

# Empfehlungen der DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR KLINISCHE NEUROPHYSIOLOGIE UND FUNKTIONELLE BILDGEBUNG für das Mapping von EEG-Parametern (EEG- und EP-Mapping)

## Vorwort

Das EEG- und EP-Mapping ist ein Verfahren zur Darstellung der räumlichen Verteilung hirnelektrischer Aktivität. Maps (Karten) werden aus Potentialwerten erstellt, die an bestimmten Punkten (z. B. den Elektrodenpositionen des 10-20-Systems) gemessen und an anderen durch Interpolation gewonnen werden. Das Mapping gibt Auskunft über die - ständig wechselnde - Verteilung der an der Kopfoberfläche registrierten Potentialfelder, jedoch nicht über deren Herkunft. Das Mapping ist keine Darstellung anatomischer Strukturen wie bei anderen bildgebenden Verfahren.

Es handelt sich um eine aufwendige Methode, die sowohl beim Registrieren als auch beim Auswerten beträchtliche Erfahrung erfordert. Die DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR KLINISCHE NEUROPHYSIOLOGIE UND FUNKTIONELLE BILDGEBUNG sieht bisher keine spezielle klinische Indikation, die den alleinigen Einsatz des Mapping rechtfertigt. Die rasche Entwicklung dieser neuen Darstellungsweise hinterließ beim Vorstand der DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR KLINISCHE NEUROPHYSIOLOGIE UND FUNKTIONELLE BILDGEBUNG den Eindruck, daß bereits etablierte elektroenzephalographische Qualitätsstandards bislang im Verhältnis zu den technischen Möglichkeiten des Mapping vernachlässigt wurden.

Die nachstehende Kurzform der Empfehlungen soll dazu beitragen, den rechten Gebrauch des EEG-Mapping zu fördern und Mißbrauch zu verhindern. Es wird auf die ausführliche Version der Mapping-Empfehlungen (5) verwiesen.

## 1. Gegenstand der Empfehlungen

Die folgenden Empfehlungen behandeln das Mapping von momentanen Amplitudenwerten einzelner Wellen (z. B. evozierte Potentiale, Spikes, K-Komplexe) oder von Spektralparametern, die über Zeitabschnitte (Epochen) des EEG geschätzt werden (z. B. Frequenzband-Leistung, -Amplitude, Kohärenz).

## 2. Datenaufnahme

### 2.1 Elektrodenpositionen und Registrierung

Es werden **mindestens** die 19 von der **DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR KLINISCHE NEUROPHYSIOLOGIE UND FUNKTIONELLE BILDGEBUNG** empfohlenen Positionen des 10-20-Systems (7) für die Registrierung (10) gefordert:

		Fp1	Fp2		
F7	F3	Fz	F4	F8	
T3	C3	Cz	C4	T4	
T5	P3	Pz	P4	T6	
		O1	O2		

Weitere Positionen sind dem Anhang zu entnehmen.

Das Registrieren von Augenbewegungen ist für die Artefakterkennung obligat. Dabei kann so verfahren werden wie bei IRRGANG u. HÖLLER (6) dargestellt. Es wird grundsätzlich empfohlen, gegen **eine** Referenz-Elektrode abzuleiten, z. B. gegen Cz, A1, A2 oder das arithmetische Mittel aus A1 und A2  $[(A1 + A2)/2]$ . Mindestens bis zur abschließenden Beurteilung des EEG müssen die Daten in einer Form gespeichert werden, die das Umrechnen von der registrierten Referenz auf **jede** andere Ableitungsform erlaubt (z. B. auf Mittelwertsreferenz, Quellenableitung, andere Elektroden als Referenzen etc.). Es wird darauf hingewiesen, daß Quellen- und Laplace-Ableitungen die Daten **unumkehrbar** verändern.

Bei der **Registrierung des klinischen EEG** sind die Mindestanforderungen der DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR KLINISCHE NEUROPHYSIOLOGIE UND FUNKTIONELLE BILDGEBUNG anzuwenden (3). Eine Ableitedauer von mindestens 20 Minuten ist einzuhalten. Für Vergleichszwecke sind Frequenzbandparameter-Maps für mindestens folgende EEG-Abschnitte anzufertigen:

- 2 Maps von je 20 (artefaktfreien!) Sekunden (s) unter der Bedingung "Augen zu" aus der 2. und 3. Minute der Ableitung, jeweils **10 s** nach Augenschluß beginnend;
- 2 Maps von je 20 (artefaktfreien!) Sekunden unter der Bedingung "Augen auf" aus der 2. und 3. Minute der Ableitung, jeweils **möglichst unmittelbar nach dem Augenöffnen** beginnend;
- Sofern Hyperventilation durchgeführt wird, 1 Map von 20 s Hyperventilation aus den letzten 20 s der 3. Minute.
- Für Abschnitte mit abnormer Aktivität müssen zusätzliche Maps angefertigt werden. Unter klinischen Bedingungen bzw. bei unruhigen Patienten wird ein (komplettes) Mapping artefaktfreier Abschnitte nach den o. g. Empfehlungen oft nicht möglich sein; das macht die Grenzen des Mapping als standardisierbare klinische Methode deutlich.

### 2.2 Dokumentation der Daten und Behandeln von Artefakten

Die Zeit der Abschnitte (Epochen), aus denen eine Karte erstellt wurde, muß in der Abbildung vermerkt sein.

Um Informationen über die Form von Wellen in Zeitreihen zu erhalten und Artefakte sowie Einzelergebnisse im analysierten Abschnitt erkennen zu können, müssen zusätzlich zu jeder Karte die EEG-Kurven aller Kanäle **nach Digitalisierung** dargestellt werden.

Unabhängig davon ist das vollständige EEG, entweder als Kurve auf Papier/Mikrofilm oder in digitalisierter Form gemäß den gesetzlichen Bestimmungen für Ärzte, 10 Jahre aufzubewahren.

Vor dem Erstellen einer Karte muß in jedem einzelnen Fall die EEG-Kurve auf Artefakte durchgesehen werden. Segmente mit

Artefakten sind von der weiteren Analyse auszuschließen. Art der Artefakte und ihre Editierung müssen dokumentiert werden.

Bei gemittelten evozierten Potentialen muß die Anzahl der verworfenen Reaktionspotentiale (Durchgänge, Sweeps) dokumentiert werden.

### 2.3 Grundlinie

Die Grundlinie (baseline) für Amplitudenmapping ist die technische Null-Linie. Bei evozierten Potentialen (EP) kann auch die Differenz-Karte zwischen Prä- (100 - 500 ms vor dem Stimulus; Prä-Stimulus-Grundlinie) und Post-Stimulus-Aktivität berechnet werden.

## 3. Parametrisierung

### 3.1 Eichung, Filterung und Digitalisierung

Die Eichung, Filterung und Digitalisierung der Daten geschieht nach den üblichen Regeln der Quantifizierung von EEG- oder EP-Daten. Es wird auf die Empfehlungen der Internationalen Pharmako-EEG Gesellschaft (IPEG) (4) verwiesen. Vor jeder Ableitung muß mit einer unabhängigen, stabilen Eichquelle geeicht werden; die Amplituden jedes Kanals müssen an der gemessenen Eichamplitude korrigiert werden (automatischer Abgleich). Es wird empfohlen, mit einem 10-Hz/100- $\mu$ V- (Spitze-zu-Spitze-)Sinusgenerator zu eichen. Die mittlere Amplitude für ein 20-s-Eichintervall darf in jedem Kanal um nicht mehr als  $\pm 10\%$  vom Sollwert abweichen. Bei größeren Abweichungen ist ein technischer Defekt in Betracht zu ziehen.

Die Bestimmung der technischen Null-Linie soll für jeden Kanal durch Mittelung eines Abschnittes von mindestens 1 s Dauer bei kurzgeschlossenen Verstärkereingängen erfolgen. Die Mittelung darf **frühestens 1 min** nach dem Kurzschließen erfolgen.

### 3.2 Spontanes EEG

Das spontane EEG wird heute zumeist mit Hilfe der Spektralanalyse (Leistung pro Frequenzband) parametrisiert.

Zu Vergleichszwecken soll immer die Darstellung gegen die Mittelwerts-Referenz ("Common-Average"-Referenz) erfolgen. Darüber hinaus wird empfohlen, einen Datensatz gegen andere Referenzen umzurechnen.

Die Darstellung soll einen Amplitudenmaßstab zeigen (Quadratwurzel aus Leistung pro Frequenzband in  $\mu$ V, linear oder logarithmisch).

### 3.3 Momentane Potentialkarten (EEG, EP, Spikes, K-Komplexe etc.)

Für Vergleiche wird empfohlen, die Karten gegen die Mittelwerts-Referenz darzustellen.

Die Anzahl der Mittelungen bei EP und ERP richtet sich nach den Empfehlungen der DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR KLINISCHE NEUROPHYSIOLOGIE (9). Die Anzahl der gemittelten Durchgänge (Sweeps) ist **in der Karte** anzugeben.

## 4. Zielvariable

### 4.1 EEG

Bezüglich der Zielvariablen für das EEG wird auf Kapitel 7 der IPEG-Empfehlungen (4) verwiesen. Trotz erheblicher Nachteile ist die mittlere Amplitude (Quadratwurzel aus Leistung pro Frequenzband) die gebräuchlichste Zielvariable für das EEG.

Für **klinische Fragestellungen** werden mindestens **sechs Frequenzbänder** empfohlen. Ihre Grenzen können der Fragestellung angepaßt werden und sind auf jeder Karte anzugeben. Im Interesse der Vergleichbarkeit empfiehlt die Kommission folgende Frequenzbandgrenzen (in Hz):

- a) 0,5 - 3,4
- b) 3,5 - 7,4
- c) 7,5 - 12,4
- d) 12,5 - 17,9
- e) 18,0 -  $f_N$  (Nyquist-Frequenz) sowie
- f) 0,5 -  $f_N$  bzw. 0,5 - 30 (-32) Hz.

Weitere Vorschläge für Frequenzbandeinteilungen sind der ausführlichen Version der Mapping-Empfehlungen zu entnehmen. Darüber hinaus soll die Kartendarstellung mit einer Frequenzauflösung von mindestens 1,0 Hz möglich sein.

### 4.2 EP-Kartenserie

Die **Latenz** einer EP-Komponente ist als Zeitabstand zwischen dem stärksten positiven oder negativen Potentialwert und dem Reizbeginn definiert. Neben dem üblichen Vorgehen, die Latenz anhand der Potentialdifferenzen einzelner Elektroden zu bestimmen, können auch Schätzfunktionen gewählt werden, die die Veränderungen des elektrischen Feldes auf dem gesamten Schädel berücksichtigen. Dafür kommt nach LEHMANN und SKRANDIES (8) z. B.: die maximale "globale Feldleistung" (innerhalb der Zeitfenster für die einzelnen EP-Komponenten) in Betracht.

Die **Amplitude** einer bestimmten Komponente kann entweder durch die Wurzel aus der "globalen Feldleistung" (Standardabweichung) zum Zeitpunkt der Latenz ausgedrückt werden oder durch die Differenz zwischen dem Potentialminimum und Potentialmaximum. Dadurch kann die EP-Kartenserie auf wenige, den Latenzen der einzelnen Komponenten entsprechende Karten reduziert werden.

## 5. Kartenbildung

### 5.1 Algorithmus für die Kartenbildung

Der für die Kartenbildung verwendete Interpolations-Algorithmus ist anzugeben; durch den Algorithmus der Kartenbildung dürfen gemessene Punkte nicht verändert werden.

Desgleichen ist das Verfahren der zweidimensionalen Projektion zu spezifizieren (2).

Bei der **Anwendung** (insbesondere bei klinischen Fragestellungen) muß man die mangelnde Definition einer Aktivität zwischen zwei Elektroden berücksichtigen (räumliches Aliasing). Dieses Problem kann nicht durch Interpolation, sondern nur durch eine erhöhte Anzahl von Elektroden gelöst werden.

## 5.2 Skalierung und Farbgebung

Die Zuordnung von Amplituden zu Farb- bzw. Grauwerten muß eindeutig aus jeder Karte ersichtlich sein. Beim Mapping mittlerer Amplituden muß die Dauer des gemittelten Abschnitts in jeder Karte angegeben werden.

Für quantitative intra- und interindividuelle Vergleiche ist die Darstellung von Absolutwerten unerlässlich. Soll lediglich eine relative Verteilung in einem Bild dargestellt werden, kommen Prozentwerte in Betracht. Für Vergleiche zwischen zwei Karten sind Differenzdarstellungen von Amplitudenwerten gebräuchlich. Derzeit gibt es noch keine einheitliche Verfahrensweise zur Farb- oder Graustufenkodierung. Wichtig ist, die Farbstufen so zu wählen, daß sie farbpsychologisch als äquidistant empfunden werden; dies gilt analog auch für die Graustufenkodierung. Für die Skalierung ist einerseits der größtmögliche dynamische Bereich der Skalierung auszunutzen, andererseits soll bei intra- und interindividuellen Vergleichen - wann immer möglich - der gleiche Maßstab beibehalten werden.

Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten und die Interpretation zu erleichtern, sollen bei Schwarzweißdarstellungen schwarze (intensive) Werte einen großen, weiße einen kleinen Wert repräsentieren; bei Differenzbildung soll Schwarz eine große, Weiß eine kleine Differenz darstellen. Bei Buntdarstellung soll Rot einen großen Wert bzw. eine große Differenz, Blau einen kleinen Wert bzw. eine kleine Differenz darstellen. Werden Differenzen dargestellt, soll die Mittellage (0-Wert) ein mittleres Grau haben; bei Farbdarstellung soll der 0-Wert zwischen Gelb und Grün liegen, so daß die positive Skala von Gelb bis Rot und die negative von Grün bis Blau reicht.

Werden die Skalen, um Grau- oder Farbtöne voll ausnutzen zu können, an die vorhandenen Maximal- und Minimalwerte adaptiert, besteht die Gefahr, daß minimale Unterschiede durch beeindruckende Farbumschläge in Wirklichkeit nicht vorhandene Änderungen vortäuschen. Markante Farb- oder Grauton-Umschläge sollten deshalb nur dann gezeigt werden, wenn ein Effekt (siehe Kap. 7) tatsächlich vorhanden ist.

Im Hinblick auf den derzeitigen Stand der Vervielfältigungsmöglichkeiten sind Grautondarstellungen obligat.

## 5.3 Wahrscheinlichkeitskarten (Probability maps)

Darstellungen von parametrischen oder nicht-parametrischen Vergleichen dürfen nur für die Elektrodenpositionen, jedoch nicht für interpolierte Punkte angegeben und nur zur Exploration und Deskription verwendet werden. Wahrscheinlichkeitskarten können nicht für konfirmatorische Nachweise von Wirkungen, fokalen Störungen oder Normalabweichungen benutzt werden (1, 4).

Einige Hersteller von Mapping-Geräten bieten sogenannte Normdaten an. Deren Verwendung kann die DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR KLINISCHE NEUROPHYSIOLOGIE UND FUNKTIONELLE BILDGEBUNG derzeit noch nicht empfehlen.

## 6. Verlaufskontrolle für klinisches EEG und EP

Bei Verlaufskontrollen sollen identische Ableite-, Transformations-, Auswerte- und Darstellungsbedingungen eingehalten werden. Abweichungen hiervon müssen genau dokumentiert und begründet werden.

## 7. Nachweis von Effekten

Effekte (z. B. von Behandlungen oder Substanzen) können nur mit Hilfe der tatsächlich gemessenen Ableitpunkte (mindestens 19) und nicht mit den interpolierten Bildpunkten nachgewiesen werden. Es muß zwischen explorativen, deskriptiven und konfirmativen statistischen Analysen unterschieden werden; es ist stets anzugeben, um welche Art der Analyse es sich handelt. Dies geschieht bei der Angabe von p-Werten zweckmäßigerweise dadurch, daß sie einen Index "e" für explorativ, "d" für deskriptiv und "c" für konfirmativ erhalten ( $p_e$ ,  $p_d$  oder  $p_c$ ) (1, 4).

Mitglieder der Kommission:

W. M. HERRMANN                      ST. KUBICKI                      H. KÜNKEL                      J. KUGLER                      D. LEHMANN  
K. MAURER      P. RAPPELSBERGER      W. SCHEULER

## Literatur

1. ABT, K., U. FERNER, H. KÜNKEL, M. MATEJCEK, J. RÖHMEL: Recommendations for the statistical design and analysis of pharmacoelectroencephalography studies (in Vorbereitung)
2. COPPOLA, R.: Issues in topographical analysis of EEG activity.  
In: DUFFY, F. H. (Ed.): Topographic Mapping of Brain Electrical Activity. Butterworths, London (1986) 339 - 346
3. Deutsche EEG-Gesellschaft: Mindestanforderungen für die Durchführung von EEG-Ableitungen in Klinik und Praxis. EEG-Labor 7 (1985), 178
4. DUMERMUTH, G., G. FERBER, W. M. HERRMANN, H. HINRICHS, H. KÜNKEL: Recommendations for standardization of data acquisition and signal analysis in pharmaco-electroencephalography. Neuropsychobiology 17 (1987) 213 - 218
5. HERRMANN, W. M., ST. KUBICKI, H. KÜNKEL, J. KUGLER, D. LEHMANN, K. MAURER, P. RAPPELSBERGER, W. SCHEULER: Empfehlungen der Deutschen EEG-Gesellschaft für das Mapping von EEG-Parametern (EEG- und EP-Mapping) Z. EEG-EMG 20 (1989) 125 - 132
6. IRRGANG, U., L. HÖLLER: Polygraphic recording in the EEG laboratory. J. Electrophysiol. Techn. 7 (1981) 98 - 111
7. JASPER, H. H.: The Ten Twenty Electrode System of the International Federation.  
Electroenceph. Clin. Neurophysiol. 10 (1958) 143 - 149

8. LEHMANN, D., W. SKRANDIES: Reference-free identification of components of checkerboard-evoked multichannel potential fields. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 48 (1980) 609 - 621
9. LOWITZSCH, K., R. BESSER, W. HACKE, M. STÖHR: Empfehlungen (der Deutschen EEG-Gesellsch.) für die Ausbildung im Bereich "Evozierte Potentiale". *EEG-Labor* 10 (1988) 51 - 53
10. PASTELAK-PRICE, C.: Das internationale 10-20-System zur Elektrodenplatzierung: Begründung, praktische Anleitung zu den Meßschritten und Hinweise zum Setzen der Elektroden. *EEG-Labor* 5 (1983) 49 - 72

#### **Anhang**

1. 10%-Elektrodensystem mit den von der Deutschen EEG-Gesellschaft empfohlenen Elektrodenbezeichnungen (Abb. 1). Die das 10-20-System ergänzenden Elektrodenpositionen sind hell eingezeichnet.
2. Vorschlag zur Elektrodenplatzierung bei einem 32-Kanal-Gerät (Abb. 2). Die Elektroden des 10-20-Systems können durch die hell eingezeichneten Positionen des 10%-Systems ergänzt werden, wobei sich die Auswahl (12 der angegebenen 14 Positionen) nach der Fragestellung richten muß. Die Temporalpol-Elektroden T1 und T2 sind für die klinische Elektroenzephalographie von Bedeutung und sollten vor allem bei Patienten mit Epilepsie eingesetzt werden.

Abb. 1

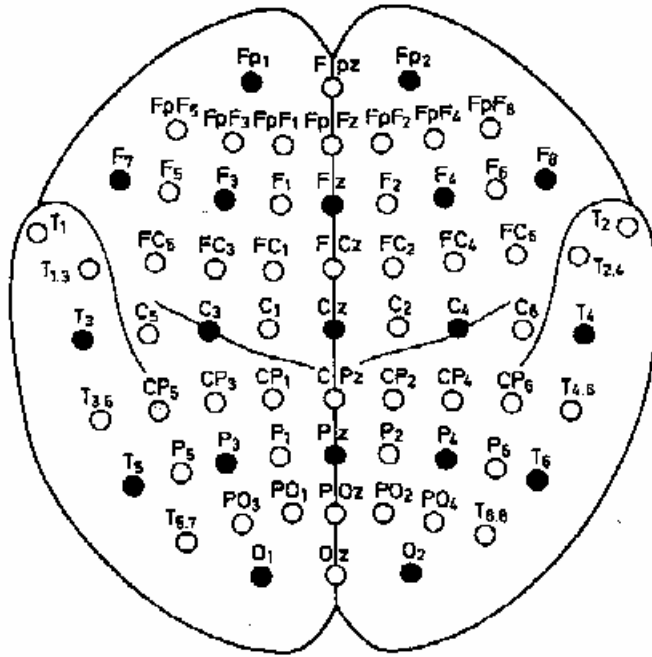


Abb. 2

