

## Die Analyse von lokalen EEG-Veränderungen durch gleichzeitige uni- und bipolare Ableitungen

H. PETSCHÉ und E. FRÜHMANN

Neurologisches Institut der Universität Wien (Prof. Dr. SEITELBERGER)  
und Kinderabteilung des Altersheimes Lainz (Prim. Dr. RETT)

Eingegangen am 30. Juni 1966

Die eindeutige quantitative Erfassung des EEGs stößt noch immer auf große Schwierigkeiten und wurde bisher trotz vieler Bemühungen für die Praxis noch nicht in befriedigender Weise gelöst. Die Beurteilung eines EEGs wird nach wie vor, wie kaum bei einer anderen Laboratoriumsmethode, mehr nach der persönlichen Erfahrung vorgenommen als nach exakten Messungen der Potentialverhältnisse. Das intuitive Element überwiegt dabei formal logische Gesichtspunkte.

Auch diese Arbeit ist keine Sammlung von Rezepten, das EEG quantitativ zu erfassen; sie will nur dem EEG-Praktiker helfen, bei komplizierteren lokalen Potentialverhältnissen, die mit der üblichen EEG-Routine-Ableitung nicht zu verstehen sind, die Art der Überlagerung der verschiedenen Potentialfelder besser zu erkennen. Der Sinn dieser Darstellung ist es, im Einzelfall eine exaktere Beschreibung der Potentialverhältnisse zu erhalten. Dadurch wäre es nicht nur leichter, das Zustandekommen gewisser pathologischer Wellenformen zu verstehen, sondern könnte auch der diagnostische Aussagewert des EEGs zunehmen. Diese Arbeit beschränkt sich auf eine Beschreibung und wird Fragen nach den physiologischen Grundlagen des EEGs und seiner Beziehung zu Hirnstrukturen unberücksichtigt lassen.

Versucht man, die Gesichtspunkte der EEG-Beurteilung in ein Schema zu fassen, so lassen sich einige Parameter definieren: Die EEG-Kurven können als Ausdruck von sich in Raum und Zeit verändernden elektrischen Potentialfeldern an der Schädeloberfläche aufgefaßt werden. Die Beschreibung hat demnach räumliche und zeitliche Momente zu berücksichtigen (im Falle der EEG-Ableitung beim Menschen beschränkt sich die räumliche Dimension zumeist auf eine Fläche, die Schädeloberfläche).

Bei der Beschreibung eines pathologischen EEGs werden grundsätzlich folgende Gesichtspunkte beachtet:

Tabelle

---

räumlich (Schädeloberfläche):	diffuse (generalisierte) Ereignisse lokalisierte Ereignisse
zeitlich:	Einzelereignisse („transients“) gruppierte Ereignisse kontinuierliche Vorgänge

---

Diese Gruppierung wird uns von den Phänomenen des pathologischen EEGs nahegelegt; allerdings sind die Grenzen dieser fünf Gruppen nicht scharf: So gibt es etwa generalisierte Erscheinungen mit Amplitudenbetonung über einer mehr oder weniger großen Region; auch werden im Sprachgebrauch des EEGs kontinuierliche Erscheinungen, die für eine bestimmte Zeit andauern, nicht mehr als gruppiert bezeichnet. Diese Unschärfe unterliegen zum Teil der Konvention. In praxi versucht jedoch jeder EEGist, die Kurven zuerst einmal nach solchen Gesichtspunkten zu ordnen.

Leider sind durch die Art der EEG-Gewinnung an sich schon einer exakten Beschreibung des EEGs als Summe von räumlich und zeitlich sich verändernden Potentialfeldern enge Grenzen gesetzt. Wie schon erwähnt, wäre das Ziel die vollständige Beschreibung der Potentialfelder in Raum und Zeit. Die räumliche Komponente beschränkt sich in diesem Fall auf zwei Parameter, da sich die Beschreibung nur auf die Schädeloberfläche erstreckt; weitere notwendige Parameter sind das Potential (oder: Potentialdifferenz gegenüber einem einheitlichen Bezugspunkt) und die Zeit. Man würde somit ein vierdimensionales Koordinatensystem benötigen, um das EEG komplett zu beschreiben.

Die Gewinnung von EEGs beim gegenwärtigen Stand der Technik ist allerdings weit davon entfernt, diesem Ideal einer vierdimensionalen Darstellung der Potentialveränderungen am Schädel nahezukommen. Die größte Schwierigkeit liegt darin, daß es nur möglich ist, von einer begrenzten Anzahl von Punkten am Schädel abzuleiten. Man kann zwar die Zahl der Ableitkanäle vermehren, doch wird damit das Verfahren zunehmend unökonomischer.

Über umschriebenen Schädelregionen lassen sich allerdings auch mit den herkömmlichen Mitteln (8 Kanäle) Aussagen aus dem EEG ableiten, die über die aus den Routine-Kurven gewonnenen hinausgehen und einen Schritt darstellen zur Erfassung des gesamten raum-zeitlichen Potentialkontinuums. Voraussetzung dafür ist die genaue Kenntnis des Aussagewertes der bipolaren und unipolaren Ableitetchnik und ihrer gezielten, kombinierten Anwendung.

Bei der routinemäßigen bipolaren Ableitung mit Elektrodenreihen, die möglichst senkrecht aufeinander stehen, wie sie zur Diagnose von

sogenannten „Hermen“ verwendet werden, begegnet man häufig Kurvenbildern, die aus diesen Ableitungen allein nicht in Potentialfelder umgedeutet werden können. Der Idealfall eines Potentialfeldes eines Herdes, der einer um die y-Achse rotierten Gaußschen Kurve entspricht (JUNG, 1939), ist in praxi nie anzutreffen. Die Mannigfaltigkeit der Form des Feldes eines Herdes gibt Anlaß zu vermuten, daß Herde meist aus mehreren Potentialfeldern verschiedener Gestalt und Verteilung auf der Schädeloberfläche zusammengesetzt sind. Bei Kindern beobachtet man sogar häufig Phänomene, die zwar mehr oder weniger lokal begrenzt sind, aber nicht mehr eindeutig als Herd aufgefaßt werden können (sofern „Herd“ durch Phasenumkehr über einer Elektrode bei Ableitungen von senkrecht aufeinander stehenden Elektrodenreihen definiert wird).

Diese Schwierigkeiten lassen sich leicht erklären, wenn man sich die Prinzipien der bipolaren und der unipolaren Ableitetechnik vergegenwärtigt: Bipolar wird die Potentialdifferenz zwischen zwei aktiven Elektroden gemessen, unipolar die Potentialdifferenz zwischen einer aktiven Elektrode und einer Referenzelektrode (der oft erwähnte Nachteil, daß es keine wirklich indifferente Referenzelektrode gibt, kann in diesem Fall vernachlässigt werden, da die etwaige Tätigkeit über der Referenzelektrode mit gleicher Amplitude, Frequenz und Phase in alle Ableitungen eingeht).

### Methodik

EEGs wurden von Kindern und Jugendlichen abgeleitet. Von den 12 Elektroden, die routinemäßig gesetzt wurden, wurden je nach dem Schwerpunkt der pathologischen Zeichen 4 bis 6 benachbarte Elektroden ausgewählt, von denen gleichzeitig bi- und unipolar gegen Kinn abgeleitet wurde. Die Aufnahmen erfolgten mit einem Schwarzer-8-Kanal-Schreiber (Zeitkonstante 0,3, Frequenzblende 70).

Ferner wurden von der Hirnrinde des Kaninchens gleichzeitige bi- und unipolare Ableitungen geschrieben. Abgeleitet wurde von 16 Silberbällchenelektroden (Durchmesser 0,5 mm), die in zwei parallelen Längsreihen (Elektrodenabstand 2 mm) rechts und links je 3 mm paramedian gesetzt wurden, mittels eines Schwarzer-16-Kanal-Schreibers. Die Referenzelektrode befand sich am Nasenbein. Aufgenommen wurde im Status epilepticus, der durch i.v. Gabe von 30 mg/kg Thiosemicarbazid erzeugt wurde.

### Ergebnisse

Bipolar werden zwei elektrische Tätigkeiten voneinander subtrahiert. Dabei gibt es folgende Möglichkeiten:

1. Die Tätigkeit über beiden aktiven Elektroden ist sowohl in ihrem *Frequenz-*, als auch in ihrem *Amplitudenspektrum identisch*. In diesem Fall ergibt sich bipolar eine Nulllinie.

2. Die Tätigkeit hat über beiden Elektroden *dasselbe Frequenzspektrum*, das *Amplitudenspektrum* über beiden Elektroden *unterscheidet sich um einen konstanten Faktor*. In diesem und nur in diesem Fall wird die bipolare Ableitung eine getreue Wiedergabe der Potentialform über jeder der beiden aktiven Elektroden darstellen.

Diese beiden Möglichkeiten sind rein theoretisch. In Wirklichkeit kommen folgende vor:

3a. Die Tätigkeit hat über beiden Elektroden *dasselbe Frequenzspektrum*, das *Amplitudenspektrum* ist jedoch für die *verschiedenen Frequenzen verschieden*. Dieser Fall ist darauf zurückzuführen, daß jede Tätigkeit aus Potentialfeldern verschiedener Gestalt und Verteilung aufgebaut ist. Bipolare Ableitungen können in diesem Fall die Potentialform nicht mehr getreu wiedergeben. Es treten *Scheinfrequenzen* auf, die nur durch die Ableitetechnik bedingt sind und denen keine physiologische Realität zukommt. Damit ergibt sich auch, daß die Amplituden bipolar prinzipiell nicht verwertet werden sollen.

3b. Wie aus toposkopischen Untersuchungen bekannt, treten die sogenannten hypersynchronen Erscheinungen, mit denen allein man im EEG konfrontiert wird (COOPER u. Mitarb., 1965), über verschiedenen Ableitepunkten phasenverschoben auf, ein Moment, das bei der Routine-EEG-Ableitung gewöhnlich nicht berücksichtigt wird. Das heißt, die Potentialfelder sind nicht stationär, sondern breiten sich mit Geschwindigkeiten im m/sec-Bereich nach verschiedenen Richtungen verschieden weit aus.

Dieses Moment begünstigt noch das Auftreten von Scheinfrequenzen, wie noch weiter unten gezeigt wird.

Um die Wirkung der Phasenverschiebung auf die bipolare Kurvenform zu illustrieren, sei folgendes Beispiel angenommen: Die Tätigkeit über zwei aktiven Elektroden habe *dasselbe Frequenzspektrum mit gleichen oder verschiedenen Amplituden*, trete aber *phasenverschoben* über diesen beiden Elektroden auf.

Zur Erläuterung dieses Falles wurde von einem regelmäßigen Alpha-rhythmus über dem rechten hinteren Schädelquadranten gleichzeitig uni- und bipolar abgeleitet (Abb.1). Obwohl es sich dabei um ein und dieselbe Alphafrequenz handelt, ist die Differenz der Amplituden der unipolaren Ableitungen nicht immer gleich der bipolaren Amplitude. An der ersten markierten Welle der Abb.1 ist TO minus P ungleich TO-P bipolar. Vergleicht man dagegen die Amplitude derselben Alphawelle temporal (T) und temporo-occipital (TO) mit ihrer bipolaren Amplitude (T-TO), so besteht keine wesentliche Differenz zwischen der beobachteten und der erwarteten Amplitude. Das bedeutet, daß in diesem Augenblick die Alphawelle zwischen P und TO deutlich phasenverschoben ist, in T und TO dagegen annähernd synchron auftritt. Daraus kann man

schließen, daß sich das Potentialfeld, das dieser Alphawelle entspricht, in diesem Augenblick in querer Richtung über den Schädel bewegt. Das Feld der zweiten markierten Alphawelle bewegt sich dagegen, nach denselben Überlegungen, annähernd longitudinal.

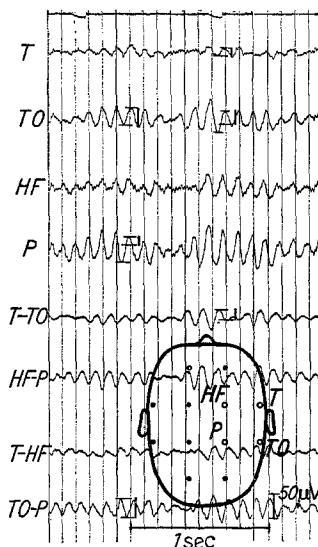


Abb. 1. Normale Alphatätigkeit, rechter hinterer Schädelquadrant. Elektroden temporal ( $T$ ), temporooccipital ( $TO$ ), präzentral ( $PZ$ ) und parietal ( $P$ ). Kanal 1—4 unipolar, Kanal 5—8 bipolar. Da es sich um dieselbe Tätigkeit handelt, sollte die Amplitude in  $TO$  minus der Amplitude in  $P$  gleich der bipolaren Amplitude  $TO—P$  sein. Tatsächlich differieren diese beiden Amplituden (die Differenz ist in Kanal 4 eingezzeichnet), was auf eine Phasenverschiebung zurückzuführen ist. Vergleicht man für dieselbe Welle die Amplitude in  $T$  mit der in  $TO$ , findet man bipolar  $T—TO$  eine Amplitude, die etwa der erwarteten entspricht: Die Phasenverschiebung ist somit transversal deutlich, longitudinal dagegen gering. Die Welle breitet sich daher etwa in transversaler Richtung aus. Auch in der zweiten bezeichneten Alphawelle entspricht die Amplitude bipolar nicht der Differenz der beiden unipolaren.

Referenzelektrode: Kinn. 6 cm/sec, 50  $\mu$ V

Solche Feldverschiebungen wurden mit Hilfe von toposkopischen Techniken mehrfach beobachtet und beschrieben (WALTER u. SHIPTON, 1951; REMOND, 1955; PETSCHE u. MARKO, 1955; STORM VAN LEEUWEN u. MAGNUS, 1961).

4. Die Tätigkeit über beiden Ableitelektroden ist in ihrem *Frequenz- und Amplitudenspektrum verschieden*. Das trifft für die meisten lokalen und generalisierten EEG-Veränderungen zu. In diesem Fall wird die Form der bipolaren Ableitung am weitesten von der der unipolaren abweichen; denn dabei addieren sich die oben angeführten Möglichkeiten zur Bildung von Scheinfrequenzen.

Ein Beispiel soll dies erläutern (Abb. 2): Kurve 1 und 2 stammten aus einem durch Thiosemicarbazid beim Kaninchen ausgelösten Rindenanfall und wurden von zwei corticalen Silberbällchenelektroden im Abstand

von 2 mm über der präzentralen Rinde abgeleitet. Die übrigen vier Kurven wurden zeichnerisch erhalten, wobei Phasenverschiebungen von 0, 8 und 16 msec angenommen wurden (wie sie beim Kaninchen tatsächlich zu beobachten sind).

Die bipolare Ableitung ohne Phasenverschiebung kommt in ihrer Form der unipolaren Potentialform noch am nächsten; allerdings zeigen sich auch hier schon deutliche Unterschiede (besonders die zweite, lang-

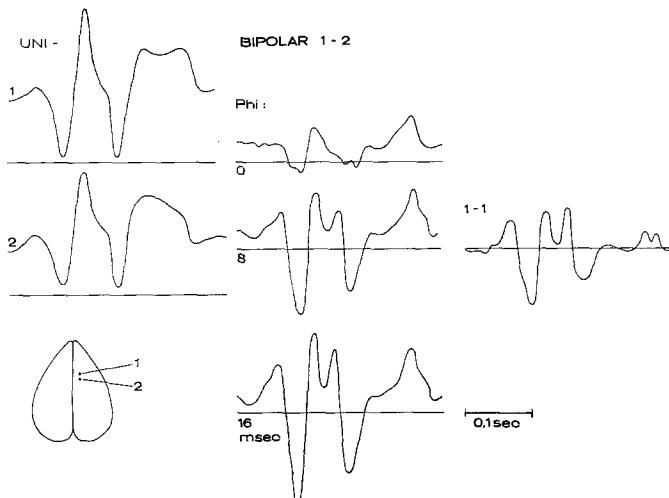


Abb. 2. Durch Thiosemicarbazid beim Kaninchen ausgelöster kortikaler Anfall, von zwei Silber-elektroden im Abstand von 2 mm präzentral abgeleitet. Um die bipolaren Ableitungen bei verschiedenen Phasenlagen zu erhalten, wurden die beiden Kurven vergrößert und unter Annahme von Phasenverschiebungen von 0, 8 und 16 msec gegeneinander verschoben und voneinander subtrahiert. Dabei ändert sich die Kurvenform zunehmend. Rechts wurde Kurve 1 von Kurve 1 subtrahiert, unter Annahme von 8 msec Phasenverschiebung

same Welle erscheint anders geformt, bedingt durch die Amplitudenunterschiede der einzelnen Feldkomponenten, die die zweite Welle zusammensetzen). Noch deutlicher wird der Unterschied zwischen bipolar und unipolar bei einer Phasenverschiebung von 8 msec. Hier ist die steile Welle der Ableitung 1 und 2 (unipolar) in zwei Komponenten gespalten; die zweite, langsame Welle ist noch steiler geworden. Dies tritt noch deutlicher hervor bei 16 msec Phasendifferenz.

Aber auch wenn man von identischen Kurven ableiten würde, die phasenverschoben sind (Beispiel am rechten Bildrand: Kurve 1 minus Kurve 1, jedoch um 8 msec phasenverschoben), erhielte man eine Kurvenform, die deutlich von der ursprünglichen abweiche.

Bevor auf praktische Beispiele des EEGs beim Menschen eingegangen wird, sei noch eine Kurve gezeigt, die mit 16 Kanälen von einer paramedianen achtfachen Reihenelektrode (2 mm Elektrodenabstand) vom

Kaninchencortex uni- und bipolar gleichzeitig abgeleitet wurde. Die entsprechenden bipolaren Ableitungen wurden in der Abbildung so versetzt, daß ihre Zugehörigkeit zu den unipolaren leicht zu erkennen ist (Abb. 3). Ohne die Kurven im Detail analysieren zu wollen, sei nur auf zwei Auffälligkeiten hingewiesen: Fürs erste sehen die rechte und linke Hälfte der Abbildung für einen uneingeweihten Beobachter so aus, als ob sie nicht von denselben Elektroden stammen könnten. Bipolar über-

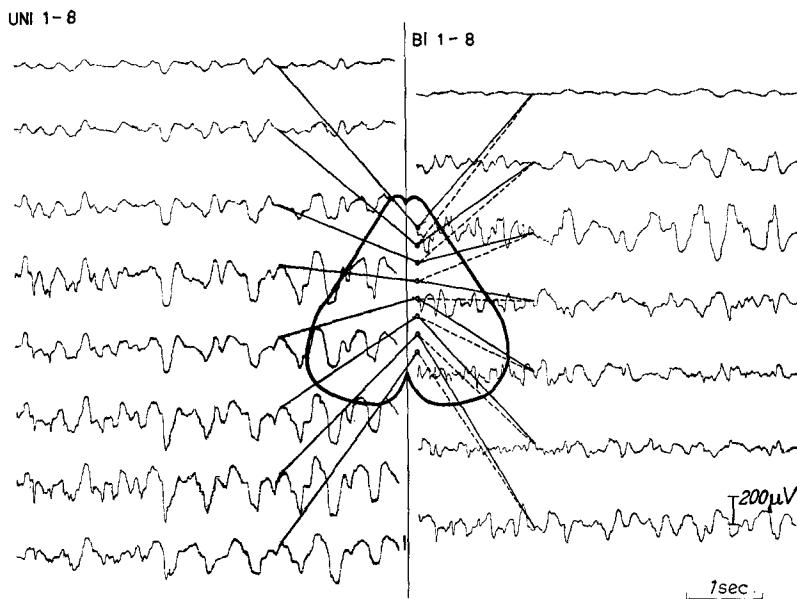


Abb. 3. Kaninchencortex; gleichzeitige uni- und bipolare Ableitungen von einer longitudinalen Elektrodenreihe (2 mm Elektrodenabstand) während eines Thiosemicarbazid-Anfalls. Die bipolaren Ableitungen wurden so versetzt, daß ihre Zuordnung leicht zu erkennen ist

wiegen Scheinfrequenzen. Ferner könnte man aus der bipolaren allein den Eindruck gewinnen, eine herdförmige Deltatätigkeit lasse sich aus der Phasenumkehr zwischen Kanal 3 und 4 ableiten, während die unipolaren Ableitungen zeigen, daß etwa zwischen Elektrode 3 und 8 eine ausgedehnte Deltatätigkeit besteht, die mehrere Gipfel besitzt und sich aus mehreren Potentialfeldern zusammensetzt.

Im folgenden sollen einige Beispiele aus dem menschlichen EEG diskutiert werden. Es handelt sich fast durchwegs um Kinder und Jugendliche mit verschiedenen Anfallsformen aus dem epileptischen Formenkreis. Der Übersichtlichkeit halber wurden nur zwei Ableitregionen herausgegriffen: Die Zentroparietalregion (zum Seitenvergleich) und der rechte hintere Schädelquadrant.

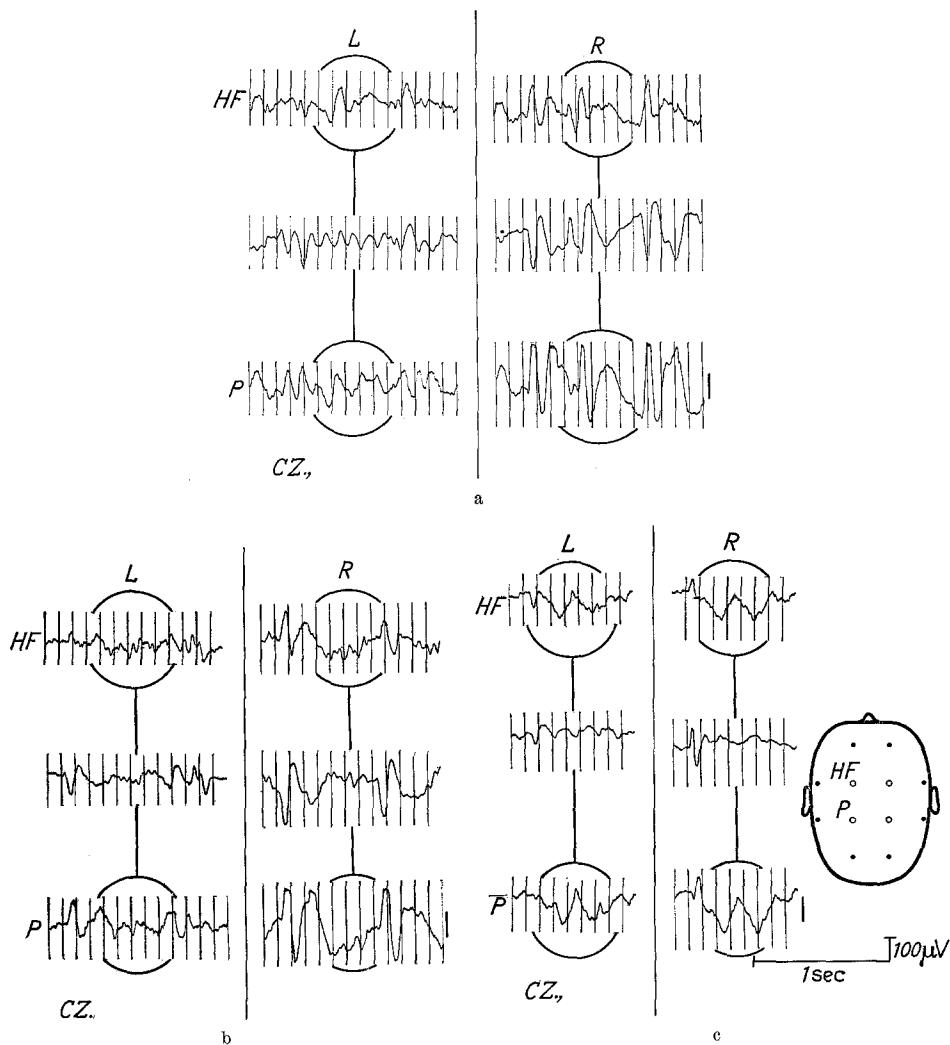


Abb. 4a—c. 11jähriger Knabe; Zustand nach Masernencephalitis, Grand mal-Anfälle. Drei Kurvenausschnitte zum Seitenvergleich, im Abstand von wenigen Sekunden aufgenommen. Elektroden hochfrontal (HF) und parietal (P) links und rechts der Mittellinie. Die Kreise symbolisieren die Elektroden. Innerhalb der Kreise: unipolar, zwischen den Kreisen: bipolar abgeleitete EEG-Ausschnitte

Abb. 4 stammt von einem elfjährigen Knaben. Das Kind hatte mit 3 Jahren eine Masernencephalitis; in der Folge bildeten sich Grand mal-Anfälle aus; seit 1 Jahr ist das Kind anfallsfrei.

Abgeleitet wurde in diesem Fall von 4 Elektroden, die symmetrisch links und rechts der Mittellinie hochfrontal (HF) und parietal (P) liegen. Gleichzeitige Kurvenausschnitte von etwas über 1 sec Dauer wurden in

das Schema geklebt, und zwar unipolare Ableitungen in die Kreise, die die Elektroden symbolisieren, und bipolare zwischen die Ableitelektroden. Registriert wurde in diesem Fall mit 6 cm/sec.

Im EEG bestand beiderseits eine sehr variable, hohe Tätigkeit von langsamem, steilen Wellen mit Nachschwankungen. Einige solche Komplexe sieht man in Abb.4a rechts. Das Maximum dieser Tätigkeit liegt jetzt rechts parietal. Unipolar erscheint annähernd dieselbe Tätigkeit auch HF, wenn auch viel niedriger. Der deutliche Formunterschied dieser Komplexe in der bipolaren Ableitung rechts deutet auf eine beträchtliche Differenz in Frequenzspektrum, Amplitude und Phase zwischen HF und P hin. Links sind diese Komplexe nur angedeutet zu erkennen. Überdies wird bipolar links eine ziemlich regelmäßige, etwa 10/sec Tätigkeit vorgetäuscht, die in der unipolaren Ableitung nicht zu sehen ist. Dieses Beispiel zeigt auch, daß manchmal bipolar abgeleitete Kurven regelmäßiger erscheinen können als unipolare. Gewöhnlich ist das Gegen teil der Fall.

Abb.4b wurde 4 sec später aufgenommen. Nun sind rechts und links uni- und bipolare Tätigkeit wieder ziemlich ähnlich, d. h. die Amplitudenunterschiede im bipolaren sind im wesentlichen auf Amplitudenunterschiede in den beiden unipolaren zurückzuführen, während Frequenzspektrum und Phasenlage annähernd gleich sind.

Abb.4c wurde 10 sec später aufgenommen: Nun fällt in allen vier unipolaren Ableitungen eine ausgeprägte, dreiecksförmige Welle auf. Bipolar links findet man dagegen eine ziemlich regelmäßige 7/sec Tätigkeit; rechts ist bipolar das EEG flacher, läßt aber die dreiecksförmige Welle noch erkennen. Betrachtet man die beiden Spitzen rechts unipolar, so sieht man, daß sie nicht auf einen einzigen Vorgang zurückzuführen sind. Die Spur HF tritt früher auf als die Spur P. Die biphasische Spur in der bipolaren Ableitung rechts ist demnach aus diesen beiden Ereignissen zusammengesetzt und stellt eine Scheinfrequenz dar.

Beim nächsten Patienten handelt es sich um ein zweijähriges Mädchen, das im Alter von 1 Jahr eine Schädelfraktur erlitten hat (Abb.5). Neurologisch bestand eine Abducensparese rechts und eine Hemiparese links. Anfälle sind bisher noch nicht aufgetreten. Im Vordergrund des EEG-Ausschnittes steht eine hohe, biphasische, initial negative langsame Welle mit dem Maximum HF bis P rechts mit stark abfallendem Feldgradienten nach O, und weniger steil abfallend nach TO. Diese Welle ist HF und P etwa gleich hoch, jedoch deutlich phasenverschoben. Sie erreicht ihren Gipfel HF später als P. Sie ist auch in ihrer Form über diesen beiden Orten etwas verschieden. Dieser Herd, sofern man ihn überhaupt so bezeichnen darf, setzt sich somit aus mehreren Komponenten zusammen. Das ist auch daran zu erkennen, daß etwa die negative Komponente dieser steilen Welle bis nach TO reicht, die positive Kom-

ponente dagegen nicht (am deutlichsten ist dieser Unterschied in der Form der bipolaren Ableitung zwischen P und TO zu sehen, wo diese Welle vorwiegend als Schwankung nach positiv erscheint). Die Form der Welle in der bipolaren Ableitung HF-P weicht dagegen völlig von den anderen Ableitungen ab: Ein Spitz-Wellenkomplex wird vorgetäuscht.

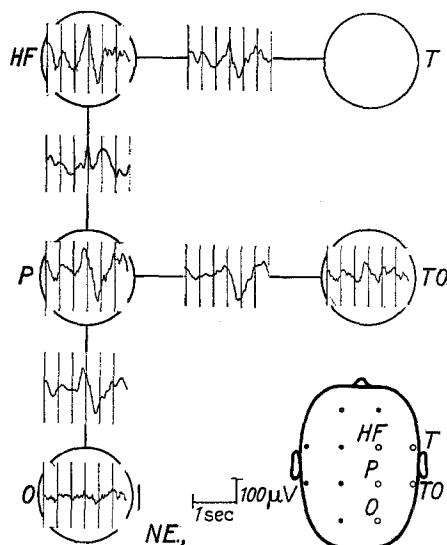


Abb. 5. 2jähriges Mädchen; Schädelfraktur vor 1 Jahr; Abducensparese rechts, Hemiparese links, keine Anfälle. Acht gleichzeitige uni- und bipolare Ableitungen vom rechten hinteren Schädelquadranten

Während somit die bipolaren Ableitungen allein ein äußerst heterogenes Geschehen vermuten lassen, zeigen die unipolaren, daß die Formunterschiede auf Amplituden-, Frequenz- und Phasenunterschiede in den unipolaren Ableitungen zurückzuführen sind.

Das nächste Beispiel (Abb. 6) stammt von einem 14jährigen Jungen mit Oligophrenie und seltenen Grand mal-Anfällen. Über die Vorgeschichte ist nichts bekannt. Es wurde ausgewählt, um zu demonstrieren, wie bipolare Ableitungen allein oft irreführen können. Beim ersten Blick auf das EEG fällt folgendes auf: 1. Unipolar findet man eine ziemlich uneinheitliche Tätigkeit; die steilen Wellen P und O einerseits und TO andererseits befinden sich zum Teil in unipolarer Phasenumkehr („liegender Dipol“). 2. Bipolar findet man in der Längsableitung, besonders HF-P, eine regelmäßige 5/sec-Tätigkeit, bei Querableitungen T-HF und TO-P dagegen ziemlich regelmäßig Spitz-Wellenkomplexe. Worauf sind diese Diskrepanzen zurückzuführen? Wie die unipolaren Ableitungen zeigen, besteht über allen Elektroden eine Mischtätigkeit

aus spitz-wellenartigen Gruppen und einem Thetahintergrund. Die Thetätigkeit ist paramedian etwas besser ausgeprägt als lateral. Wegen der ziemlich einheitlichen Form der langsamten Wellen in den paramedianen Ableitungen verschwinden diese bei bipolarer Ableitung, und es bleiben nur die Theta übrig (die vermutlich, ihrer Amplitude unipolar

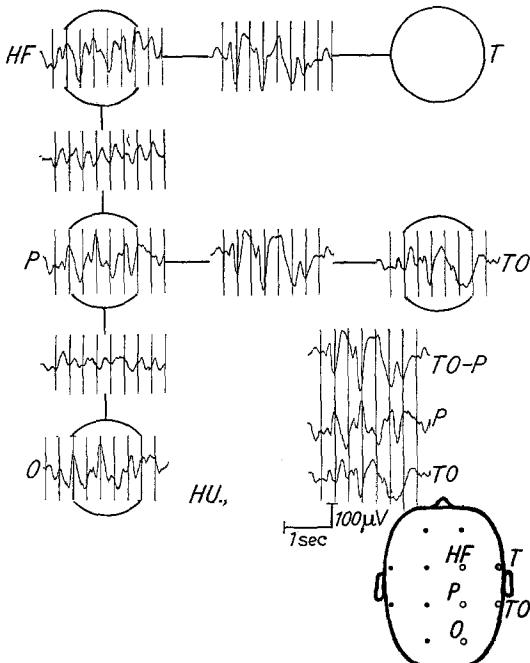


Abb. 6. 14-jähriger Junge; Oligophrenie, seltene Grand-mal-Anfälle. Elektrodenlage wie in Abb. 5. Bipolar werden Spitz-Wellenkomplexe vorgetäuscht, die durch Summation zweier voneinander unabhängiger Tätigkeiten entstehen

nach zu schließen, in der a-p-Richtung eine beträchtliche Phasenverschiebung aufweisen).

Wie entstehen nun die beiden ziemlich regelmäßigen bipolaren Spitz-Wellenkomplexe T-HF und TO—P? Der erste Komplex ist vorwiegend durch die Kurvenform der Welle P geprägt (TO ist die Kurvenform völlig verschieden); der zweite, bipolar ganz ähnliche Komplex dagegen setzt sich zusammen aus den beiden ähnlichen langsamten Wellen TO und P, die aber annähernd Phasenumkehr zeigen, woraus eine hohe, langsame Welle in der bipolaren Ableitung resultiert. Es wird somit bipolar eine ziemlich einheitliche Tätigkeit von spitz-wellenartigem Aussehen vorgetäuscht, während die gleichzeitige unipolare Ableitung beweist, daß es sich um verschiedene Tätigkeiten handelt, die teilweise in Beziehung zueinander stehen.

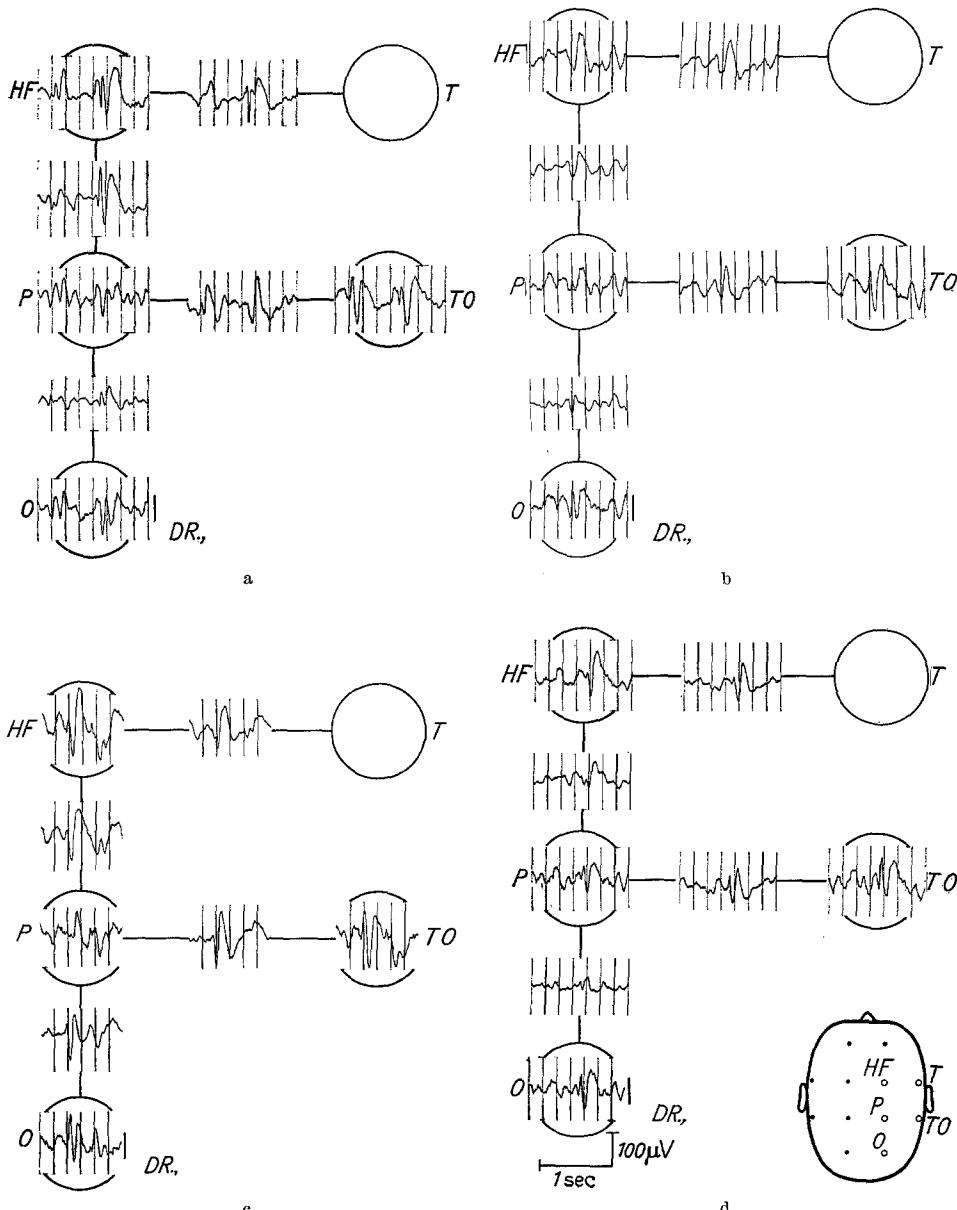


Abb. 7 a-d. 7jähriger Knabe; Geburtsasphyxie, Oligophrenie, Grand mal-Anfälle mit Linksbetonung. Vier Kurvenausschnitte, innerhalb von 10 sec aufgenommen. Elektrodenlage wie in Abb. 5.  
 a Nach uni- und bipolaren Ableitungen ist eine äußerst komplexe Feldform anzunehmen. b 1 sec später: Die Feldform ist einheitlicher geworden; die Feldverteilung ist für Spalte und Welle verschieden. c 3 sec später: Der hohen, in HF nach positiv gerichteten Spalte entspricht ein ausgedehnter Dipol parallel zur Schädeloberfläche zwischen HF und O. d 4 sec später: Phasengleichheit des Herdes

Ein letztes Beispiel (Abb. 7) soll die Formunterschiede von langsamem Spitz-Wellenkomplexen bei einem siebenjährigen Knaben zeigen. Aus der Anamnese sind bekannt: Verzögerte Geburt mit Asphyxie, Icterus gravis, verzögerte Entwicklung, Oligophrenie, Anfälle seit dem Alter von 3 Monaten vom Grand mal-Typ mit linksseitiger motorischer Betonung.

Langsame Spitz-Wellenkomplexe, ein häufiges EEG-Zeichen bei Kindern, nicht selten mit dem Maximum hochfrontal bis parietal, sind jedem EEGisten als der Proteus unter den pathologischen EEG-Phänomenen bekannt. Sie wechseln wie kaum ein anderes Graphoelement ihre Kurvenform und Feldverteilung. Abb. 7 bringt jeweils etwas über 1 sec lange Ausschnitte aus dem EEG dieses Kindes; sie wurden innerhalb von 10 sec gewonnen.

In Abb. 7a ist zu sehen, daß die bipolaren Ableitungen äußerst verschieden sind: Besonders wenn man die Ableitungen T—HF, TO—P und HF—P vergleicht, könnte man dazu verleitet sein, anzunehmen, die Ableitungen stammen nicht von einem EEG, zum selben Zeitpunkt und von etwa derselben Region abgeleitet. Aber auch die unipolaren Ableitungen lassen schließen, daß es sich hier um eine äußerst komplexe Feldform handelt, zu deren Analyse der herkömmliche Begriff von Phasengleichheit und Phasenumkehr nicht mehr ausreicht. Vergleicht man HF mit P (besonders den charakteristischen zweiten Komplex), so ist es schwer, bei den völlig verschiedenen Wellenformen eine Zuordnung zu finden. Am ehesten zeitlich überein stimmen noch die steile, nach negativ gerichtete Spitze in HF mit der nach positiv gerichteten in P. Etwas leichter ist die Zuordnung der Kurvenform HF zu O: Occipital ist sogar angedeutet die langsame Nachschwankung, ebenfalls in Phasenumkehr, zu erkennen.

Viel mehr Ähnlichkeit weist der Komplex HF mit der Wellenform TO auf, obwohl hier alle Elemente deutlich phasenverschoben erscheinen.

Abb. 7b wurde 1 sec später registriert: Nun erscheint der Komplex viel einheitlicher; am EEG ist in den vier unipolaren Ableitungen keine deutliche Phasenverschiebung zu sehen. Feldverteilung und Feldgradienten sind für die Spitzen- und die Wellenkomponente des Komplexes verschieden: Die Spitze ist am höchsten TO; die Amplitude des Spitzenfeldes nimmt gegen O zu wenig, gegen HF und P zu stark ab. Weniger stark nimmt das Potentialfeld der Welle ab, das ebenfalls nun in TO am höchsten ist. Zu bemerken ist ferner, daß die Amplitude der Welle über HF und O höher ist als über P. Es könnte daher sein, daß über HF und O zwei Felder derselben Tätigkeit auftreten, die phasengekoppelt sind.

3 sec später wurde Abb. 7c registriert. Nun ist der Vorgang wieder komplizierter geworden: Die hohe, in HF nach positiv gerichtete Spitze steht in unipolarer Phasenumkehr zu occipital und ist parietal

überhaupt nicht zu sehen (ausgedehnter Dipol parallel zur Schädeloberfläche zwischen HF und O). Dieser Umstand äußert sich auch in den beiden dazwischen abgebildeten bipolaren Ableitungen, die in diesem Augenblick in Phase sind. Die Welle dagegen, die ziemlich rasch und am deutlichsten occipital zu sehen ist, findet man HF, P und O in Phase, nur HF etwas verbreitert (Einstreuung von lateral her?). Über der TO-Elektrode hängt nun, im Gegensatz zu vorhin, die Tätigkeit phasen- und formmäßig eng mit der Tätigkeit HF zusammen.

Einige Sekunden später (Abb. 7d) entlädt derselbe Herd nun wieder überall annähernd in Phase (allerdings deutet die Formdifferenz in der bipolaren Ableitung TO—P an, daß keine komplette Phasengleichheit besteht). Die Tätigkeit ähnelt stark der in Abb. 7b.

### Diskussion

Mit diesen Ausführungen sollten nur einige Richtlinien zur Auswertung des EEGs im Falle von komplexen Herdverhältnissen gegeben werden. Die Analyse weiter zu treiben, würde den Rahmen dieser Darstellung überschreiten. Es wurde jedoch gezeigt, daß durch die gleichzeitige uni- und bipolare Ableitung in bestimmten Fällen die Feldverhältnisse über einer umschriebenen Schädelregion leichter zu verstehen sind. Insbesondere zeigen die Ergebnisse die Unverlässlichkeit der bipolaren Ableitungen, wenn es gilt, die Wellenform zu erfassen. Bipolar werden fast durchwegs Scheinfrequenzen aufgezeichnet. Schließlich erlaubt die Methode auch in bestimmten Fällen, auf Phasenunterschiede über verschiedenen Ableitorten zu schließen. Auf diese Weise gelingt es oft, scheinbare Diskrepanzen zwischen uni- und bipolarer Ableitung aufzuklären und sie auf das Zusammenwirken verschieden gestalteter Felder zurückzuführen.

Einer von uns hat über diese Methode am Ersten Internationalen Fortgeschrittenenkurs für EEG in Marseille 1961 berichtet. Seit dem wurde sie von GLOOR (1965) bei komplizierten EEG-Lokalisationen bei Epileptikern, die für einen neurochirurgischen Eingriff vorgesehen waren, angewendet. Auch GLOOR benützt diese Methode erst nach dem Routine-EEG und betont ebenfalls, daß die Wahl der Elektroden, von denen uni- und bipolar abzuleiten ist, für jeden Fall individuell zu treffen ist. Als Vorteile führt er an, daß die unipolaren Ergebnisse die bipolaren kontrollieren und umgekehrt, ferner, daß es damit möglich ist, in den meisten Fällen eine genügend genaue Vorstellung über die Feldverhältnisse zu erhalten. Als unipolare Bezugselektrode verwendet GLOOR entweder eine Elektrode über der Vertebra prominens oder ein Metallband um den Hals.

Gelegentlich ist eingewendet worden, daß es besser sei, die Zahl der verfügbaren EEG-Kanäle möglichst auszunützen, d. h. von möglichst vielen Elektroden abzuleiten, als von einer kleinen Zahl von Elektroden

viele Ableitungen gleichzeitig zu schreiben, wie es hier geschieht. Dieser Einwand wäre nur dann berechtigt, wenn die beschriebene Methode als Routine-Methode verwendet würde. Dafür eignet sie sich keineswegs, schon aus dem einen Grund, daß die Auswertung der gleichzeitig uni- und bipolar aufgenommenen Kurven viel mehr Aufmerksamkeit und Zeit beansprucht, als dem Routine-EEG gewöhnlich gewidmet wird. Zuerst muß das EEG eines Patienten genau bekannt sein, dann erst kann man sich mit Hilfe des uni- und bipolaren Vergleiches eine bestimmte Schädelregion genauer unter die Lupe nehmen.

### Zusammenfassung

Voraussetzung für die Deutung pathologischer EEGs ist die möglichst exakte Beschreibung der Parameter Ableitort, Amplitude, Frequenz und Phasenlage. Nur damit werden die mannigfaltigen Potentialfelder des EEGs kontinuierlich erfaßt. Annähernd gelingt dies über einer umschriebenen Ableitregion durch gleichzeitige uni- und bipolare Ableitungen. Bipolare Wellenformen sind meistens Scheinfrequenzen und können wenig zur Aufklärung der tatsächlichen Feldverteilung beitragen. Aus Form- und Amplitudenunterschieden beider Ableitungen können auch Phasenunterschiede erschlossen werden.

An einigen Beispielen pathologischer EEGs von Kindern und Hirnableitungen beim Kaninchen wird der Aussagewert der gleichzeitigen uni- und bipolaren Registrierung demonstriert.

### Literatur

- COOPER, R., A. L. WINTER, H. J. CROW, and W. G. WALTER: Comparison of subcortical, cortical and scalp activity using chronically indwelling electrodes in man. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **18**, 217–228 (1965).
- GLOOE, P.: Contributions of the EEG towards diagnosis in adults with seizures. *Proc. of the 2nd Advanced Course in EEG*, 59–80. Wien: Verlag der Wiener Med. Akademie 1965.
- JUNG, R.: Das Elektrencephalogramm und seine klinische Anwendung. I. Methodik der Ableitung. Registrierung und Deutung des EEG. *Nervenarzt* **12**, 569–591 (1939).
- PETSCHÉ, H.: Principles and methods underlying the interpretation of the EEG. First Advanced Course in EEG, Marseille 1961.
- , u. A. MARKO: Über die Ausbreitung der Makrorhythmen am Gehirn des Menschen und des Kaninchens auf Grund toposkopischer Untersuchungen. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **193**, 177–198 (1955).
- REMOND, A.: Orientations et tendances des méthodes topographiques dans l'étude de l'activité électrique du cerveau. *Rev. neurol.* **93**, 399–432 (1955).
- STORM VAN LEEUWEN, W., et O. MAGNUS: La signification de l'analyse automatique de l'électroencéphalogramme pour de diagnostic clinique. *Rev. neurol.* **104**, 177–203 (1961).
- WALTER, W. G., and H. W. SHIPTON: A new toposcopic display system. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **3**, 281 (1951).

Univ.-Doz. Dr. HELLMUTH PETSCHÉ  
Neurologisches Institut der Universität  
A 1090 Wien, Schwarzspanierstr. 17 (Österreich)