

DIE NEUE BREHM - B Ü C H E R E I

Bioelektrizität im Gehirn

(Elektrencephalographie)

von

Dr. Ilse Wolburg, Berlin

Mit 31 Abbildungen



A. ZIEMSEN VERLAG · WITTENBERG LUTHERSTADT · 1965

Inhaltsübersicht

Bioelektrizität	3
Nervenaktionspotentiale	6
Hirnaufbau	8
Elektrische Vorgänge am Gehirn	11
Registriergeräte für Hirnpotentiale	13
Methoden der Ableitung	18
Elektrencephalographische Wellen	23
Eine Routineableitung	25
Das normale EEG des Menschen	29
Krankhaftes EEG des Menschen	34
Tier-EEG	37
Abschließende Bemerkungen	42
Anmerkungen	45
Literatur	47

wechsel, Kreislauf, endokrine Sekretion³², Wasser- und Wärmehaushalt des Organismus geregelt [6; 10].

Diese Angaben vermitteln über die derzeitigen Kenntnisse der anatomischen Gliederung des Gehirns natürlich nur ein grob schematisches Bild, und wie vieles ist noch unbekannt! Praktisch unübersehbar ist die Vielfalt der funktionellen Wechselwirkungen. Eine der Methoden zur Analyse besteht darin,

elektrische Vorgänge am Gehirn

zu untersuchen. Die ersten Beobachtungen darüber erfolgten in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts. Mehrere Forscher stellten unabhängig voneinander fest, daß ein empfindliches Galvanometer Ströme anzeigt, wenn man es zwischen Elektroden schaltet, die der Oberfläche lebender Gehirne von Versuchstieren aufliegen. Es wurden „Hirnströme“ beobachtet. In einen Prioritätsstreit zwischen *Fleischl* von *Marxow* (Wien) und *Beck* (Krakau) im Jahre 1890 griff *Caton* (Liverpool) klärend ein, indem er darauf hinwies, daß er selbst bereits 1875 „... sowohl die Thatsache von elektrischen Strömen im Gehirn von warmblütigen Thieren bewiesen, als auch ein gewisses Verhältniss in Bezug auf dessen Functionen festgestellt ...“ habe [5, S. 786]. *Beck* äußert die Auffassung, daß ein erstes Verdienst unzweifelhaft dem Berliner Physiologen *Du Bois-Reymond* zukomme, der „... die Methode der Untersuchung elektrischer Erscheinungen im Thierorganismus gezeigt ...“ hat [2, S. 573]. Alle diese Berichte fanden jedoch längere Zeit keine Beachtung.

Im tierexperimentellen Laboratorium der psychiatrischen Klinik in Jena nahm dann der Arzt *Hans Berger* neben Untersuchungen über Druck, Durchblutung und Temperatur des Gehirns im Jahre 1902 auch seine ersten hirnelektrischen Messungen an Versuchstieren vor. Wegen unklarer Ergebnisse stellte er diese Experimente für eine Reihe von Jahren wieder ein, bis er im Sommer 1924 dann zum ersten Male an der Trepanationsstelle³³ eines seiner Patienten, der sich schon öfter für physiologische Untersuchungen zur Verfügung gestellt hatte, Ableit Elektroden anlegt. *Berger* sieht, daß die Saite des eingeschalteten Galvanometers³⁴ unter dem Einfluß der vom Gehirn produzierten Elektrizität zittert! Im folgenden Jahre beginnt er mit der Ableitung vom intakten Schädel. Die Ströme sind aber so schwach, daß er noch lange zweifelt, ob er tatsächlich hirnelektrische Vorgänge oder Artefakte³⁵ (Kunstprodukte der apparativen Anordnung) registriert. Erst

ein empfindlicheres Instrument, ein Siemenscher Elektrokardiograph mit einem Doppelspulengalvanometer, erlaubt hinreichend deutliche Aufzeichnungen der Stromschwankungen, so daß Berger sich entschließt, seine Ergebnisse zu veröffentlichen. Die erste Mitteilung erscheint 1929 im Internationalen Archiv für Psychiatrie unter dem Titel „Über das Elektrekephalogramm des Menschen“. Der neue Begriff setzt sich aus griechischen Worten zusammen und besagt, daß im Gehirn ablaufende elektrische Vorgänge „aufgeschrieben“ werden ³⁶.

Das Gehirn ist eine Quelle elektrischer Spannungsänderungen. Diese bieten aber ein anderes Bild als diejenigen von Nervenfasern: Anstelle der Aktionspotentiale mit Millisekundendauer findet man langsam, rhythmisch ablaufende Potentialschwankungen. Es erhebt sich die Frage nach ihrem Ursprung. Berger nahm an, daß sie in der Hirnrinde als Begleiterscheinung psychophysischer Vorgänge entstehen. Nachfolgende Forscher stellten recht verschiedene Hypothesen ³⁷ darüber auf. Als wesentlicher Ort der Spannungsproduktion wird zumeist die Hirnrinde angegeben. Im einzelnen sieht man dann in sich geschlossene Verbindungen zwischen Neuronen, in denen Erregungen kreisen, Stoffwechselprozesse der Ganglienzellen, Sekretionsvorgänge von Gliazellen ³⁸, die Dendriten oder die Synapsen ³⁹ als Quellen der rhythmischen Potentialschwankungen an. Subcorticalen Strukturen werden anregende oder modifizierende Einflüsse auf die Spontanaktivität zugeschrieben. Ein weiterer Versuch, die Hirnpotentiale zu erklären, besteht darin, sie als ein Oszillieren zwischen den Niveaus von entgegengerichteten Gleichspannungen am Cortex aufzufassen. Gleichspannungskomponenten sind am Gehirn nachweisbar; über deren Ausbildung informieren uns aber wieder ausschließlich Hypothesen [12]. Im ganzen ist die Entstehung des Elektrencephalogramms noch ungeklärt.

Die zahlreichen Ansätze zur Erfassung der ursächlichen Zusammenhänge zeigen, wie intensiv auf dem Gebiet der Elektrencephalographie gearbeitet wurde, obgleich es sich anfangs nur um einen relativ kleinen Kreis von Fachleuten handelte. Die Anwendung der Elektrencephalographie in der Klinik erstreckte sich zumeist auf besondere Fälle, so daß dieser Begriff ursprünglich wenig bekannt wurde. Heute besteht an zahlreichen Stellen die Möglichkeit, Patienten elektrencephalographisch zu untersuchen. Häufig registriert man auch das Elektrencephalogramm von Gesunden, um durch die Kenntnis der normalen Variabilität Grenzbefunde und pathologische ⁴⁰ Zeichen besser unterscheiden zu können. Der Kreis der Menschen, der mit der Elektrencephalographie in Berührung kommt, hat sich in unserer Zeit wesentlich erweitert, und man begegnet diesem Wort jetzt sogar in Berichten über Raumfahrten: Aus

Wostok III und IV wurde das Elektrencephalogramm der Astronauten schon durch Funk übertragen.

Die Verbreitung elektrencephalographischer Untersuchungen erfolgte erst nach der Entwicklung spezieller

Registriergeräte für Hirnpotentiale.

Sie zeichnen sich durch ihren sehr hohen Eingangswiderstand und durch große Verstärkungsmöglichkeit aus. Ein Abgriff von Potentialdifferenzen ohne rückwirkende Beeinflussung durch das Meßgerät und die ausreichende Verstärkung dieser Spannungen wurde erst durch die Einführung der Elektronenröhre ermöglicht.

In der Praxis erwiesen sich Apparate als besonders vorteilhaft, die das Elektrencephalogramm nicht nur flüchtig auf dem Bildschirm eines Oszillographen sichtbar machen und auch nicht auf lichtempfindlichem Papier fixieren, sondern es sofort sichtbar und bleibend aufzeichnen: die Direktschreiber. Einzelne Typen der Elektrencephalographen unterscheiden sich heute im wesentlichen nach dem Schreibverfahren und nach den charakteristischen Bauelementen der Verstärker. Als solche

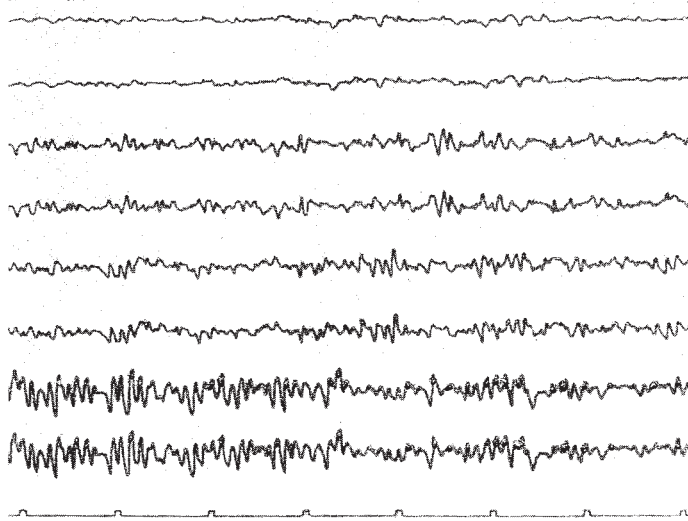


Bild 5. Mit Tintenschreiber registriertes Elektrencephalogramm (Kaiser-Prospekt)

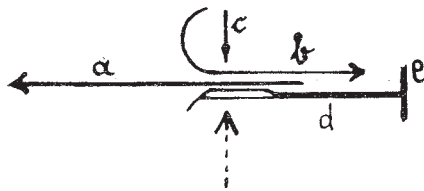


Bild 6. Durchschreibverfahren;
schematische Seitenansicht:

a Registrierpapier, b Kohlepapier,
c Schreibkante, d Schreibzeiger,
e Schreibzeigerachse, ↑ deutet an,
daß der Zeiger gegen die Schreib-
kante drückt.

verwendet man entweder Röhren oder seit einigen Jahren zunehmend Transistoren⁴¹ (Kristallverstärker). Diese zeichnen sich durch Kleinheit, geringe Leistungsaufnahme und hohe Lebensdauer aus.

Die Tintenschreiber sind mit möglichst leichten Schreibfedern ausgestattet. Sie tragen kleine offene Behälter für die sehr bewegliche Farbflüssigkeit. Schnellere Potentialwechsel als 50 pro Sekunde gibt dieses Verfahren nicht amplitudengetreu wieder. Die Trägheit des Systems unterdrückt raschere Schwankungen. Man erkennt Elektrencephalogramme, die mittels Tintenschreiber aufgezeichnet sind, an klarer Linienführung und an der „Bogenschrift“ (Bild 5). Die Feder bewegt sich auf einem Kreisbogenstück, dessen Radius ihr Befestigungshebel bildet, der um seine Achse drehbar ist.

Mehr als zehnfache Erhöhung der Frequenz, die noch amplitudengetreu abgebildet wird, erreicht im Vergleich zum Tintenschreiber ein Verfahren, bei dem die Schreibspur unter hohem Druck aus einer feinen Düse des Zeigers gespritzt wird.

Eine Farbflüssigkeit bietet den Vorteil deutlicher Schrift, hat aber die Nachteile des leichten Verspritzens, des Eintrocknens und Verklebens. Das Durchschreibverfahren stellt einen günstigen Kompromiß dar. Es ist in Deutschland am weitesten verbreitet. Bei diesem tragen die horizontal um eine vertikale Achse drehbaren Schreibzeiger an ihrer Oberseite einen schmalen Grat, der das Registrierpapier mit leichtem Druck gegen die darüberliegende Schreibkante preßt (Bild 6). Um die Schreibkante gleitet – in entgegengesetzter Richtung wie das Registrierpapier – Kohlepapier. Die gerade Schreibkante bewirkt nun, daß der Berührungspunkt zwischen ihr und der Oberkante des Zeigers auf diesem wandert, wenn er seine Kreisbogenbewegung ausführt. Dadurch wird die Bogenschrift „aufgerichtet“; in ein rechtwinkliges Koordinatennetz transformiert, das die genaue zeitliche Zuordnung der Schreibspuren einzelner Kanäle untereinander ermöglicht.

Bild 7 stellt einen Elektrencephalographen dar, dessen prinzipielle Funktionsweise nun beschrieben wird. Es handelt sich um Wechselspannungsverstärker sehr hoher Empfindlichkeit, die schon in der Größenordnung des Röhrenrauschens⁴² liegt. Gelangt eine Spannung

von 10 μV an den Verstärkereingang, so bewirkt sie eine Ablenkung des Zeigers um etwa 7 mm aus seiner Ruhelage, wenn die höchste Verstärkung eingestellt ist. Anschaulicher wird der hohe Grad der Verstärkung, sobald man sich überlegt, wie groß der Ausschlag des Schreibhebels unter sonst gleichen Bedingungen werden müßte, wenn man anstelle der zehn Mikrovolt ein Volt an den Verstärkereingang legen würde: 7 mal 10^5 mm, das sind 700 Meter! – Normalerweise benötigt man für die Registrierung der Hirnspannungskurve – oft noch „Hirnstrombild“ genannt – nicht die volle Verstärkung, sondern arbeitet bei $\frac{1}{5}$ des maximalen Verstärkungsfaktors.

Jeder Verstärkerkanal weist Regeleinrichtungen für die Wiedergabe beziehungsweise die Unterdrückung verschiedener Frequenzen (untere und obere Grenzfrequenz) auf. Eine Frequenz von 1 Hertz beispielsweise wird von einem Wechselspannungsverstärker nur dann amplitudengetreu übertragen, wenn er die Eigenschaft besitzt, eine an seinem Eingang liegende Spannung im Laufe einer Sekunde nicht auf weniger als 71% ihres Anfangswertes absinken zu lassen. Er hat dann die Zeitkonstante 1 s. Die Zeitkonstante 0,3 s besagt, daß der Verstärker jede Spannung, die auf seinen Eingang kommt, schon innerhalb einer dritten Sekunde auf 71% ihres Wertes senkt. Bei dieser Einstellung würde die langsamere Schwingung von 1 Hertz schnell eine Spannungsreduktion

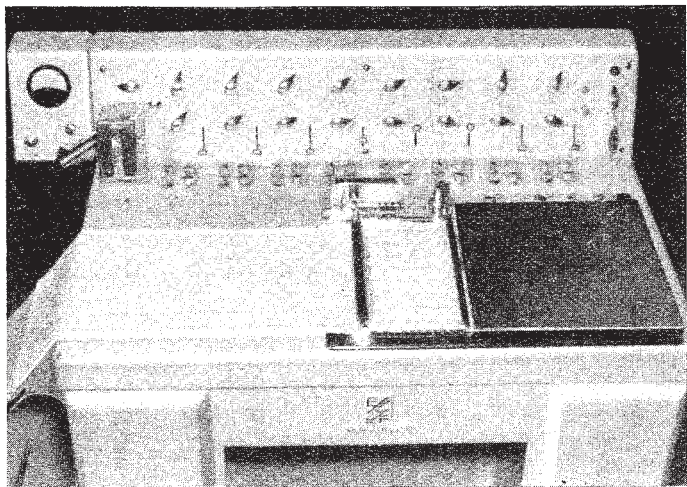


Bild 7. Elektrencephalograph, 8kanalig
 a) Aufsicht: vorn Registrierpapier; dahinter Zeitkonstanten-, Störlblenden- und Verstärkungsschalter; darüber Ableitungswahlschalter; links Zuführungskabel vom Ableitkopf



Bild 7 b) gesunde Versuchsperson mit Gummihäube; Elektroden und Zuführungen zum Ableitkopf

erfahren und dadurch praktisch unterdrückt werden. Der Zeitkonstantenschalter bestimmt also die untere Grenzfrequenz. Die obere Grenzfrequenz wird mit dem Störblendenschalter reguliert. Seine Einstellung auf 30 Hertz zum Beispiel bewirkt, daß die Amplitude von Frequenzen, die darüber liegen, stärker reduziert wird. Damit kann man einstreuende Spannungen vom Lichtnetz (50 Hertz) oder Muskelpotentiale, die stören, ausblenden.

Außer dem stufenweisen Empfindlichkeitsregler gibt es an jedem Kanal noch einen Empfindlichkeitsfeinregler, der eine kontinuierliche Veränderung erlaubt und somit die genaue Abstimmung aller Kanäle eines Elektrencephalographen aufeinander. Üblicherweise sind die Geräte mit acht Kanälen bestückt, es gibt aber auch solche mit 12, 16 oder anderen Anzahlen von Kanälen.

Ein Elektrencephalograph kann im Bereich seiner Kenndaten allgemein als Wechselspannungsverstärker für biologische Meßgrößen dienen, wenn diese elektrischer Natur sind (wie beispielsweise die Herzaktionspotentiale) oder durch technische Hilfsmittel in elektrische Impulse umgewandelt werden (wie Blutdruck oder Atmung). Er ermöglicht dann die simultane ⁴³ Registrierung verschiedener Vorgänge bei genauer zeitlicher Zuordnung untereinander; man spricht von „polygraphi-