliche Merkmal zur Bestimmung der Schlafstadien 3 und 4 (Slow wave sleep, SWS, „Tiefschlaf“). Im normalen Tages-EEG oder bei der Berechnung der sogenannten Delta-Power für wissenschaftliche Fra-

gestellungen ist die Wertung als Delta-Welle allein durch die Frequenz bestimmt. Im Allgemeinen wird von einer Delta-Frequenz gesprochen, sobald die Frequenz 3,5 Hz (gelegentlich auch 4 Hz) unterschreitet, wobei diese Grenzziehung zwischen den Delta- und den höheren Theta-Frequenzen weder bei physiologischen Zuständen (z. B. im Schlaf) noch bei zerebralen Funktionsstörungen besondere Zustandsänderungen markiert (ZSCHOCKE 2002). Im Gegensatz dazu werden bei der Erkennung und Wertung von Delta-Wellen im Schlaf-EEG sowohl die Frequenz als auch die Amplitude des Graphoelements berücksichtigt.

Für die Bestimmung von Delta-Wellen im Schlaf-EEG gelten nach RECHTSCHAFFEN und KALES (1968) folgende Regeln:

- die Frequenz ist kleiner/gleich 2 Hz,
und
- die Amplitude einer Delta-Welle beträgt mindestens 75 μ V.

In der praktischen Anwendung bedeuten diese Kriterien, dass bei einer Schlafableitung mit einer zeitlichen Auflösung von 10 mm/Sek. (= 30 cm pro 30 Sekunden Aufzeichnung) eine Delta-Welle eine Mindestdauer von 0,5 Sekunden (= 0,5 cm) hat. Die Delta-Aktivität im Schlaf ist nach KUBICKI (2002) individuell unterschiedlich ausgeprägt und zeigt sich in einer mehr anterioren und sinusförmigen Aktivität um 1,5–2 Hz und einer mehr posterioren und polymorph gestalteten Aktivität von < 1 Hz. Entsprechend wurde von dem Komitee um RECHTSCHAFFEN und KALES das Amplitudenkriterium eingeführt, um die Auswertung von Delta-Wellen zu vereinheitlichen. Im Gegensatz zu der charakteristischen Wellenform etwa einer Schlafspindel, bei der die Amplitude nur zu einem geringen Teil zum Erkennungsprozess beiträgt, ist die Wellenform einer SWS-relevanten Delta-Welle weit weniger charakteristisch. Daher wird neben der Frequenz die Amplitude als zusätzliches Kriterium für die visuelle Auswertung benutzt. Die Amplitude wird dabei durch die Messung von „Spitze zu Spitze“, d. h. zwischen dem negativsten und positivsten Punkt der Welle gemessen. Bei einer Empfindlichkeit (entspricht „Zeigeraus-

lenkung“ bei Papieraufzeichnung des EEG) von $7 \mu\text{V}/\text{mm}$ (PENZEL et al. 1993) haben auswertungsrelevante Delta-Wellen eine Mindestamplitude von 1,07 cm. Des Weiteren soll nach den Regeln von RECHTSCHAFFEN und KALES der Versuch gemacht werden, zwischen Delta-Wellen und K-Komplexen zu unterscheiden. Dem Komitee um RECHTSCHAFFEN und KALES zufolge, soll „Welle für Welle“ (s. *Anhang Abb. 1*) gemessen werden, insbesondere wenn eine Häufigkeit hochamplitudiger, langsamwelliger Aktivität vorliegt, die eine Unterscheidung zwischen dem Stadien 2 und 3 bzw. 3 und 4 grenzwertig erscheinen lässt. Auch wenn die Stadien 3 und 4 als SWS zusammengefasst werden, bleibt die genaue Erfassung der einzelnen Delta-Wellen für die Abgrenzung gegenüber Stadium 2 unerlässlich.

Ergänzende Erläuterungen, die in RECHTSCHAFFEN und KALES nicht explizit festgelegt sind

Um relevante Delta-Wellen insbesondere von Schwitzartefakten oder anderen langsamen Potentialschwankungen abgrenzen zu können, hat es sich mittlerweile in praktisch allen Standardwerken zur EEG-Analyse (z.B. ZSCHOCKE 2002) durchgesetzt, die Mindestfrequenz auf 0,5 Hz (entspricht einer 2-sekündigen Dauer = 2 cm bei einer Auflösung von 10 mm/Sek.) zu begrenzen, d. h. Delta-Wellen, die länger als 2 Sekunden andauern, werden nicht in die Analyse einbezogen (s. *Anhang Abb. 1*).

Gemessen wird die Frequenz vom Beginn bis zum Ende der Delta-Welle, was zumeist nicht der Grundlinie des EEGs entspricht. Dies hat Auswirkungen auf die Messung der durchschnittlichen Frequenz. So beträgt im Beispiel der *Abbildung 1* die Dauer der Delta-Welle 0,86 cm, was einer Frequenz von 1,16 Hz entspricht. Würde von der Grundlinie des EEGs aus gemessen, betrüge die Dauer nur 0,56 cm (1,78 Hz). Obwohl im Text von RECHTSCHAFFEN und KALES (1968) nicht explizit festgelegt wird, dass die Messung vom tatsächlichen Beginn bis zum Ende der Welle erfolgen soll, so ist dies doch aus den dort gewählten Beispielen zu entnehmen. Zum ändern soll die Amplitude von „Spitze zu Spitze“ gemessen werden. Daraus lässt sich folgern, dass auch die Frequenz bzw. Dauer von der größten Auslenkung ausgehend bestimmt werden sollte. Da für die Bestimmung des SWS der prozentuale Anteil der Delta-Wellen pro Epoche von entscheidender Bedeutung ist, muss bei der Erfassung einer relevanten Delta-Welle

das Kriterium der Messung vom tatsächlichen Beginn bis zum tatsächlichen Ende unbedingt eingehalten werden.

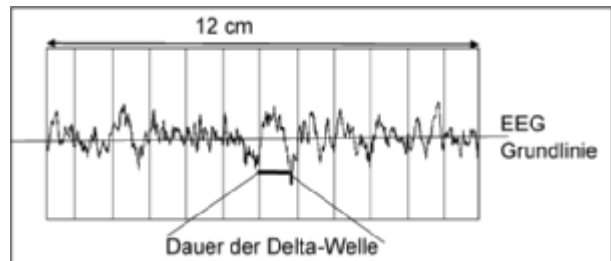


Abb. 1: Bestimmung der Dauer einer Schlaf-relevanten Delta-Welle.

Wenn auch nicht im Text des Manuals explizit fixiert, wird aus den vom Komitee um RECHTSCHAFFEN und KALES gewählten Beispielen weiterhin deutlich, dass ein Schenkel einer Delta-Welle zur Bestimmung der Amplitude ausreichend ist (s. *Abb. 2, Anhang Abb. 2*).

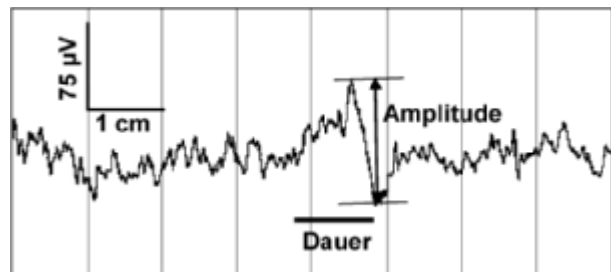


Abb. 2: Bestimmung der Amplitude.

Vorschläge der Task Force der DGSM bei Grenzfällen der Bestimmung von relevanten Delta-Wellen

Abgrenzung zwischen K-Komplex und Delta-Wellen

Die Abgrenzung zwischen K-Komplexen und Delta-Wellen ist häufig schwierig, soll jedoch nach den Regeln von RECHTSCHAFFEN und KALES möglichst versucht werden. Diese Abgrenzung wird zusätzlich dadurch erschwert, dass wie oben beschrieben, bereits ein Schenkel einer Delta-Welle ausreicht, um die Amplitude zu bestimmen und damit eine Delta-Welle zu bewerten. Bei isoliert auftretenden K-Komplexen ist eine Unterscheidung in fast allen Fällen möglich. Dagegen kann in einer Serie von aufeinander folgenden Delta-Wellen meist nicht zwischen Delta-Wellen und eingestreuten K-Komplexen differenziert werden.

Die Task Force der DGSM schlägt daher vor, isoliert (auf flachem EEG-Hintergrund) auftretende K-Komplexe auch in Epochen mit SWS als solche und nicht als Delta-Welle zu werten. (s. Anhang Abb. 3) Die auf einen isolierten K-Komplex folgende Nachschwankung sollte ebenfalls nicht als Delta-Welle geratet werden. Wenn jedoch K-Komplexe zwischen Delta-Wellen eingebettet sind, sollten sie bei entsprechender Frequenz und Amplitude bei der Berechnung des Anteils von Delta-Wellen mitgezählt werden. (s. Anhang Abb. 4)

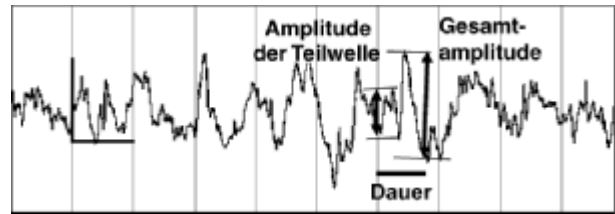


Abb. 3: Kriterium der halben Amplitudenhöhe.

Abgrenzung einzelner Delta-Wellen

Erfahrungsgemäß ist es gelegentlich schwierig, zu unterscheiden, ob nur eine Delta-Welle vorliegt oder aber es sich um zwei oder mehr getrennte Wellen handelt. Dies ist sofern von Relevanz, da ja möglichst jede Welle einzeln bestimmt werden soll, insbesondere in Grenzfällen der Stadienbestimmung. Damit können Fälle auftreten, in denen das Frequenzkriterium verfehlt wird. D.h. bei einer fälschlichen Aufteilung einer Welle in Teilwellen reicht u.U. die Frequenz der Teilwellen nicht aus, um sie als Delta-Welle zu beurteilen (die Maximalfrequenz von 2 Hz wird überschritten), während umgekehrt, bei einer fälschlichen Zusammenfassung mehrerer einzelner Teilwellen zu einer einzigen Delta-Welle ggf. die Minimalfrequenz von 0,5 Hz unterschritten wird. Auch dieses Problem bleibt in den Regeln von RECHTSCHAFFEN und KALES offen. Die Task Force der DGSM spricht sich daher dafür aus in fraglichen Fällen ein Kriterium der halben Amplitudenhöhe einzuführen: Zunächst wird die Gesamtamplitude des Delta-Komplexes bestimmt und anschließend die Amplitude einer fraglichen Teilwelle (s. Abb. 3). Beträgt die Amplitude der Teilwelle weniger als die Hälfte der Gesamtamplitude, so wird der Komplex als eine einzige Delta-Welle beurteilt. Überschreitet die Amplitude der Teilwelle jedoch die halbe Höhe der Gesamtamplitude, so handelt es sich um mehrere einzelne, voneinander getrennt zu wertende Delta-Wellen, für die dann jeweils das Frequenzkriterium zu prüfen ist. (s. Anhang Abb. 4 u. 5)

Bestimmung von Delta-Wellen bei Mischfrequenzen und Artefakten

Es muss beachtet werden, dass in manchen Fällen die Amplitude einer relevanten Delta-Welle durch Artefakte beeinflusst sein kann. Dies gilt z.B. für EKG-Artefakte oder für eine Überlagerung der Delta-Welle durch Alpha- oder Theta-Wellen. Ist in grenzwertigen Fällen die maximale Amplitude allein durch diese Überlagerungen bzw. durch Artefakte bestimmt, so sollte das entsprechende Graphoelement nicht als Delta gewertet werden. Dagegen werden Serien von Delta-Wellen, deren einzelne Elemente die geforderte minimale Amplitude überschreiten, auch dann als Delta-Wellen gewertet, wenn höherfrequente Wellen darin eingestreut sind. (s. Anhang Abb. 6 u. 7)

Literatur

- KUBICKI S: Vigilanz und Schlaf. In: ZSCHOCKE S (Hrsg.) Klinische Elektroenzephalographie, 2. Aufl., Berlin, Springer, 2002
- PENZEL T, HAJAK G, HOFFMANN RM, LUND R, PODSZUS T, POLLMÄCHER T, SCHÄFER T, SCHULZ H, SONNENSCHNEIN W, SPIEWEG I: Empfehlungen zur Durchführung und Auswertung polygraphischer Ableitungen im diagnostischen Schlaflabor. Ztschr. EEG-EMG 24: 65–70, 1993
- RECHTSCHAFFEN A, and KALES A (Eds.), BERGER RJ, DEMENT WC, JACOBSON A, JOHNSON LC, JOUVET M, MONROE LJ, OSWALD I, ROFFWARG HP, ROTH B, and WALTER RD: A Manual of Standardised Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects. Public Health Service, US Government Printing Office, Washington DC, 1968
- RECHTSCHAFFEN A, KALES A (Hrsg.): Ein Manual der standardisierten Terminologie, Techniken und Auswertung der Schlafstadien beim Menschen. Durchges. dt. Übers. v. Th. SCHICHTL., in: Kompendium Schlafmedizin, Landsberg/Lech, ecomed, 2002
- ZSCHOCKE, S: Klinische Elektroenzephalographie. 2. Aufl., Berlin, Springer, 2002

Anhang: 7 Abbildungen (jeweils 30 Sek.-Kurvenausschnitte)

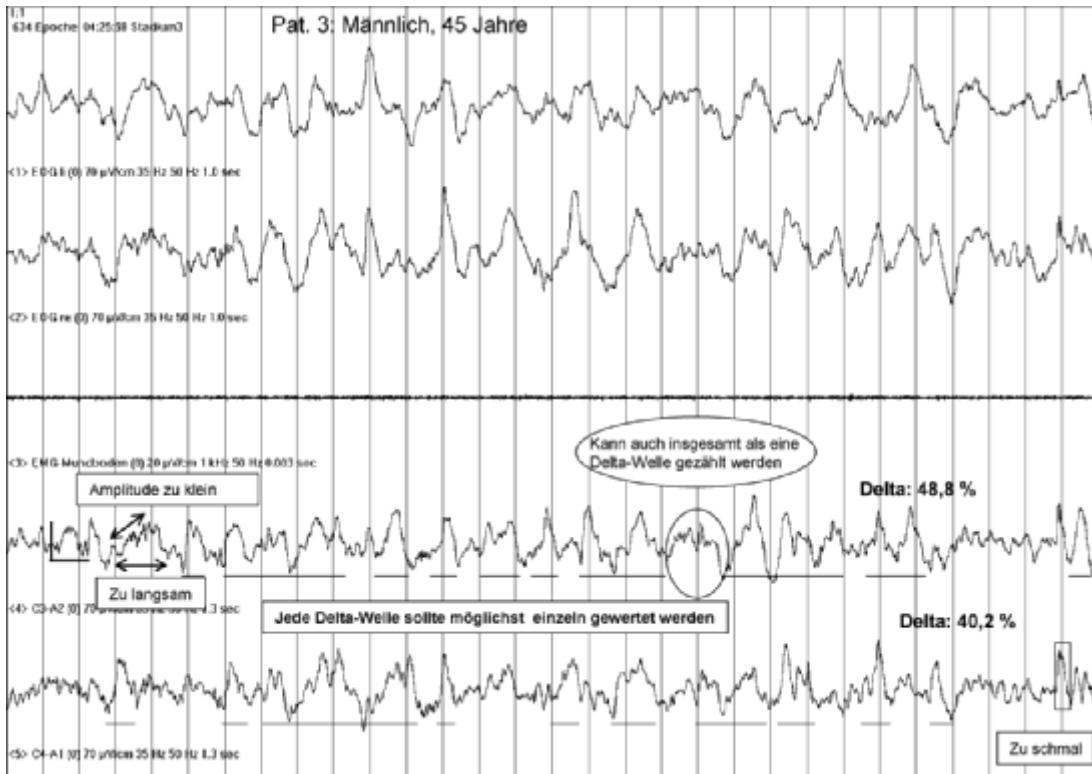


Abb. 1

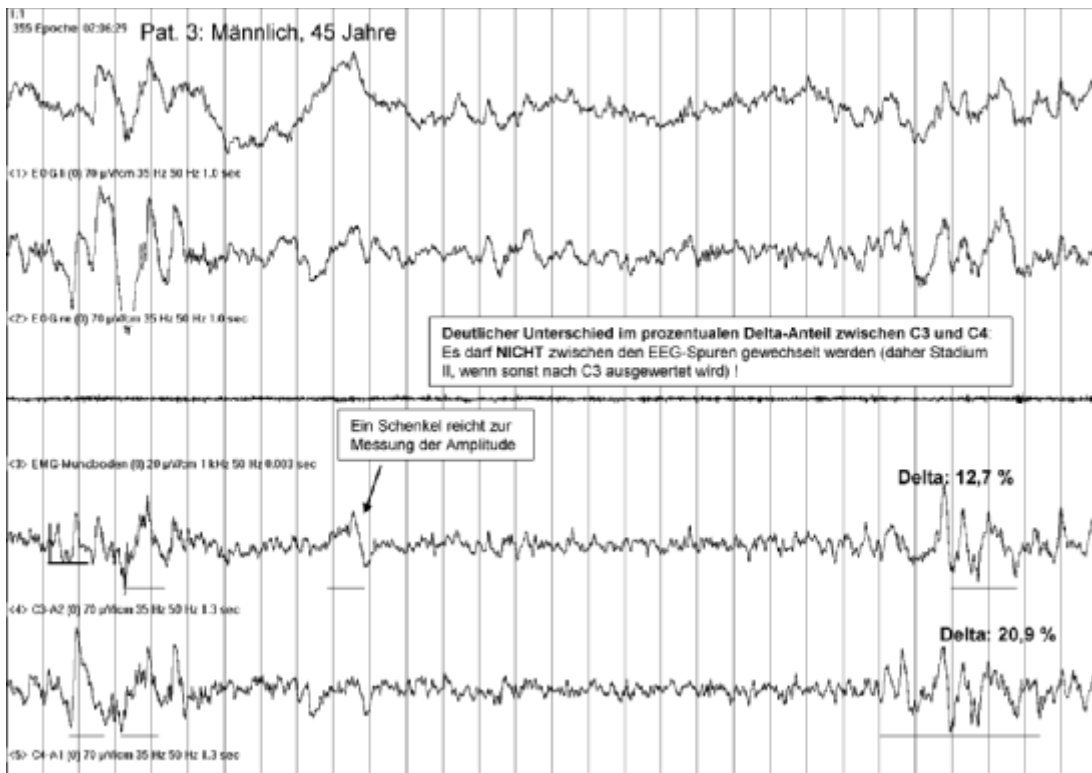


Abb. 2

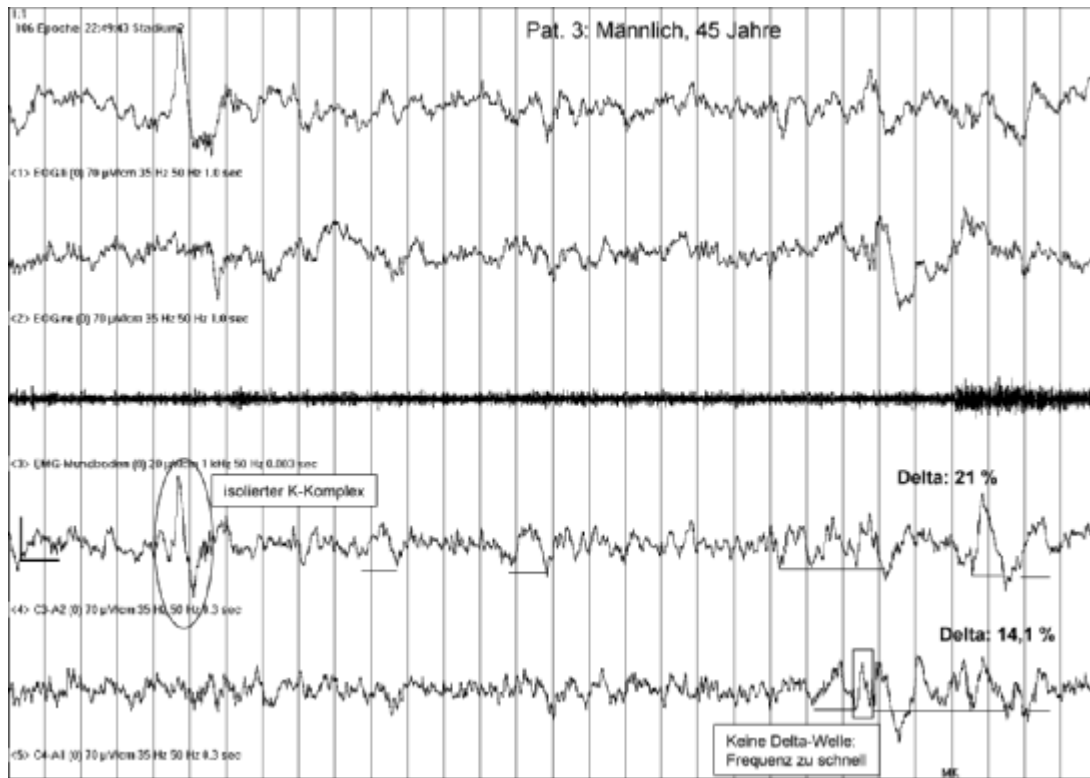


Abb. 3

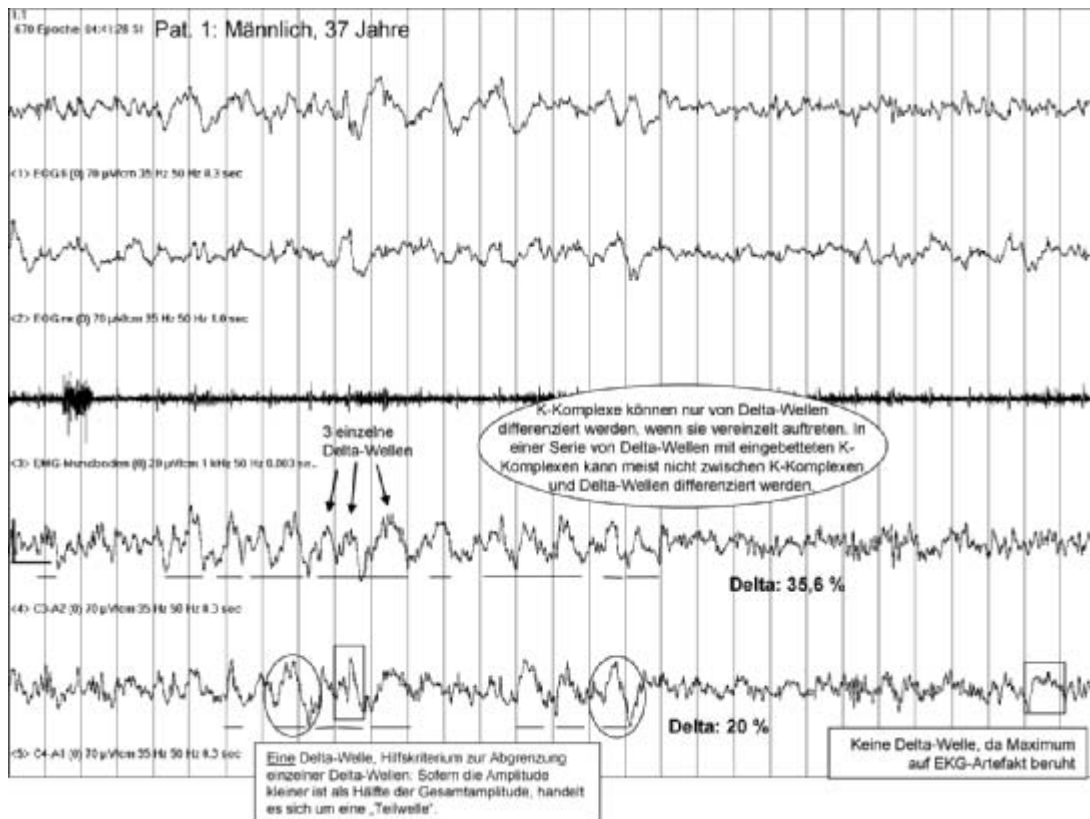


Abb. 4

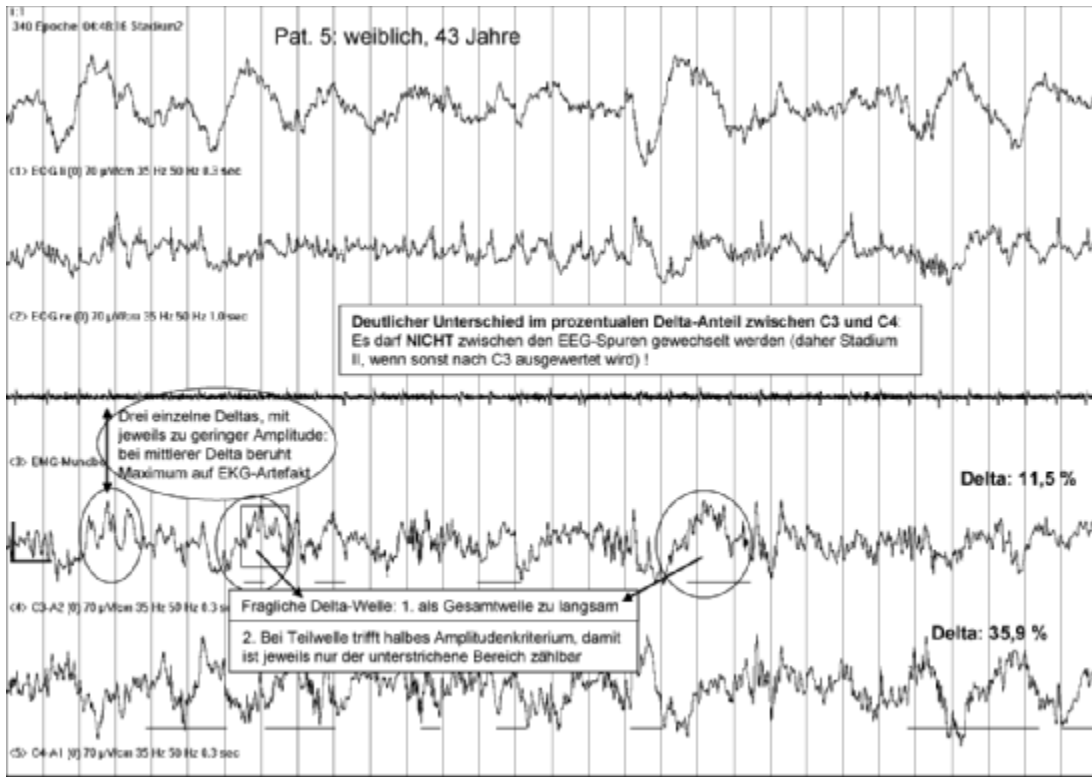


Abb. 5

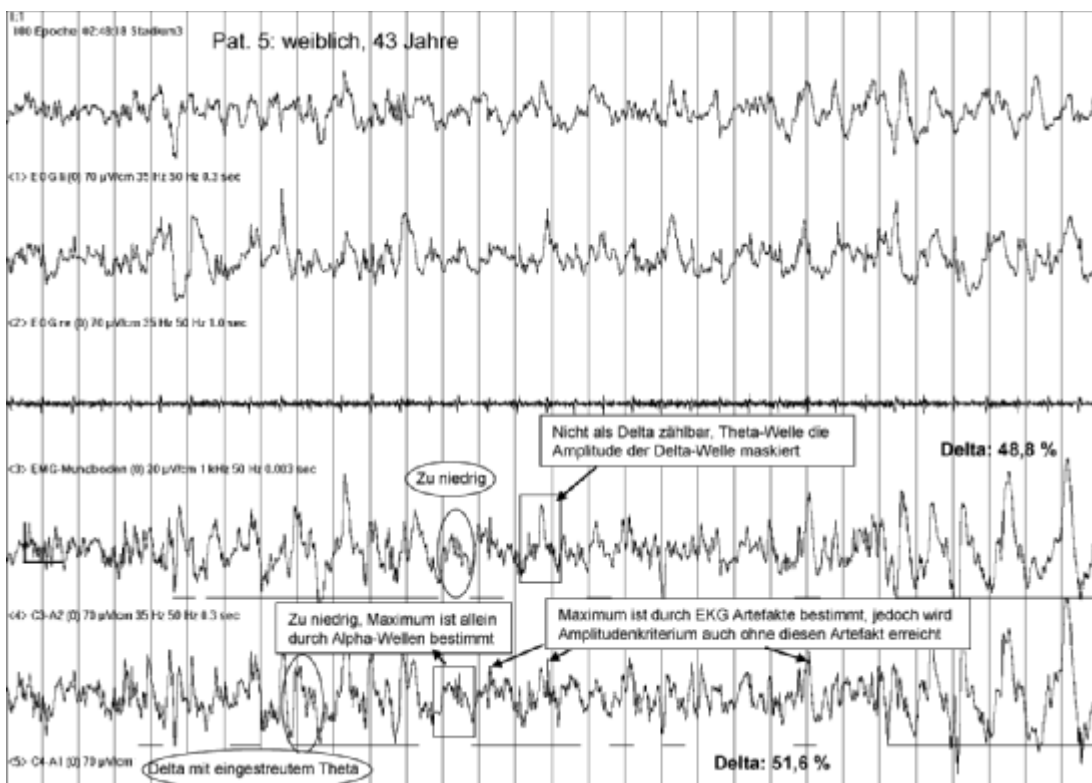


Abb. 6

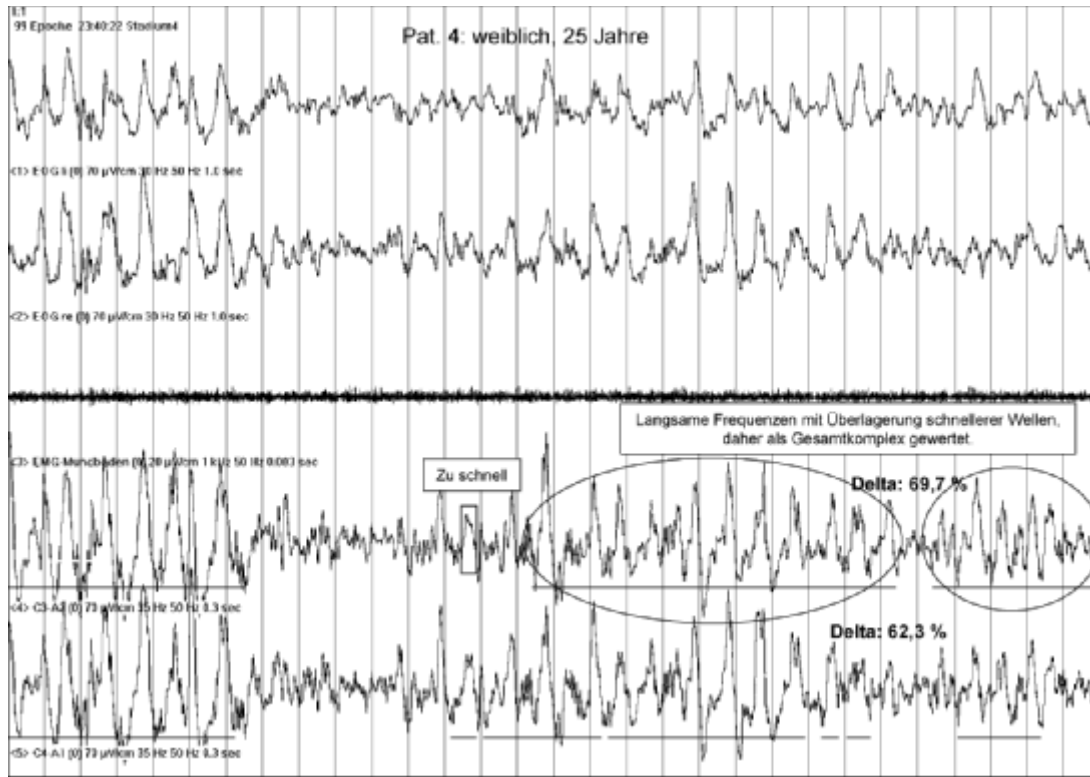


Abb. 7

