

(Aus der Physiologischen Abteilung [Leiter: *A. E. Kornmüller*] des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Hirnforschung [Direktor: Prof. *H. Spatz*], Berlin-Buch.)

Über die normalen bioelektrischen Erscheinungen des menschlichen Gehirns.

(Gleichzeitig eine kritische Stellungnahme zu den bisherigen Anschauungen
auf Grund neuer Befunde an Gesunden und Kranken.)¹

Von

A. E. Kornmüller und R. Janzen².

Mit 12 Textabbildungen (21 Einzelbildern).

(Eingegangen am 24. März 1939.)

In wesentlichen Fragen, die die hirnbiologischen Erscheinungen des Menschen betreffen, besteht unter den einzelnen Autoren noch große Uneinigkeit. Bei der in letzter Zeit zunehmenden Zahl hirnbiologischer Untersuchungen drängt eine Entscheidung darüber um so mehr, als diese für die *anzuwendende Methodik* und dadurch für die *Verwertung der Befunde* wesentlich sein wird.

Die Untersuchungen über die hirnbiologischen Erscheinungen des *Menschen* und die der *Tiere* sind seit einer Reihe von Jahren weitgehend unabhängig voneinander entwickelt worden. Dies mag wohl ein Grund dafür sein, daß man durch Befunde, die sich bei den Untersuchungen am *gesunden* Menschen ergeben haben, zu Anschauungen gekommen ist, die mit den tierexperimentell gewonnenen Erkenntnissen und diesen entsprechenden Feststellungen an Kranken nicht übereinstimmen. Es soll eine der Aufgaben dieser Mitteilung sein, zu einer *Auffassung* zu gelangen, die eine *Synthese zwischen den bei Ableitungen an Menschen und Tieren gefundenen Ergebnissen* ermöglicht. Es wird sich dabei hauptsächlich um die Klärung folgender Fragen handeln:

1. Läßt das vorliegende Material über Ableitungen am Menschen den Schluß zu, daß die bioelektrische Tätigkeit der Hirnrinde des Menschen im Gegensatz zu den Befunden an Tieren überall homogen ist oder nicht?

2. Während die Untersuchungen an Tieren in der Regel mit direkten Hirnableitungen durchgeführt wurden, sind wir für den Menschen so gut wie ausschließlich auf Ableitungen angewiesen, die von der *Kopfschwarte* vorgenommen werden. Es ist aber von vornherein nicht selbstverständlich, daß man dabei ein getreues Abbild der Hirnrindentätigkeit erhält. Es ist daher zu prüfen, welche Beziehungen zwischen der tatsächlichen bioelektrischen Tätigkeit der Hirnrinde des Menschen und

¹ Mit Unterstützung der *Rockefeller*-Foundation.

² Hamburg-Eppendorf, zur Zeit Berlin-Buch.

den hirnbioelektrischen Erscheinungen, die durch die Kopfschwarte abgeleitet werden, bestehen.

1. Ist die Hirnrinde über allen Teilen gleichartig tätig oder bestehen örtliche Unterschiede?

Zur Beantwortung dieser Frage müssen a) die gesicherten Befunde an *Tieren* und b) die unter geeigneten methodischen Voraussetzungen gewonnenen *Befunde am Menschen* herangezogen werden.

a) Die *Hirnrinde* der untersuchten höheren *Tiere* läßt ohne Zweifel eine *bioelektrische Differenzierung* erkennen (*Kornmüller* seit 1932). Darüber sind sich wohl alle Autoren, die sich mit bioelektrischen Untersuchungen an der Hirnrinde von Tieren eingehend genug beschäftigt haben, einig. Das geht allein aus der Tatsache hervor, daß die Autoren, die sich mit Untersuchungen an Tieren befassen, *lokalisierte* Ableitungen benutzen. Eine monographische Darstellung der hirnbioelektrischen Untersuchungen an Tieren wurde von *Kornmüller* (1937) gegeben. In diesem Zusammenhang verweisen wir, um einige maßgebliche Autoren anzuführen, noch darauf, daß auch *Dusser de Barenne* im Handbuch der Neurologie, Band II, dazu mitteilt: „Daß verschiedene Felder verschiedene Eigenstrombilder aufweisen, ist richtig.“ Auch *Adrian* hat sich inzwischen von örtlichen Unterschieden in den hirnbioelektrischen Erscheinungen des Affen überzeugt. *Bremer* hat neuerdings davon Mitteilung gemacht, daß auch nach seinen Feststellungen die Aktionsströme auf Schalleinwirkung bei der Katze in ihrer Ausdehnung an die Grenzen eines architektonischen Feldes gebunden sind. Die Schule des Genannten hat inzwischen auch örtliche Unterschiede der bioelektrischen Spontanschwankungen auf der Hirnrinde der Katze beobachtet. *Bremer* selbst hat auf dem Internationalen Physiologenkongreß in Zürich zum Ausdruck gebracht, daß es nicht zulässig ist, auch bei Tieren von α - und β -Wellen zu sprechen.

Neuerdings glaubte *Drohocki* auf Grund relativ kurz dauernder Untersuchungen feststellen zu müssen, daß weder die Auffassung von *Berger* noch die von *Kornmüller* richtig sei. Die Auffassungen dieser Autoren sind weiter unten referiert. *Drohocki* meint, daß es zwischen den Eigenströmen der verschiedenen Rindenregionen keine konstanten Frequenzunterschiede gibt. Differenzen im zeitlichen Ablauf sollen aber bestehen. Die Prüfung der Frage, ob an Tieren konstante Frequenzunterschiede der hirnbioelektrischen Erscheinungen bestehen oder nicht, läßt das methodische Vorgehen von *Drohocki* überhaupt nicht zu. Es sind von dem genannten Autor die im Schrifttum wiederholt mitgeteilten physiologischen Voraussetzungen der Methodik völlig außer acht gelassen worden. Ähnliche Kurven, wie sie der Genannte zum Beweis für seine Auffassung, daß sich bezüglich der Frequenzen das Bild der normalen Spontanschwankungen ein und derselben Hirnstelle ständig sehr ändert, abbildet, sind auch bereits¹ veröffentlicht worden, aber nicht als Beispiel für ein physiologisches Verhalten, sondern im Rahmen von Untersuchungen

¹ Zum Beispiel Abb. 8 bei *Kornmüller* 1935 b.

über die Einwirkung von Schädlichkeiten auf die bioelektrische Hirnrinden-tätigkeit, wie sie z. B. auch bestimmte Versuchsbedingungen mit sich bringen können! Diesem Autor scheint außerdem entgangen zu sein, daß längst vor seinen Untersuchungen wiederholt festgestellt wurde, daß sich eine hirnbioelektrische Differenzierung besser als mit Hilfe von Frequenzunterschieden durch die *Er-fassung zeitlicher Unterschiede* in den Abläufen verschiedener Hirnrindenstellen ermöglichen läßt.

Eine andere Frage ist die nach dem *Grad* der Differenzierung. Darüber besteht noch Uneinigkeit in den Auffassungen. In diesem Zusammenhang ist aber die Frage, wie *weit* die hirnbioelektrische Differenzierung geht, nur von untergeordneter Bedeutung. Sie ist auch zur Zeit deswegen nicht abschließend zu beurteilen, da alle Möglichkeiten zu ihrer Prüfung noch längst nicht erschöpft sind.

b) Im Verhältnis zu den Untersuchungen an Tieren liegt über *direkte* Ableitungen von der Hirnrinde des Menschen bei weitem noch kein ausreichendes Material vor. Solche Ableitungen können nur ganz gelegentlich bei Hirnoperationen, und dann naturgemäß nicht erschöpfend, dabei außerdem an nicht völlig gesunden Gehirnen, durchgeführt werden. *Gleichzeitige* direkte Ableitungen von mehreren Stellen, die für die Frage der bioelektrischen Differenzierung der Hirnrinde unerlässlich sind, liegen überhaupt noch nicht vor. Darum möge auch dem Beitrag von *Foerster* und *Altenburger*, der einen wertvollen Anfang darstellt, nicht schon eine entscheidende Bedeutung für die besagte Frage zugemessen werden. Siehe auch die direkte Hirnableitung vom Menschen bei *Korn-müller* (1935 b, Fig. 11), die nicht das Bild der α - und β -Wellen erkennen läßt.

Für die aufgeworfene Frage sind wir daher zur Zeit auf die Ergebnisse von *Ableitungen durch die Kopfschwarte* angewiesen.

In einer vorangehenden Mitteilung wurde die *Methodik* der *lokali-sierten* Ableitungen hirnbioelektrischer Erscheinungen von der Kopfschwarte des Menschen, ihre Begründung und Begrenzung dargestellt (*Kornmüller* und *Janzen*, 1939¹). *Lokalisierte* Ableitungen sind die Voraussetzung zur Prüfung der Frage, ob auch auf der Hirnrinde des Menschen eine bioelektrische Differenzierung besteht. Eingehende Erfahrungen auf Grund dieser Methode setzen uns überhaupt erst in die Lage, zur aufgeworfenen Frage Stellung zu nehmen.

Man kann sich jederzeit durch eine einfache Prüfung davon überzeugen, daß die von *Berger* angegebene und viel verwendete *fronto-occipitale Ableitung* ausschließlich die bioelektrischen Potentialschwankungen unter den beiden Elektrodenauflageflächen wiedergibt und nicht die bioelektrische Tätigkeit der gesamten Hirnrinde erfaßt. Wenn die frontale Elektrode z. B. über der Stirnhöhle liegt, dann wird fast nur die bioelektrische Spannungsproduktion unter der occipitalen Ableite-

¹ Dort findet sich auch das Schrifttum.

stelle registriert. Man braucht dazu nur fronto-occipital und gleichzeitig die frontale und occipitale Elektrodenstelle getrennt unipolar (gegen ein Ohr, gegen das Kinn oder den Nacken) abzuleiten. Dann ergibt sich zwischen der fronto-occipitalen und der unipolaren occipitalen Ableitung ein in Einzelheiten gleiches Bild, während die unipolare frontale Registrierung im Verhältnis dazu nur Schwankungen kleinsten Amplituden erkennen lässt.

In Erweiterung früherer Feststellungen (*Janzen* und *Kornmüller*) teilen wir erst einige neue Befunde von *Hirnkranken* mit, die bei Ab-

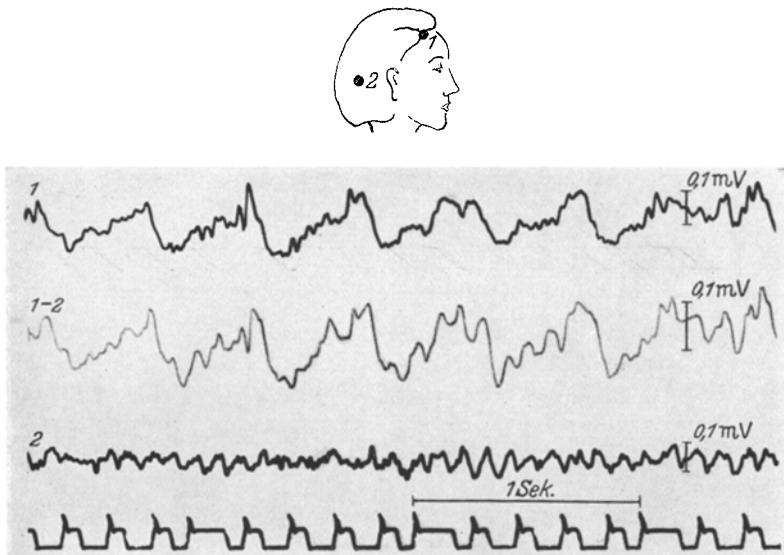


Abb. 1. Von einer Kranken mit genuiner Epilepsie (J. G.) gleichzeitige unipolare Registrierungen von einem frontalen (1) und einem occipitalen (2) Ableitepunkt. 1—2 ist die entsprechende bipolare Ableitung.

leitung durch die Kopfschwarte eindeutige bioelektrische Verschiedenheiten einzelner Gebiete der Hirnrinde erkennen lassen. Die gewählten Beispiele sind auch geeignet, weiter unten interessierende Fragen zu beleuchten.

Abb. 1 bringt Registrierungen von einer Kranken mit *genuiner Epilepsie* (J. G.). Es wurde von einem frontalen (1) und einem occipitalen Punkt (2) je unipolar gegen dasselbe Ohr (obere und untere Kurve) und bipolar zwischen diesen beiden Punkten (1—2) abgeleitet. Die beiden unipolaren Kurven zeigen ein ganz unterschiedliches Bild. Während 1 abnorme große, träge Schwankungen aufweist, wie sie bei dieser Kranken anfallsweise über dem rechten Stirnhirn „spontan“ auftraten¹, lässt 2 normale Schwankungen einer Frequenz von 10/Sek. deutlich erkennen. Zur gleichen Zeit war also eine Hirnregion bioelektrisch normal

¹ Augenbewegungen lagen nicht vor.

und eine andere deutlich abnorm tätig. Die Schwankungen haben weder in der Form noch in zeitlicher Hinsicht irgendwelche Beziehungen zueinander, sie sind voneinander völlig unabhängig. Die mittlere Kurve (1—2), die die bipolare Ableitung zwischen 1 und 2 darstellt, setzt sich

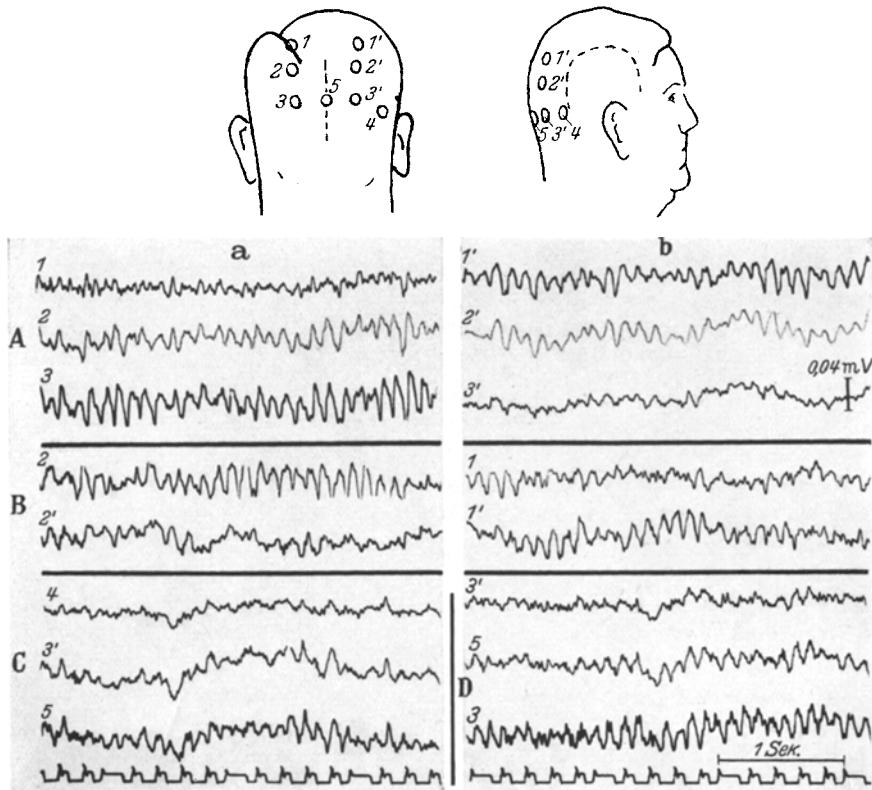


Abb. 2. Unipolare Ableitungen von einem Kranken (K. K.). Über dem rechten Occipitalappen eine abnorm verminderte Spannungsproduktion, deren Ausdehnungsgebiet sowohl nach vorn als auch gegen die Mittellinie hin gut begrenzt ist. Beziiglich Elektrodenlage siehe das Schema oben! Die entsprechenden Kurven sind mit denselben Zahlen bezeichnet. Die Abstände zwischen den Punkten 1 und 2, 2 und 3, 1' und 2' und 3' betrugen je 2,5 cm. 3 und 3' lagen 3,8 cm von der Mittellinie entfernt.

genau aus den beiden Kurven der unipolaren Ableitungen zusammen. Sie stellt eigentlich deren Differenz dar.

Der folgende für die Frage des Entstehungsortes der α - und β -Wellen (*Bergers*) wichtige Befund wurde von einem Kranken (K. K.) erhoben, bei dem vor 2 Jahren der Temporallappen rechts wegen eines Oligodendrogioms entfernt worden ist (Prof. *Tönnis*). Im Bereiche des rechten Hinterhauptes fand sich eine abnorme eindeutige *Reduktion* der bioelektrischen Spannungsproduktion. Abb. 2 zeigt auf A a die

gleichzeitigen unipolaren Registrierungen von drei Punkten der linken Parietal- und Occipitalregion. Die Lage der Punkte ergibt sich aus dem Schema (oben)¹. Wie üblich, weist der occipitale Punkt (3) die größte bioelektrische Aktivität auf. *A b* zeigt Registrierungen von symmetrischen Ableitestellen der kranken rechten Hemisphäre. Es besteht ein auffälliger Unterschied gegenüber der gesunden Seite. Nebeneinander abgebildete Kurven entsprechen einander. Es fällt eine abnorme Reduktion der Spannungsproduktion rechts occipital (3') auf als Ausdruck einer Verminderung der Tätigkeit des rechten Occipitalhirns². Im Gegensatz zu der am weitesten occipital gelegenen Ableitestelle 3' zeigt sich über dem Parietalhirn (1') eine ausgeprägte kontinuierliche Spannungsproduktion in Form von Schwankungen einer Frequenz von 10/Sek. Beim Vergleich mit der linken Seite fällt auf, daß auf der rechten Seite eine stärkere bioelektrische Tätigkeit besteht als links, was auch gleichzeitige Registrierungen dieser beiden symmetrischen Punkte bestätigt. Solche Ableitungen sind auf *B b* abgebildet. Dieser Befund wurde durch ausgedehnte Registrierungen immer wieder bestätigt. Die großen Potentialschwankungen des rechten parietalen Ableitepunktes stammen also weder vom Occipitallappen derselben Seite (3') noch vom symmetrischen Punkt links (1). Dieser Befund wird im Zusammenhang mit der Erörterung der Adrianschen Auffassung über den Entstehungsort der Bergerschen Wellen weiter unten herangezogen. *C* stellt gleichzeitige Registrierungen der Punkte 4, 3' und 5 dar. Siehe das Schema! Die beiden Ableitungen von der rechten Hemisphäre (4 und 3') zeigen ein Bild abnormer Reduktion der Spannungsproduktion im Gegensatz zu Punkt 5 der Mittellinie. *D* der Abb. 2 bringt eine gleichzeitige Registrierung von der Mittellinie (5) und von den symmetrischen occipitalen Punkten rechts (3') und links (3). Die Potentialschwankungen sind rechts abnorm reduziert. Links findet sich das normale Bild, während die Mittellinie auch Schwankungen einer Frequenz von 10/Sek., aber mit etwas geringerer Amplitude, aufweist.

Es zeigt sich also auch bei der schrittweisen Ableitung über die Mittellinie hinweg, daß eine örtlich umschriebene abnorme Verminderung der Spannungsproduktion faßbar ist. Eine Überdeckung dieser Region durch Potentialschwankungen von der normal tätigen Umgebung erfolgt nicht.

Wiesen wir an Hand der Abb. 1 örtliche Unterschiede auf Grund der Kurvenform nach, zeigte Abb. 2 ein Beispiel örtlicher Unterschiede auf Grund quantitativer Verhältnisse, so soll Abb. 3 ein Beispiel dafür

¹ Nach Photo gezeichnet. Bei lokализierten Ableitungen empfiehlt es sich, die Ableitestellen photographisch, am besten mittels einer Kleinkamera, festzuhalten.

² Ob dieser Verminderung eine Gewebebeschädigung im Bereich des Occipitallappens entspricht, ist nicht zu entscheiden. Hier genügt aber die Tatsache der Tätigkeitsverminderung.

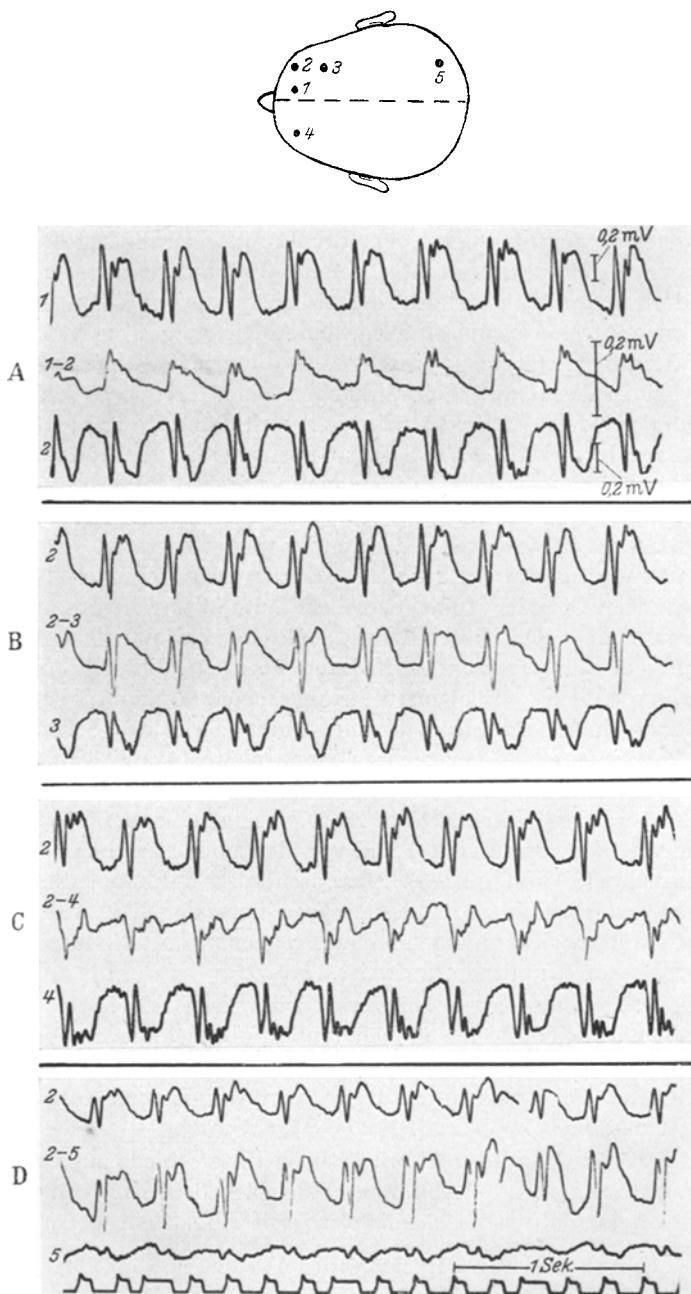


Abb. 3. Uni- und bipolare Ableitungen während eines 22 Min. dauernden kontinuierlichen Krampfstromanfalles bei einer Kranken mit genuiner Epilepsie (J. G.). Über dem Frontalhirn lassen sich durch gleichzeitige uni- und bipolare Ableitungen zeitliche Unterschiede bestimmter Wellen in Abhängigkeit von der Richtung der Elektrodenanordnung finden. Siehe dazu den Text! Der Abstand zwischen 1 und 2 und 2 und 3 betrug je 5 cm.

geben, wie wichtig die Erfassung der *zeitlichen* Beziehungen für die hirn-bioelektrische Differenzierung sein kann.

Die Ableitungen der Abb. 3 stammen aus einem kontinuierlichen Krampfstromanfall, der über 22 Min. fortlaufend während einer anfallsweise auftretenden *Bewußtseinstriebung* bei einer Kranken (J. G.) mit *genuiner Epilepsie* registriert wurde. Während des Anfalls wurden die angegebenen Elektrodenanordnungen dauernd der Reihe nach wiederholt.

Wenn man die *Kurvenformen* der unipolaren Ableitungen von den Punkten 1, 2, 3 und 4 (siehe das Schema oben) vergleicht, so zeigt sich *überall* das Bild der Aufeinanderfolge einer spitzten und einer trägen Schwankung¹ („spikes and waves“ nach Gibbs). Eindeutige örtliche Unterschiede im bioelektrischen Verhalten der besagten Punkte würde man auf Grund der Kurvenform allein *nicht* feststellen. Lediglich der occipital gelegene Punkt 5 zeigt ein deutlich anderes Verhalten, zunächst in quantitativer Hinsicht. Man könnte evtl. auch hier das Bild der Aufeinanderfolge einer spitzten und trägen Schwankung erkennen². Die *gleichzeitige uni- und bipolare* Registrierung ergab aber doch auffällige Unterschiede zwischen den einzelnen Ableitepunkten. Die bipolare Ableitung von den beiden in medio-lateraler Richtung auf gleicher Höhe liegenden Punkten (1—2) ließ das Bild der spitzten und trägen Welle nicht mehr erkennen (A). Es fand sich lediglich ein steiler Anstieg und ein allmählicher Abfall. Dabei ist hervorzuheben, daß die Amplitudengrößen dieser Abläufe wesentlich geringer sind als die der beiden unipolaren Kurven. Die Ableitung 1—2 wurde mit mehr als der doppelten Registrierempfindlichkeit gewonnen. Vergleiche die Eichstriche! Ein ganz analoges Verhalten findet sich zwischen den symmetrischen Punkten 2 und 4 beider Hemisphären (C). Dagegen ließ die bipolare Ableitung der in fronto-occipitaler Richtung auf gleicher Höhe liegenden Punkte 2 und 3 die gleiche Kurvenform erkennen wie die dazugehörigen unipolaren Ableitungen (2 und 3), nur die *Spannungswerte sind kleiner* (B). Bezüglich der Kurvenform gilt für die bipolare Ableitung 2—5 dasselbe, nicht aber hinsichtlich der Amplitudengröße. Diese ist hier im Vergleich zu den übrigen bipolaren Ableitungen größer (D). Aus diesem Verhalten läßt sich folgendes schließen:

Die trägen Schwankungen unter den symmetrisch gelegenen Ableitestellen 2 und 4 und den in medio-lateraler Richtung auf gleicher Höhe liegenden Stellen 1 und 2 müssen weitgehend *synchron* sein, so daß sie sich bei bipolarer Ableitung (der Spannungsdifferenz zwischen beiden) nicht auswirken. Zwischen den in fronto-occipitaler Richtung auf gleicher Höhe über dem Frontalhirn liegenden Punkten 2 und 3 müssen *Unter-*

¹ Spiegelbildliche Abläufe erklären sich durch umgekehrte Polungen am Eingang des Verstärkers.

² In bezug zu den vorderen Punkten konnten eindeutige *Latenzzeiten* zwischen entsprechenden Wellen festgestellt werden.

schiede in zeitlicher Hinsicht bezüglich der trägen Schwankungen bestehen. Die funktionelle Tätigkeit zwischen 2 und 3 entspricht sich in zeitlicher Hinsicht nicht so weitgehend wie diejenige zwischen den obengenannten Paaren von Punkten. Zwischen 2 und 3 vollzieht sich also auf einer relativ kurzen Strecke der Übergang von einem Gebiet, das bezüglich der trägen Schwankungen in höherem Maße zeitlich zusammenfällt als das dahinter liegende Areal¹.

Die mitgeteilten Beispiele von Hirnkranken sollten im Hinblick auf die Untersuchungen an Gesunden (weiter unten) die wichtigsten *Kriterien* zur Ermittlung örtlicher Unterschiede der hirnbioelektrischen Tätigkeit aufzeigen. Sie sind u. E. eindeutige Hinweise dafür, daß hier auch auf der Hirnrinde *örtliche Unterschiede im bioelektrischen Verhalten* bestehen müssen. Sie wurden so ausgewählt, daß sie für die Entscheidung von Fragen über die *normale* hirnbioelektrische Tätigkeit des Menschen herangezogen werden können.

2. Welche Beziehungen bestehen zwischen der bioelektrischen Tätigkeit der Hirnrinde und den bioelektrischen Erscheinungen, die von der Kopfschwarte abgeleitet werden?

Es folgt zunächst ein kurzes *Referat über die Auffassungen zu den normalen hirnbioelektrischen Erscheinungen des Menschen*.

Berger, dem wir die grundlegende Feststellung verdanken, daß auch noch durch die Kopfschwarte des *Menschen* hirnbioelektrische Potentialschwankungen ableitbar sind, vertritt seit Jahren die Auffassung, daß es von gesunden Menschen nur *ein* Elektrenkephalogramm gibt, bestehend aus α - und β -Wellen. Dieses bei Ableitung durch die Kopfschwarte sich ergebende Bild ist nach seiner Meinung eine getreue Wiedergabe der bioelektrischen Spannungsproduktion der Hirnrinde selbst. Diese soll sich überall in *demselben* Bild (der α - und β -Wellen) ausdrücken. Diese Gleichartigkeit erklärt sich nach Berger so, daß die Potentialschwankungen auf der Kopfschwarte, ebenso wie auf der Hirnrinde selbst, in jedem Augenblick und über den verschiedenen Regionen weitgehend synchron ablaufen. Eine bioelektrische *Differenzierung* der Hirnrinde besteht danach also *nicht*.

Demgegenüber vertrat Kornmüller auf Grund seiner hirnbioelektrischen Untersuchungen an *Tieren* die Auffassung, daß auch am Menschen sowohl bezüglich der Kurvenform als auch in zeitlicher Hinsicht zwischen den Potentialschwankungen der grauen Teile des Gehirns *Unterschiede* bestehen müssen. Tönnies hat davon ausgehend lokalisierte Ableitungen am Menschen vorgenommen. Die beiden letztgenannten Autoren haben seinerzeit die Auffassung vertreten, daß sich bei der guten elektrischen Leitfähigkeit der Kopfschwarte bei Ableitung von derselben im Gegensatz zum Verhalten bei direkter Rindenableitung eine weitgehende Streuung der Potentialschwankungen der Hirnrinde bemerkbar machen würde. Ein Hirnrindenpunkt würde sich also über ein größeres Gebiet der Kopfschwarte auswirken. Dadurch müßte eine Homogenisierung des hirnbioelektrischen Bildes

¹ Wir unterlassen es, hier das Verhalten der *raschen* Schwankungen über den einzelnen Ableitestellen in zeitlicher Hinsicht zu vergleichen. Bemerkt sei nur, daß bei gleicher zeitlicher Verschiebung die Wirkung rascher Schwankungen auf die bipolaren Ableitungen selbstverständlich größer ist als die von trägen Wellen. Dies folgert sich aus den Ergebnissen bei Kornmüller und Schaefer.

auf der Kopfschwarte und dementsprechend eine Verwischung der bioelektrischen Differenzierbarkeit erfolgen.

Eine andere Erklärung des scheinbar so auffällig *gleichartigen* Bildes versuchte Adrian gemeinsam mit Matthews und Yamagawa. Nach deren Anschauung soll das Elektrenkephalogramm Bergers lediglich die Auswirkung der hirnbioelektrischen Tätigkeit *eines Fokus*, und zwar in der Occipitalregion jeder Hemisphäre sein. Adrian und Matthews¹ fanden „wie Berger, daß die Wellen, die von zwei verschiedenen Gebieten der Kopfschwarte gleichzeitig registriert wurden, nicht immer phasengleich waren und von Zeit zu Zeit ihre Beziehungen hinsichtlich der Phase wechseln konnten.“ Aus letzterem schlossen sie, daß der Fokus seinen Ort wechseln kann. Seine occipitale Lage sollte unter anderem dadurch bewiesen sein, daß bei gleichzeitigen mehrfachen bipolaren Registrierungen, die von occipital nach frontal bei gleichen Elektrodenabständen und gleicher Registrierempfindlichkeit vorgenommen wurden, die Potentialschwankungen nach dem Hinterhaupt zu viel steiler („steeper“) werden; ferner dadurch, daß bei unipolarer Ableitung die occipital abgeleiteten Wellen „sehr viel größer“ waren als die frontal abgeleiteten. An Hand von Verteilungskurven der relativen Potentialgrößen, die mittels bipolarer Ableitungen gewonnen wurden und durch das Phänomen der Phasenumkehr, d. h. die Tatsache, daß bei bipolaren Ableitungen die Potentialdifferenzen vor und hinter dem Fokus bei gleicher Schaltung entgegengesetzte Phasen haben müssen, wurde der Nachweis eines Fokus in jeder Hemisphäre geführt. „Die Art und Weise, in der der Fokus von Ort zu Ort wandern kann, enthält die Vorstellung einer spontanen Entladung innerhalb einer größeren Gruppe von Neuronen. Der Wechsel findet oft plötzlich statt. Die Potentialverteilung kann während einer einzigen Entladung wechseln und zeigt keine Zeichen einer allmählichen Bewegung von der alten Lage zur neuen“. Es gibt zwei Arten des Fokuswanderns, einmal die Wanderung während jeder Entladung, die die Bilder erklärt, wo bei mehrfacher gleichzeitiger Registrierung die einzelnen Wellen nie phasengleich sind („fall out of step“), zum anderen die Wanderung der Region, in der die Entladungen entstehen. Letztere erklärt die Bilder der Phasenumkehr. „Beide Arten des Wanderns dürfen in einer Region erwartet werden, in der alle Elemente fähig sind, sich spontan zu entladen² („to beat spontaneously“) und irgendwelche von ihnen Schrittmacher werden können“. „Ob die Fokuswanderung für alle Unregelmäßigkeiten² in der Kurvenform² verantwortlich gemacht werden kann, ist eine andere Frage. Aber sicherlich („clearly“) können sehr viele so erklärt werden“.

Durch einen Modellversuch sollte diese Auffassung gestützt werden. An einer 4 Tage alten Leiche wurde durch ein Trepanationsloch auf der Hirnoberfläche ein Kondensator angebracht und durch diesen sinusförmige Schwingungen einer Frequenz von 10/Sek. und einer Spannung von 1,8 mV hervorgerufen. Die Potentialverteilungskurve auf der Kopfschwarte wurde ähnlich der bei gesunden Versuchspersonen gefunden, mit dem einzigen Unterschied, daß die Potentiale bei dem Modellversuch dreimal so groß waren.

Die Autoren geben an, daß der Fokus *gelegentlich* über weite Strecken wandern kann, wenn er auch in der Regel den Occipitallappen nicht verläßt.

Sie halten auch das Vorkommen von Wellen einer Frequenz von 10/Sek. an anderen Stellen der Hirnrinde für möglich, nur sollen sie gewöhnlich von den occipital entstehenden Schwankungen überdeckt sein. Unter Hinweis auf die Befunde Bergers bei Epilepsie wird hervorgehoben, daß bei abnormer Synchronisierung auch von anderen Stellen aus, d. h. nicht nur vom occipitalen Fokus, Potentialschwankungen sich auf die Kopfschwarte auswirken dürfen.

¹ Die folgenden Zitate sind wörtlich nach Adrian und Yamagawa übersetzt.

² Von uns gesperrt.

Es muß festgestellt werden, daß es für jeden, der von hirnbioelektrischen Untersuchungen am Tier ausgehend, Ableitungen durch die Kopfschwarte des Menschen vornimmt, erst einmal überraschend ist, daß die *Ableitungen durch die Kopfschwarte des Menschen* über den verschiedenen Regionen bei grober Betrachtung so *auffällig ähnlich* erscheinen. Man könnte ohne Berücksichtigung der tierexperimentellen *Befunde* und der Feststellungen an Kranken zunächst sehr wohl der Auffassung von Berger oder von Adrian zustimmen, daß das Bild über allen Teilen der Kopfschwarte gleichartig sei. Einzelne Beobachtungen an Gesunden gaben im Zusammenhang mit den genannten Feststellungen die Veranlassung dazu, daß wir uns mit den *hirnbioelektrischen Erscheinungen des gesunden Menschen* bei Ableitung von der Kopfschwarte erneut eingehend befaßten. Wir ließen uns dabei von dem Bestreben leiten, zu einer Auffassung zu gelangen, die allen zur Zeit vorliegenden Tatsachen gerecht wird und dadurch möglichst einen Ausgleich zwischen den sich widersprechenden Anschauungen herbeiführen soll.

Es war dabei zu prüfen, ob auch die *normalen hirnbioelektrischen Erscheinungen* bei Ableitung von der Kopfschwarte des *Menschen* die *Gesetzmäßigkeiten* erkennen ließen, die sich bei Untersuchungen an *Tieren* und an *kranken Menschen* eindeutig ergeben haben, nämlich 1. eine nur *beschränkte seitliche Auswirkung der Hirnrindenpotentiale über die Kopfschwarte* und 2. die Existenz einer *bioelektrischen Differenzierung der Hirnrinde*.

Über das *Maß der „physikalischen Streuung“* der Hirnrindenpotentiale durch die darüberliegenden Medien in seitlicher Richtung haben wir bereits genauer berichtet (Kornmüller und Janzen 1939).

Wenn wir von „*physikalischer Streuung*“ sprechen, so soll dies nur eine kurze Bezeichnung für die Tatsache sein, daß die an einer bestimmten Stelle der Hirnrinde vorhandenen Spannungsschwankungen sich durch die darüberliegenden Medien (Liquor, Dura, Knochen, Periost, Kopfschwarte) *ausbreiten* und sich infolgedessen nicht nur (und zwar mit verminderter Amplitude) auf eine *unmittelbar über dieser Stelle* auf der Kopfhaut liegende Elektrode auswirken, sondern auch auf alle in einem gewissen Umkreis davon gelegenen Punkte der Kopfhaut. Die Folge dieser physikalischen Streuung ist, daß umgekehrt die von einer bestimmten Stelle der *Kopfhaut* abgeleiteten Potentialsschwankungen nicht allein von der bioelektrischen Spannungsproduktion der unmittelbar darunterliegenden Stelle der Hirnrinde herrühren, sondern die Summation der Auswirkungen aller in einem gewissen Umkreis seitlich davon gelegenen Stellen der Hirnrinde darstellen. Welcher Art die feineren physikalischen Vorgänge sein mögen, die die Grundlage für diese Ausbreitung der bioelektrischen Potentialsschwankungen der Hirnrinde durch die darüberliegenden Medien abgeben, kann hier nicht erörtert werden.

Es ergab sich, daß sich bei den üblichen Registrierempfindlichkeiten die normalen und selbst maximal gesteigerten pathologischen Potentialsschwankungen einer Hirnrindenstelle nur in einem Bereich von ungefähr 2 cm in seitlicher Richtung auf der Kopfschwarte bioelektrisch bemerkbar machen. Die „*Streuung*“ ist also *begrenzt*. Nun hat aber

Adrian die „physikalische Streuung“ von künstlichen Potentialsschwankungen durch die Medien an der *Leiche* gemessen (siehe oben) und dabei größere Werte gefunden.

Die Ergebnisse eines Modellversuches an der *Leiche* können u. E. nicht einfach auf die Verhältnisse am *Lebenden* übertragen werden. Es ist zu erwarten, daß die Potentialverteilung am toten gegenüber dem lebenden Gewebe deswegen eine andere ist, weil durch den Tod die Membranen, die bei der Ausbreitung elektrischer Zustandsänderungen (zufolge von Polarisationserscheinungen) eine Rolle spielen, starke Veränderungen erleiden.

Wenn es schon für den Modellversuch an der Leiche zulässig sein mag, sich die *Stromfäden* in der von Adrian und Yamagawa angegebenen Weise¹ durch das *Gehirn* und die *Medien* verlaufend vorzustellen, so glauben wir, daß dies nicht auf die Verhältnisse am Lebenden zu übertragen ist, und zwar deswegen nicht, weil das *lebende Gehirn* für die Größenordnung der in Frage stehenden hirnbioelektrischen Potentialsschwankungen so gut wie keine *Leitfähigkeit* bei den üblichen Registriermöglichkeiten erkennen läßt (Kornmüller 1932—1938). Auf Grund dieser Tatsache muß der Verlauf der Stromfäden am Lebenden ein ganz anderer sein.

Wenn auch der von uns angegebene Wert der Streuung kleiner ist als der von Adrian angenommene, so ist trotzdem zu erwarten, daß eine *hirnbioelektrische Differenzierung* bei Ableitung durch die Kopfschwarte, wenn überhaupt, nur eingeschränkt faßbar sein dürfte. Man bedenke doch, daß die Streuung von etwa 2 cm zahlenmäßig größer ist als die Ausmaße der Breiten vieler Windungen und etlicher architektonischer Felder! Es wäre darum auf Grund dieser *Begrenzung*, die der *Methodik der Ableitung durch die Kopfschwarte* gesetzt ist, von vornherein aussichtslos, einen Versuch zu machen, eine *weitgehende bioelektrische Differenzierung* der Hirnrinde durch die Kopfschwarte mit Erfolg zu unternehmen. Dazu kommt, daß, wie wir aus Untersuchungen an Tieren (Kornmüller und Janzen 1939) wissen, das *Bild* der hirnbioelektrischen Potentialsschwankungen auf der Kopfschwarte vergröbert ist gegenüber dem, das Ableitungen von der Hirnrinde direkt ergeben. Dies könnte, abgesehen von der „physikalischen Streuung“, auf Polarisationserscheinungen an den Membranen bei „Durchleitung“ der Hirnrindenpotentiale durch die lebenden Medien zwischen Rinde und Hautoberfläche zurückgeführt werden. Wenn man also versuchen will, irgendwelche Unterschiede im hirnbioelektrischen Verhalten bei Ableitung von der Kopfschwarte in Beziehung zu *morphologischen Besonderheiten* der Hirnrinde zu setzen, so muß man nach dem eben Dargelegten („Streuung“ und Vergrößerung) diesem Vorhaben nur *ganz grobe morphologische Gliederungen der Hirnrinde* zugrunde legen (s. Abb. 4!).

¹ Fig. 22 ihrer Mitteilung.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß die bei Ableitung durch die Kopfschwarze faßbare Hirnrinde des Menschen über großen Gebieten den gleichen cytoarchitektonischen Grundtypus aufweist (2 auf Abb. 4),

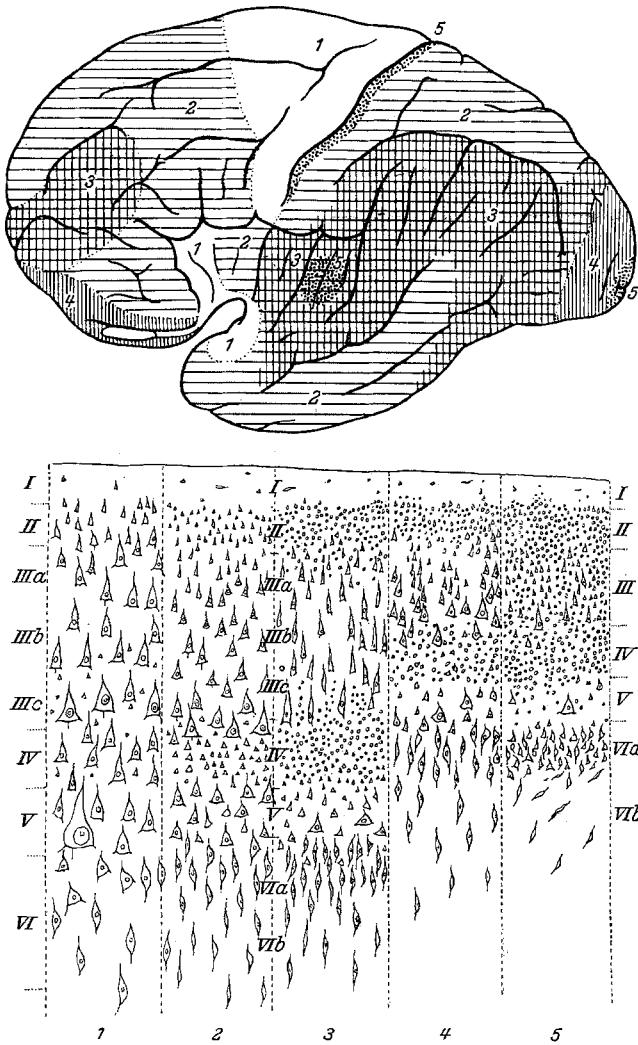


Abb. 4. Nach C. v. Economo: Oben die Verteilung der 5 Bautypen der Rinde an der Oberfläche der Konvexität des Menschenhirns. Unten die Architektonik der 5 Bautypen der Hirnrinde.

und daß die Breite der Gebiete mit einem extremen Bautypus, z. B. dem latogranulären, so gering ist, daß sie bei dem Maße der physikalischen Streuung, wenn überhaupt, durch die Kopfschwarze nicht rein, d. h. nur überdeckt von den Nachbargebieten, zur Ableitung gelangen können. Das diesbezüglich ausgeprägteste Feld, die *Area striata*, befindet sich

beim Menschen so gut wie ausschließlich auf der Medianfläche und ist darum von der Kopfschwarte bioelektrisch praktisch nicht erfaßbar. Dabei muß vor allem noch berücksichtigt werden, daß die Ableitung von der Kopfhaut über lateralen Teilen der Konvexität des Menschenhirns durch den Musculus temporalis eine gewisse Erschwerung erleidet und die Stirnhöhle offenbar ebenfalls die Möglichkeit der Erfassung der hirnbioelektrischen Tätigkeit des darunterliegenden Hirnrindengebietes ausschließt. Bei den bisher am meisten untersuchten Tieren sind auf der freien Konvexität von jedem Batypus verhältnismäßig ausgedehnte Gebiete vorhanden.

Im Schrifttum über die hirnbioelektrischen Erscheinungen des Menschen sind von Ableitungen durch die Kopfschwarte nur wenige *Befunde von Frequenzunterschieden* am Gesunden mitgeteilt worden. *Tönnies* konnte in einzelnen Fällen über dem Scheitel bei *unipolarer* Ableitung vorwiegend rasche Frequenzen (20—22/Sek.) beobachten. *Jasper* und *Andrews* teilen mit, daß man präzentral bei enger *bipolarer* Elektrodenanordnung Schwankungen von 25/Sek. erhält, während occipital unabhängig davon ein gleichmäßiger „ α -Rhythmus“ besteht. *Kornmüller* (1937) konnte diesen Befund bestätigen. An Schlafenden wurden von *Loomis*, *Harvey* und *Hobart* frontal bei bipolarer Ableitung Schwankungen einer Frequenz von 14/Sek. beobachtet, was *Janzen*¹ bestätigt hat. Auf Frequenzunterschiede bei bipolaren Ableitungen konnten auch wir (*Janzen* und *Kornmüller* 1939 a) hinweisen.

Bemerkt sei noch, daß das von *Jasper* beschriebene Bild über der Präzentralregion nur durch *bipolare* Ableitung zu gewinnen ist. Bei unipolaren Registrierungen wird, wie wir fanden, das Bild von trügeren (10/Sek.) Schwankungen beherrscht, die sich aber in ihrer Wirkung auf bipolare Ableitungen aufheben.

Auf Grund von Unterschieden in der Frequenz steht es also bisher um die Möglichkeit der Erfassung einer hirnbioelektrischen Differenzierung durch die Kopfschwarte sehr schlecht. Dabei muß man sich aber dessen bewußt bleiben, daß die Erfassung der Frequenzen hirnbioelektrischer Potentialschwankungen *mit dem bloßen Auge*, wie dies bisher in der Regel geschehen ist, nur sehr grob und unvollkommen ist, und nicht immer einer gewissen Willkür entbehren kann². Wenn auch aus hirnbioelektrischen Kurven, die von verschiedenen Stellen der Kopfschwarte gewonnen wurden, 10 Schwankungen pro Sekunde ausgezählt werden können, so zeigt jedoch eine genauere Betrachtung, daß die An- und Abstiege dieser Schwankungen in ihrer *Steilheit* sehr verschieden sein können, worin sich Frequenzunterschiede ausdrücken. Eine eingehende Untersuchung dieser Verhältnisse steht noch aus. Endgültiges wird sich zur Frage der Frequenzunterschiede erst nach

¹ Dtsch. Z. Nervenheilk. (im Druck).

² Das gilt überhaupt für jeden Versuch, die unregelmäßigen Kurven der Hirnpotentialschwankungen objektiv zu beschreiben.

weiteren Untersuchungen, und vor allem erst dann sagen lassen, wenn ein größeres unter brauchbaren Voraussetzungen gewonnenes Material eine geeignete und eingehende *Kurvenanalyse* erfahren hat¹.

Abgesehen von anderen Gründen ist es auch deswegen wahrscheinlich, daß über Gebieten mit morphologisch eindeutigen Strukturdi-
fertenzen der Großhirnrinde auch am Menschen Unterschiede in den Formen (einschließlich Frequenzen) bestehen müssen, da schließlich die lebenden Gewebe die Erzeuger der Spannungsschwankungen sind, und wir von verschiedenen gebauten Strukturen stets auch Unterschiede der bioelektrischen Erscheinungen kennen. Niemand bezweifelt z. B. die Tatsache, daß die Rinde des Kleinhirns ein ganz anderes bioelektrisches Bild ergibt als die des Großhirns, was letzten Endes nur in den Verschiedenheiten des Baues seinen Grund haben kann. Dabei meinen wir natürlich nicht nur die Cytoarchitektonik, sondern alle baulichen Besonderheiten, z. B. auch die Synaptologie und die Fasersystematik, die offenbar sehr wesentlich an dem Zustandekommen der Ablaufsbilder beteiligt sind (Kornmüller 1933). Darum scheinen uns die in der Folge gemachten Trennungen zwischen Abhängigkeit des Kurvenbildes von dem *Bau* der Ableitestelle und von der *zeitlichen* Aufeinanderfolge der Einzelentladungen, die an einer Welle beteiligt sind, überflüssig, da der letztere Faktor doch wohl auch im Bau (der „Schaltung“ der spannungsproduzierenden Einzelelemente) begründet liegen muß.

Frequenzunterschiede sind aber nur eines der vielen *Kriterien einer hirnbioelektrischen Gliederung*. Man darf sie nicht, wie dies vielfach geschehen ist, überschätzen oder in ihnen die einzige Möglichkeit zur Erfassung einer hirnbioelektrischen Strukturierung sehen. Wir wollen uns im folgenden mit *anderen Kriterien*² beschäftigen, die bei den Ableitungen am gesunden *Menschen* bisher keine Verwendung fanden, und die, wie uns scheinen möchte, unter anderem imstande sind, entscheidend die Anschauungen über den *Entstehungsort* und andere Probleme der von der Kopfschwarte ableitbaren *hirnbioelektrischen Erscheinungen und des Elektrenkephalogramms* (nach Berger) zu beleuchten. Es werden nun unsere Befunde und die sich daraus ergebenden Folgerungen für die Anschauungen über die *normalen hirnbioelektrischen Erscheinungen des Menschen* beschrieben.

Auf Grund eines großen Materials³, das durch *Dauerregistrierungen an Gesunden* gewonnen wurde, die wir gleichzeitig von verschiedenen

¹ Wir verweisen hier auf eine *Methode der Kurvenanalyse*, die von Grass und Gibbs mitgeteilt wurde, und die z. B. ergeben hat, daß mit α - (= 10/Sek.) und β -Wellen (= 20/Sek.) das „Frequenzspektrum“ nicht erschöpft ist.

² Diese decken sich weitgehend mit denen, die oben bei Ableitung an kranken Menschen mitgeteilt wurden.

³ Beziiglich der Abbildungen beschränken wir uns hauptsächlich auf Ableitungen von nur 2 Versuchspersonen, um aufzuzeigen, daß es sich nicht um individuelle Unterschiede handelt, sondern daß die Vielgestaltigkeit der Befunde

Regionen vorgenommen haben, sind wir in vielen Fällen in der Lage, aus einem Vergleich der Ableitungen zum mindestens *grob* den *Ort der*

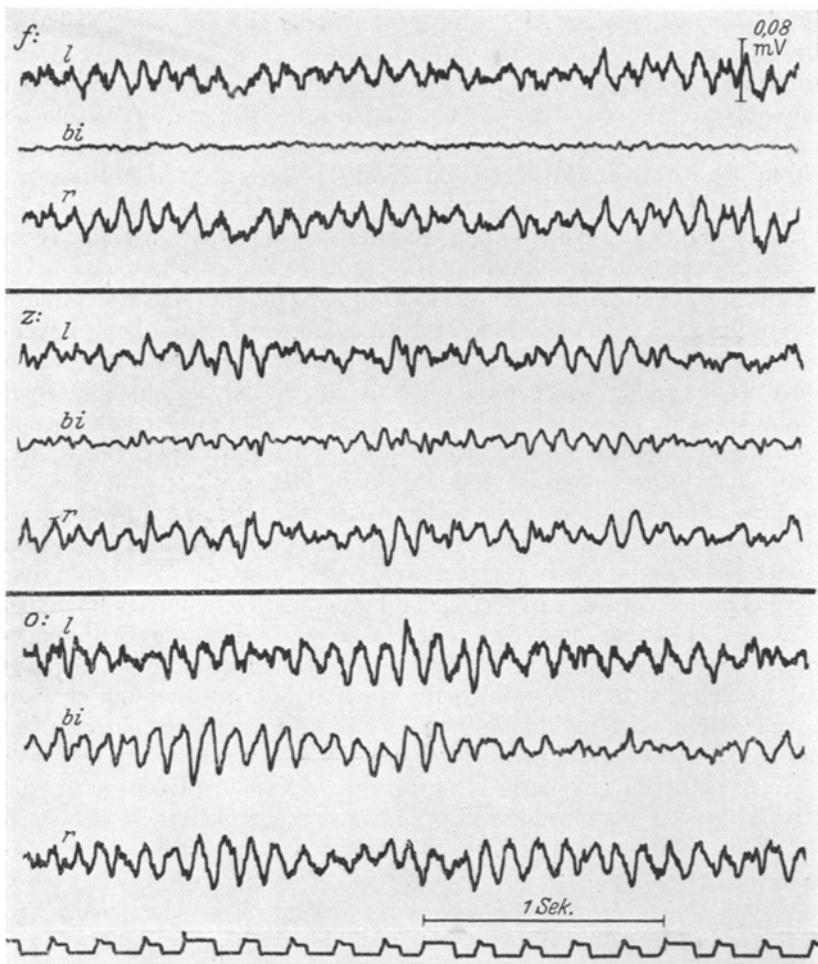


Abb. 5. Gleichzeitige uni- und bipolare Ableitungen von symmetrischen Punkten verschiedener Regionen. *f* frontal, *z* zentral, *o* occipital, *l* links, *r* rechts unipolar, *bi* bipolare Ableitung.

jeweiligen Ableitestelle anzugeben. Das soll an Hand der Abb. 5 gezeigt werden. Es handelt sich dabei um gleichzeitige bi- und unipolare *Registrierungen* von symmetrischen Stellen über der Frontal- (*f*), von ein- und derselben Versuchsperson gewonnen werden kann. Die einzelnen Befunde konnten an einer *Reihe anderer Versuchspersonen* reproduziert werden. Die Abb. 6 *B* und 7 *A* und *B* stammen von der Versuchsperson A. E. K. und alle übrigen von R. J., mit Ausnahme von Abb. 5, die von D. N. gewonnen wurde.

Zentral- (*z*) und Occipitalregion (*o*). Die Abstände aller Punkte von der Mittellinie sind gleich, die Registrierempfindlichkeit ist für alle Ableitungen dieselbe.

Die *frontale bipolare* Ableitung (*f bi*) läßt so gut wie keine Schwankungen erkennen. Die *bizentrale* (*z bi*) zeigt deutlich auswertbare Schwankungen. Diese haben zum Teil eine Frequenz von 10/Sek., zum Teil eine höhere. Die *bioccipitale* Ableitung (*o bi*) weist im Verhältnis zu den beiden bisherigen die größten Schwankungen auf. Es ergibt sich also in quantitativer Hinsicht beim *Vergleich* der bipolaren Ableitungen über den drei genannten Regionen ein ganz eindeutiger Unterschied¹. Wir haben diesen Befund bisher ausnahmslos an allen gesunden Versuchspersonen machen können.

Aus dem Befund der bipolaren Ableitung könnte nicht etwa der Schluß gezogen werden, daß frontal keine Potentialschwankungen vorhanden sind. Das Verhalten wird durch die entsprechenden unipolaren Ableitungen erklärt (s. Abb. 5 *f l* und *r*). Solche zeigen, daß auch frontal bei den meisten Versuchspersonen Schwankungen einer Frequenz von 10/Sek. vorhanden sind. Diese Schwankungen sind aber über beiden frontalen Ableitestellen gleichförmig und synchron, so daß sich bei bipolarer Ableitung zwischen beiden keine Spannungsdifferenz ergibt. Diese Tatsache muß als ein typischer Befund für die Frontalregion bezeichnet werden. Das Gegenstück dazu ergibt das Verhalten der Occipitalregion. Hier sind deutliche Potentialschwankungen auch bei bipolarer Ableitung dauernd nachweisbar, weil hier die Spannungsproduktion unter den symmetrischen Ableitestellen *nicht gleichförmig* und *synchron* ist. Die Zentralregion nimmt eine Mittelstellung ein. In diesem Zusammenhang kann auf weitere Einzelheiten nicht eingegangen werden (s. weiter unten).

Aber nicht nur bipolare, sondern auch *unipolare* Ableitungen, die gleichzeitig von verschiedenen Regionen vorgenommen werden, weisen bestimmte Unterschiede auf, die es bei genügender Erfahrung ermöglichen, zwischen einzelnen Ableitungsstellen zu unterscheiden.

Abb. 6 bringt auf *A* von einer normalen Versuchsperson gleichzeitige unipolare Registrierungen von der Kopfschwarte über der rechten Hirnhälfte, die frontal (*a*), parietal (*b*) und occipital (*c*) vorgenommen wurden. Occipital (*c*) zeigte sich die größte bioelektrische Aktivität. Das Bild wird beherrscht von Schwankungen einer Frequenz von 10/Sek., die fast *kontinuierlich* vorhanden sind. Frontal (*a*) ist demgegenüber ein eindeutig geringerer bioelektrischer Energiewechsel zu sehen. Schwankungen einer Frequenz von 10/Sek. sind nur selten und meist *in regel-*

¹ Damit sollen nur relative Unterschiede aufgezeigt werden und nicht etwa gesagt sein, daß man nicht gelegentlich auch bei bipolaren frontalen Ableitungen einzelner Versuchspersonen noch Schwankungen einer Frequenz von 10/Sek. sehen kann.

loser Folge festzustellen. Dafür aber heben sich Schwankungen einer Frequenz von 22/Sek. ab. Die parietale Ableitung (b) ähnelt zwar der occipitalen, doch ist ihr Gesamtbild gegenüber dem der occipitalen Ableitung unregelmäßiger.

B der Abb. 6 bringt von einer anderen Versuchsperson gleichzeitige unipolare Ableitungen über einer Hemisphäre, wobei die Elektroden präzentral (a), parietal (b) und occipital (c) lagen. Während occipital die bioelektrische Spannungsproduktion sozusagen kontinuierlich ist, sind auf der präzentralen Ableitung deutlichere *Schwankungen* der *Amplitudengröße* zu beobachten. Die Befunde von parietal nehmen diesbezüglich eine Mittelstellung ein.

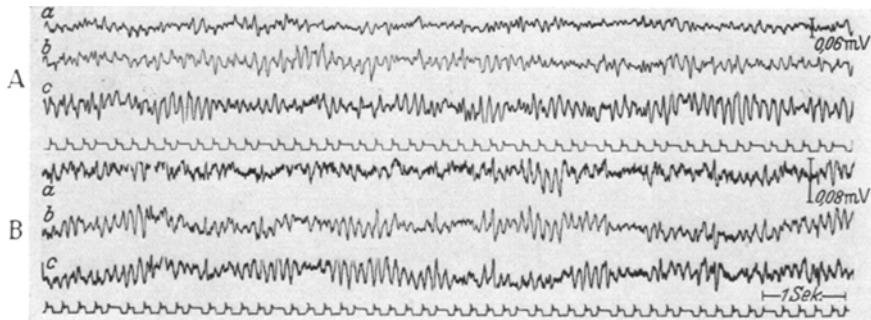


Abb. 6. Unipolare Ableitungen von 2 gesunden Versuchspersonen. *A* gleichzeitige Registrierung mit frontaler (a), parietaler (b) und occipitaler (c), *B* gleichzeitige Registrierung mit präzentraler (a), parietaler (b) und occipitaler (c) Elektrodenlage. Bei *A* lagen die Elektroden je 9 cm und bei *B* je 6 cm voneinander entfernt.

Es ergibt sich nun die *Frage*, ob diese groben örtlichen Unterschiede auf der Kopfschwarte Ausdruck einer örtlich unterschiedlichen Tätigkeit der jeweils unter den Elektroden liegenden Hirnrindengebiete sind. Es sei vorweggenommen, daß wir diese Frage *bejahen*. Die schwerwiegendsten Einwände müßten aus der Arbeitshypothese von Adrian, die wir deswegen weiter oben ausführlich referiert haben, hergeleitet werden. Deswegen wird die ausdrückliche *Darlegung* und *Begründung* unserer *Anschauung* gleichzeitig auch mit der *Nachprüfung* der Adrian-schen *Auffassung* verbunden.

Es wird zugegeben, daß die Auffassung Adrians mit vielen Tatsachen scheinbar im Einklang steht. Doch gibt es auch eine Reihe neuerer Befunde, denen die *Adriansche Anschauung* nicht mehr gerecht werden kann.

Wir verweisen zunächst auf alle oben mitgeteilten Ableitungen von Kranken (Abb. 1—3) und greifen zur Erläuterung als Beispiel nur den Befund des Kranken K. K. (Abb. 2) heraus. Nach Adrian besteht in jedem Augenblick von einem *Fokus* aus ein bestimmter *Potentialabfall*

nach *allen Richtungen* hin. Obgleich nun bei diesem Kranken das Gebiet des Hauptfokus (nach *Adrian*), der Occipitallappen, auf der rechten Seite krankhafterweise in seiner bioelektrischen Tätigkeit auffallend reduziert war, zeigten oral davon gelegene Gebiete eine auch bezüglich der Größe normale Tätigkeit. Diese Potentialschwankungen können also nicht vom Occipitallappen, dem Sitz des „Fokus“ (nach *Adrian*), stammen. Auch die an diesem Beispiel dargelegte relativ geringe Einstreuung von Potentialschwankungen der Umgebung in das Areal mit reduzierter Spannungsproduktion steht mit einer Grundlage der Auffassung des genannten Autors *nicht* im Einklang.

Bei unseren Untersuchungen über die hirnbioelektrischen Erscheinungen des gesunden Menschen haben wir auch die Elektrodenanordnung nach *Adrian* angewandt. Wir haben aber nicht über der Mittellinie abgeleitet, sondern über einer Hemisphäre¹ und haben außerdem zusätzlich andere Ableitungsarten angewendet. Der durch einen occipital gelegenen „Fokus“ bedingte *Potentialabfall* müßte sich bei *unipolaren* Ableitungen² selbstverständlich ebenfalls zeigen. Darauf weist *Adrian* selbst kurz hin (s. oben). Wir haben solche Ableitungen in größerem Umfange vorgenommen. Beispiele über das Ergebnis bringt die Abb. 7.

Für die Ableitungen von *A* und *B* der Abb. 7 wurden über der rechten Hemisphäre einer Versuchsperson von frontal bis occipital, 3 cm von der Mittellinie entfernt, 4 Punkte gewählt, die untereinander gleich weit entfernt waren. Siehe das Schema auf Abb. 7 rechts oben! Zunächst wurden die Empfindlichkeiten aller Registriersysteme einander vollkommen angeglichen. Der Eichstrich rechts oben gilt für sämtliche Kurven der Abb. 7 *A*, *B* und *C*. Dann wurde den Angaben von *Adrian* entsprechend gleichzeitig zwischen folgenden Paaren von Punkten bipolar abgeleitet (s. *A* der Abb. 7): 1—2, 2—3 und 3—4. Es ergab sich bezüglich der Amplitudengröße der von *Adrian* beschriebene Befund der *relativen* Potentialverteilung. Die frontale Ableitung 1—2 weist die kleinsten, die occipitale 3—4 die größten Spannungswerte auf. Die *unipolaren* Ableitungen der Abb. 7 *B* und *C* (letztere von einer anderen Versuchsperson als *A* und *B*) erbrachten aber einen Befund, der u. E. aufzeigt, daß die Potentialverteilung eine andere ist, als sie sich durch die Auswertung bipolarer Registrierungen (nach *Adrian*) *scheinbar* darstellt. Die Ermittlung einer Potentialverteilungskurve auf Grund der für die Spannungs-differenzen gefundenen Werte, wie es *Adrian* getan hat, hat die

¹ Die Mittellinie schien uns aus anatomischen Gründen (Sagittalnaht, Sinus longitudinalis superior und die Tatsache, daß die Hemisphären an der Mantelkante voneinander etwas entfernt sind) nicht so gut geeignet.

² Gegen die Verwendung *unipolarer* Ableitungen könnte eingewendet werden, daß diese möglicherweise nicht nur die Potentialschwankungen unter der differenten Elektrode und in einem kleinen Umkreis um diese erfaßt. Dazu ist zu bemerken, daß die Tatsachen einer solchen Anschauung widersprechen. Siehe *Kornmüller* und *Janzen* (1939).

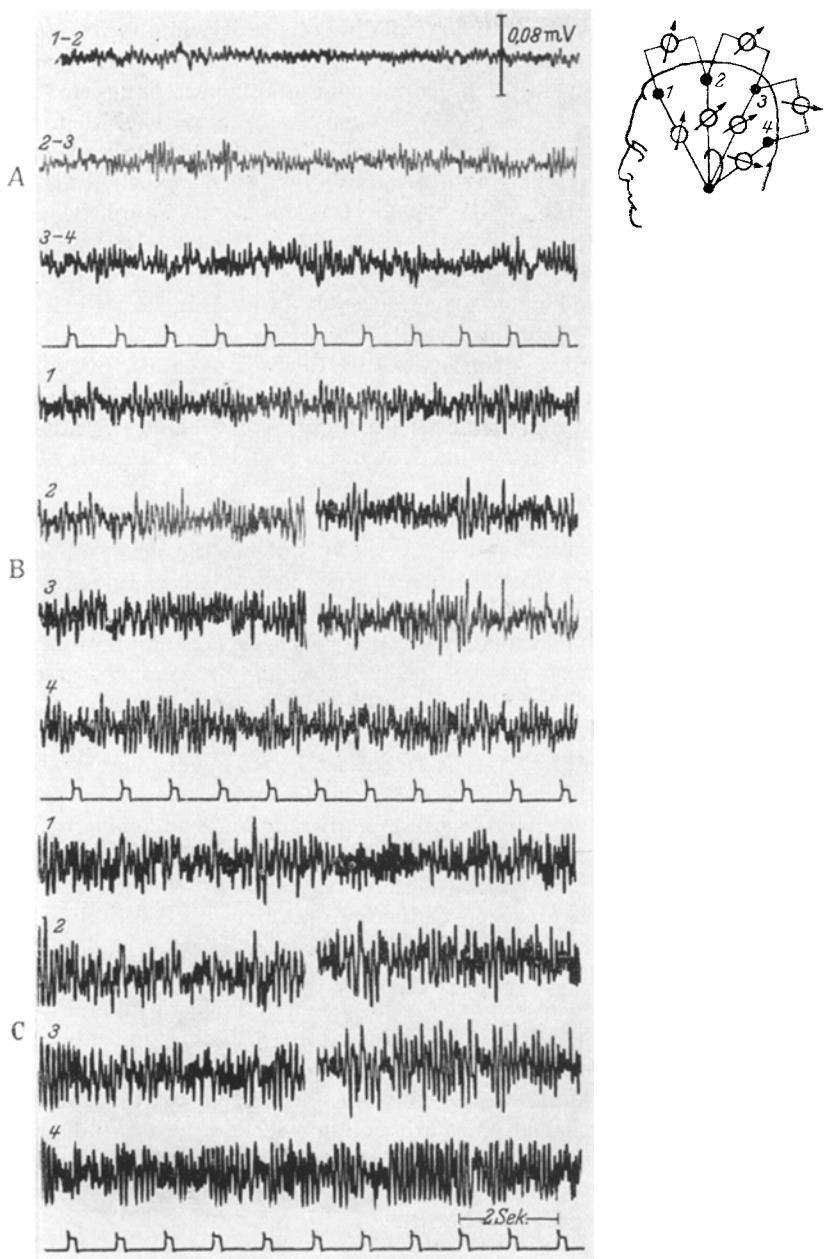


Abb. 7. Von einer gesunden Versuchsperson *A* Ableitungen nach Adrian und *B* unipolare Registrierungen von denselben Punkten. *C* wie *B*, jedoch von einer anderen Versuchsperson. Siehe dazu das Schema rechts oben! Benachbarte Ableitestellen hatten einen Abstand von 5,5 cm und lagen 3 cm von der Mittellinie entfernt.

Annahme zur Voraussetzung, daß die Potentialverteilung von *einem Fokus* herröhrt. Wäre diese Annahme richtig, so müßten die *unipolaren Ableitungen* die von *Adrian* beschriebene Potentialverteilungskurve ebenfalls ergeben.

B und *C* der Abb. 7 bringen *unipolare* Ableitungen von 2 Versuchspersonen. Es ergibt sich durch einen *Vergleich der Amplitudengrößen*¹, daß von occipital (4) bis frontal (1) kaum eine Amplitudenabnahme, d. h. so gut wie kein Potentialabfall stattfindet. Das Verhalten der Potentialdifferenz, wie man sie mit der *Adrianschen Anordnung* findet, erklärt sich, wie auch gleichzeitige bi- und unipolare Registrierungen zwischen den einzelnen Ableitepaaren ergaben, daraus, daß die Spannungsschwankungen über den beiden Ableitepunkten des Stirnhirns in der Form gleich und synchron verlaufen, so daß sie untereinander, also bei bipolarer Ableitung, keine Spannungs*differenz* ergeben. Mit dem auf Abb. 7 dargestellten Befund fällt u. E. eine der wichtigsten Stützen der Auffassung von *Adrian*.

Gelegentlich kann man zwar auch bei unipolaren Ableitungen frontal nur Potentialschwankungen verhältnismäßig kleiner Amplitude feststellen und Schwankungen einer Frequenz von etwa 10/Sek. mehr oder weniger vermissen. Dabei handelt es sich aber nach unseren Erfahrungen nicht so sehr um individuelle Besonderheiten, sondern wahrscheinlich um den Ausdruck verschiedener Zustände. An Versuchspersonen, von denen wir ausreichend lange und viele Registrierungen vorgenommen haben, konnten wir wiederholt feststellen, daß ein und dieselbe frontale Ableitestelle die besagten Potentialschwankungen manchmal aufwies und manchmal nicht. Eine Versuchsperson zeigte innerhalb einer Stunde einen solchen Wechsel, in diesem Falle möglicherweise in Zusammenhang mit den dabei angegebenen verschiedenen Graden von Müdigkeit.

Nach der *Adrianschen Auffassung* mußten die Schwankungen seiner bipolaren Ableitungen, von geringen denkbaren Sonderfällen abgesehen, von gleicher Frequenz und nur verschieden hinsichtlich *Amplitudengröße* und „*Phasenrichtung*“ sein, je nach Lage des Fokus. Der von *Adrian* angegebene typische Befund hinsichtlich Amplitude und Phase kann ohne Zweifel gemacht werden. Wir könnten eine Reihe von Beispielen dafür anführen. Es muß aber ausdrücklich festgestellt werden, daß es bei Durchsicht eines großen Materials auffällt, daß dieser Befund in typischer Form recht selten ist. Eine Begründung dieser Feststellungen ergibt sich weiter unten, wenn wir eine eingehendere Analyse des Kurvenmaterials vorgenommen haben.

¹ Da es hier nur auf die Amplitudengrößen ankommt, haben wir zur besseren Veranschaulichung eine geringe Papiergeschwindigkeit gewählt. Auf *B* und *C* ist die linke Hälfte von 2 und 3 gleichzeitig mit dem entsprechenden Stück von 1 registriert und die rechte Hälfte mit dem entsprechenden Teil von 4.

Zur Veranschaulichung des Gesagten bringen wir in Abb. 8 ein Beispiel. Es wurde nach *Adrian* zwischen den Punkten 1—2, 2—3 und 3—4 abgeleitet. Die auffälligen *Frequenzunterschiede* zwischen den drei gleichzeitig gewonnenen Kurven lässt es neben anderem schwer,

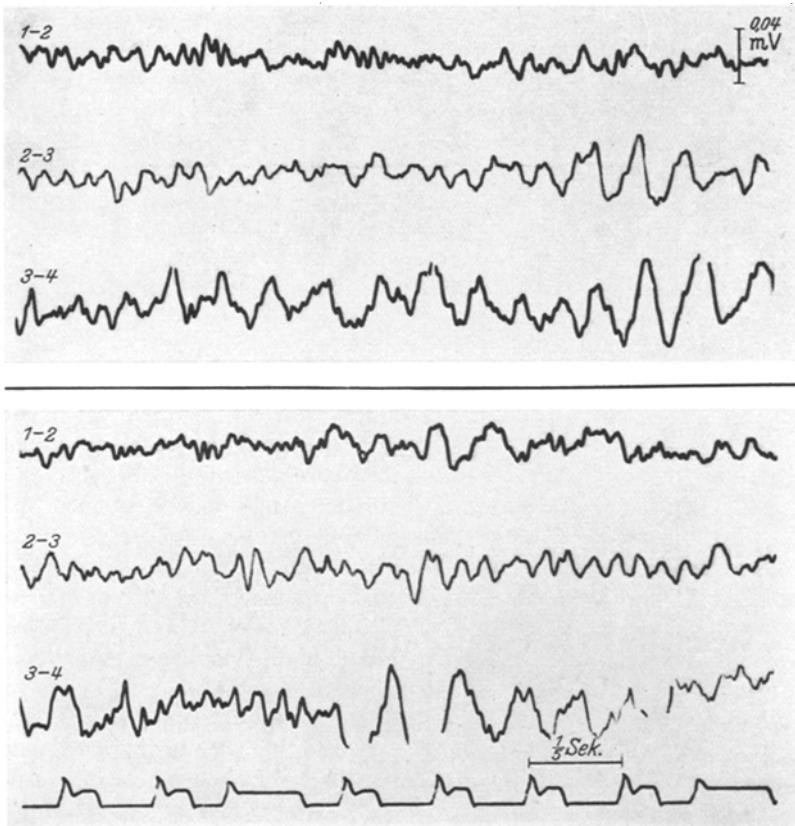


Abb. 8. Registrierungen mit der Elektrodenanordnung nach *Adrian*, die deutliche Frequenzunterschiede zwischen den Abläufen verschiedener Regionen ergeben. Ableitepunkte wie auf Abb. 7 oben rechts. Der Abstand benachbarter Elektroden betrug je 7 cm.

ja unmöglich, werden, diese durch die Annahme der Auswirkung eines Fokus oder einer *Fokuswanderung* zu erklären. Es wird das typische Bild, das *Adrian* zum Ausgangspunkt der Auswertung seines Materials genommen hat, vermißt. Man vergleiche vor allem die *raschen* Schwankungen über 1—2 mit den großen *trägen* Abläufen über 3—4 und die in ihrer Frequenz zwischen beiden stehenden Wellen auf 2—3!

Unter Zugrundelegung der *Adrianschen* Auffassung müßten *unipolare* Ableitungen, die *gleichzeitig* von mehreren Stellen vorgenommen werden,

in jedem Augenblick Schwankungen gleicher Richtung und Frequenz bei der Annahme eines Fokus in einer bestimmten Region ergeben. Es zeigte sich aber in einzelnen Fällen, daß auch bei unipolarer Ableitung „analoge“ Schwankungen *umgekehrte Polarität* hatten. Ein Beispiel hierfür bringt Abb. 9. Siehe z. B. die Richtung der Schwankungen, die durch Pfeile markiert sind. Auch dieses Verhalten ist durch die Annahme der „physischen Streuung“ von *einem Fokus* aus nicht verständlich.

Die von uns verwendete Kombination *gleichzeitiger* uni- und bipolarer Ableitungen gestattet bei der Analyse der hirnbiologischen Erscheinungen im Gegensatz zu bipolaren allein 1. die *Spannungswerte der einzelnen Punkte* an sich (und nicht nur Differenzen) und 2. *zeitliche Unterschiede* zwischen den Potentialsschwankungen der einzelnen

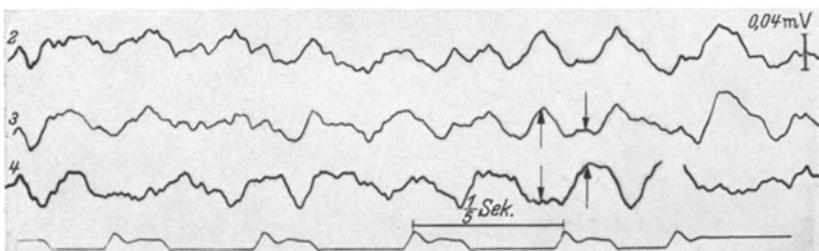


Abb. 9. Unipolare Ableitungen von 3 Punkten der Kopfschwarte, die teilweise Schwankungen umgekehrter Polarität aufweisen. Bezüglich Elektrodenlagen siehe Abb. 10—12 oben. Der Abstand benachbarter Elektroden betrug je 7 cm.

Ableitestellen zu erfassen. Auf Grund dieser Kriterien und deren Kombination ergeben sich ganz neuartige Feststellungen, die 1. eine *Differenzierung der hirnbiologischen Erscheinungen auf der Kopfschwarte* in einem wohl kaum geahnten Maße aufzeigen und 2. darüber hinaus *Einblicke in den Mechanismus der Erregungsabläufe* innerhalb der bei Ableitung durch die Kopfschwarte erfaßbaren *Hirnrinde* ermöglichen. Wir lassen eine Reihe von Abbildungen folgen, die vor der Hand zur Einführung nur eine grobe Vorstellung darüber vermitteln sollen.

Wir verzichten hier darauf, ein Beispiel von zwei frontalen Ableitestellen über *derselben* Hemisphäre zu bringen, um zu zeigen, daß deren *Potentialsschwankungen synchron und gleichartig* hinsichtlich der biologischen Abläufe (und darum wohl auch des Erregungsmechanismus) sind und darum auf der bipolaren Ableitung so gut wie keine Potentialsschwankungen erkennen lassen. Es ergibt sich dabei ein ähnliches Bild, wie es auf Abb. 5 von zwei symmetrischen Punkten über der Frontalregion *beider* Hirnhälften gezeigt wurde.

Zeitliche Verschiebungen ähnlicher Potentialsschwankungen über zwei verschiedenen Ableitestellen bringt Abb. 10. Man vergleiche mit Hilfe der eingezzeichneten Koinzidenzlinien die Anfänge der Potentialsswan-

kungen der unipolaren Ableitungen 3 und 4! 3 liegt parietal und 4 occipital (s. Schema!). Das zeitliche Verhältnis zwischen den Anfängen der ersten drei markierten Schwankungen ist weitgehend gleich und

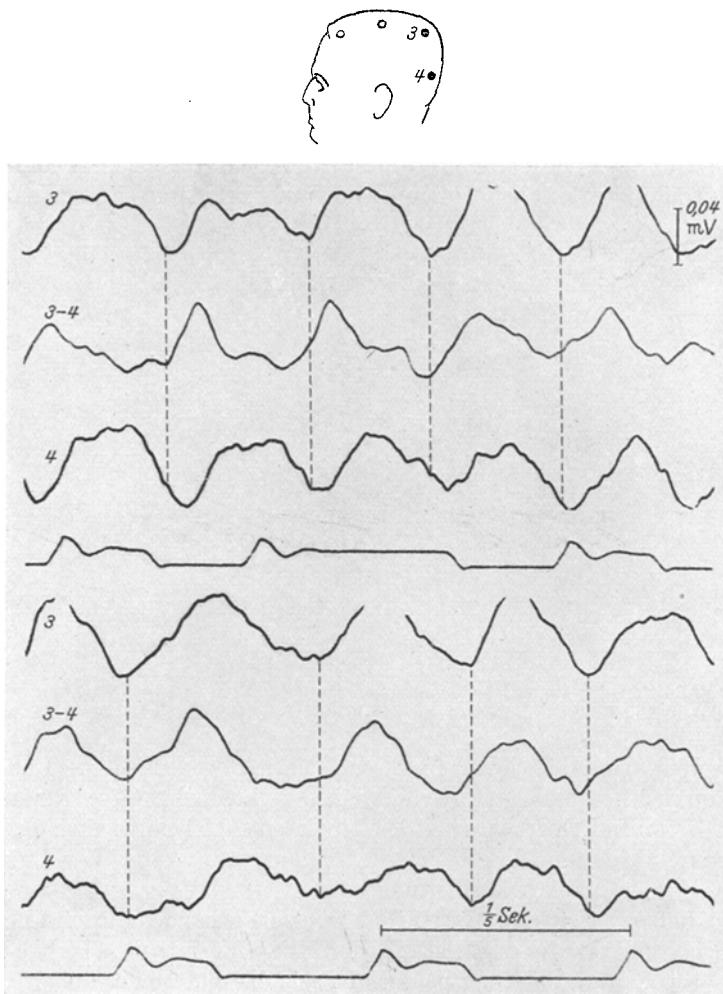


Abb. 10. Zeitliche Verschiebung ähnlicher Potentialschwankungen über 2 Ableitestellen.
Der Abstand der beiden Elektroden betrug 7 cm.

in der Folge wechselnd. Diese zeitlichen Unterschiede sind neben quantitativen und solchen der Kurvenform der Grund dafür, daß die bipolare Registrierung ausgeprägte Schwankungen aufweist.

Bestanden also zwischen den Punkten 3 und 4 schon deutliche Unterschiede in der bioelektrischen Tätigkeit, so wird dies noch augenfälliger,

wenn wir den Punkt 4 mit 2 vergleichen, wovon Abb. 11 ein Beispiel bringt. Auf Grund der obigen Ausführungen über die bipolaren Ableitungen ergibt sich dies eigentlich schon aus dem Bild der bipolaren Ableitung 2—4, wenn man berücksichtigt, daß für alle 3 Kurven die gleiche Registrierempfindlichkeit bestand. Die Potentialschwankungen der Ableitung 2—4 sind nämlich an Amplitudenwerten durchschnittlich wesentlich größer als die der unipolaren Registrierungen 2 und 4. Bei grober Betrachtung lassen die (gleich gepolten) unipolaren Ableitungen 2 und 4 keine Parallelität in ihrem Verlauf erkennen. Die Potentialschwankungen haben offenbar kaum Beziehungen zueinander.

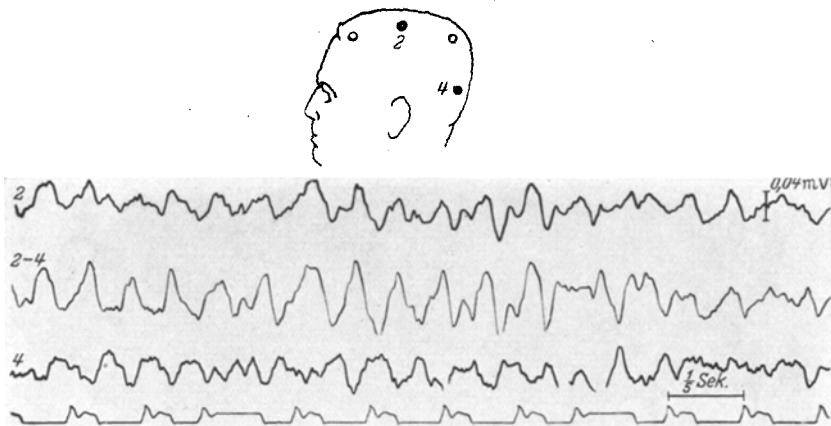


Abb. 11. Addition der Potentialschwankungen zweier Stellen in ihrer Wirkung auf den bipolaren Ableitekreis. Der Abstand der beiden Ableiteelektroden betrug 14 cm.

Stellenweise sind sie sogar in ihrer Polarität gegensinnig. Dadurch und durch den fehlenden Synchronismus kommen diese auffallend großen Potentialschwankungen der bipolaren Ableitung zustande, und zwar durch *Addition der Potentialschwankungen* in ihrer Wirkung auf den Kreis der bipolaren Ableitung.

Wir haben bisher reine Beispiele über das Vorhandensein und Fehlen von Synchronismus und Gleichheit der Kurvenform gebracht. Bei der Wahl bestimmter Ableitungspaare läßt sich bei genügend langen Registrierungen leicht ein *zeitlicher Wechsel dieser Befunde* zeigen.

Auf Abb. 12 fällt auf, daß die beiden unipolaren Ableitungen kontinuierliche Spannungsschwankungen ergeben (2 und 3), während gleichzeitig die entsprechende bipolare Ableitung in ihrem Verhalten wechselt. Zeitweilig sind deutliche Schwankungen zu sehen (oben und rechts unten), zeitweilig besteht eine deutliche „Reduktion“ der Amplituden. Letzteres zeigt an, daß zu dieser Zeit die Potentialschwankungen unter den beiden Ableitepunkten nach Kurvenform, Amplitudengröße und hinsichtlich

der zeitlichen Verhältnisse vollständig gleich wurden. Dieses eindringliche Beispiel soll zeigen, daß sich innerhalb kurzer Zeiträume das Verhältnis der Spannungsproduktion zweier Stellen zueinander ändern kann. Man wird durch Auswertung solcher Befunde im Laufe der Zeit

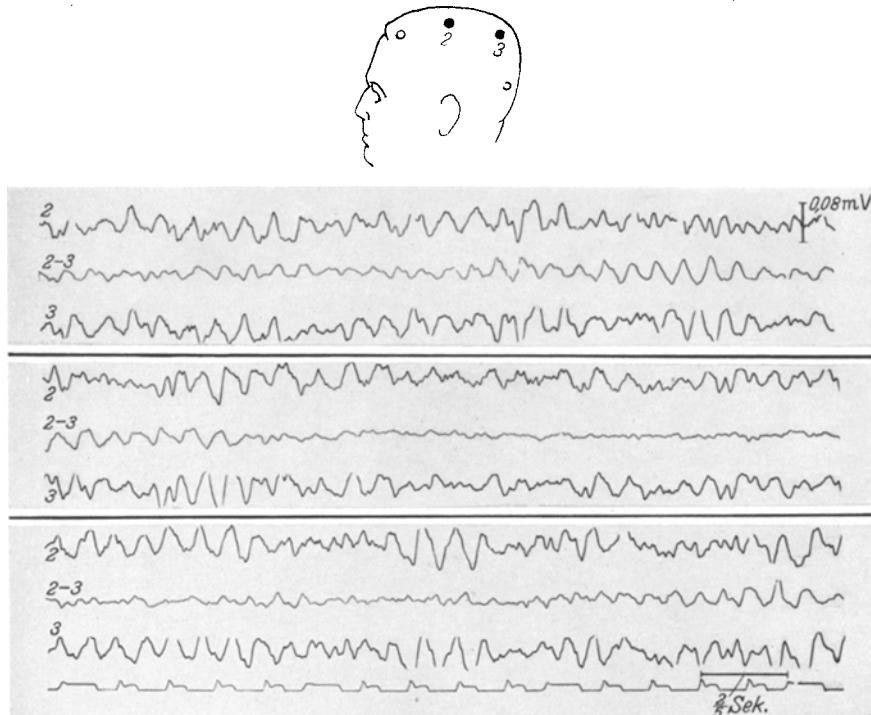


Abb. 12. Zeitlich wechselnd Gleichheit und Ungleichheit der Potentialschwankungen zweier Stellen. Siehe Text! Der Abstand der beiden Ableitepunkte betrug 5,5 cm.

zu sehr komplizierten Bildern über die *Erregungsmechanismen* in der Hirnrinde gelangen.

Die auf den Abb. 5 f und 8—12 mitgeteilten Befunde zur Darstellung der *Kriterien über die Beziehungen des bioelektrischen Verhaltens von je zwei Ableitestellen zueinander* können jederzeit leicht reproduziert werden. Sie enthalten gleichzeitig eine gewisse *Kennzeichnung örtlicher Unterschiede der normalen hirnbioelektrischen Erscheinungen* des Menschen bei Ableitung durch die Kopfschwarte. Ohne eine endgültige Gliederung schon hier mitteilen zu können, kann aber folgendes festgestellt werden: Den Befund der Gleichheit hinsichtlich der zeitlichen und quantitativen Verhältnisse kann man mit Regelmäßigkeit über vorderen Teilen des *Frontalhirns* erheben. Dies gilt sowohl für symmetrische frontale Punkte beider Hemisphären (Abb. 5) als auch für solche

frontalen Stellen, die über einer Hirnhälfte liegen. Der Befund der *anhaltenden Unterschiede*, vor allem hinsichtlich des *zeitlichen Verhaltens* (Abb. 10), ist typisch für Ableitungen über dem *Occipitallappen*. Auffällige Unterschiede sowohl in quantitativer als auch in zeitlicher Hinsicht ergibt der *Vergleich occipitaler Hirnstellen* einerseits mit *parietalen* und *zentralen* Punkten andererseits (Abb. 10 und 11).

Die zuletzt mitgeteilten Befunde, vor allem diejenigen der unipolaren lokalisierten Ableitungen, zeigen, daß die Voraussetzung für die Auffassung von *Berger* und *Adrian*, nämlich, daß das bioelektrische Bild über allen Teilen der Kopfschwarte oder zumindestens über einer Hemisphäre (*Adrian*) weitgehend homogen sei, nicht zutrifft. Dieses zusammen mit der Tatsache, daß eine physikalische Streuung nur innerhalb enger Grenzen vorhanden ist, läßt erkennen, daß man über den *einzelnen Stellen der Kopfschwarte* hauptsächlich die *bioelektrische Tätigkeit der jeweils unter der Elektrode liegenden Hirnrindenstelle* erfaßt. Diese Tätigkeit hat sich nicht als gleichartig schon über der methodisch erfaßbaren Hirnrinde gezeigt. An Hand von Befunden konnte dargelegt werden, daß sich aus gleichzeitigen Registrierungen von mehreren Stellen Feststellungen über die Beziehungen der *Erregungsabläufe* der verschiedenen Rindenstellen untereinander treffen lassen. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen von *Adrian* und den hier mitgeteilten betrifft nicht so sehr die *Befunde*, die wesentlich erweitert werden konnten, sondern die *Deutung* derselben. *Adrian* war bestrebt, alle Erscheinungen als Auswirkungen der bioelektrischen Spannungsproduktion *eines* (ruhenden oder wandernden) Fokus zu deuten. Während dies bei scheinbarer Gleichheit der hirnbioelektrischen Erscheinungen über verschiedenen Regionen naheliegend ist, ist eine solche Deutung bei *Unregelmäßigkeit* der Bilder *gleichzeitiger* Ableitungen über verschiedenen Regionen, wie sie *Adrian* selbst beschrieben hat, schwierig und nur mit komplizierten Hilfsannahmen möglich (z. B. Fokuswanderung während der Dauer einer Einzelentladung). Demgegenüber ließen die hier neu mitgeteilten Befunde (mittels gleichzeitiger bi- und unipolarer Ableitung gewonnen) erkennen, daß solche Unregelmäßigkeiten der Bilder bipolarer Ableitungen, auf welche sich *Adrian* stützt, der Ausdruck *unterschiedlicher Tätigkeit* unter den einzelnen Ableitepunkten sind.¹

Die hier vorgelegten Befunde entwerfen bezüglich der hirnbioelektrischen Potentialschwankungen des gesunden Menschen in groben Zügen ein Bild, das uns eine große *Kompliziertheit* vor Augen führt und uns warnen muß, diese Erscheinungen schon jetzt als weitgehend erforscht anzusehen. Bei diesem Sachverhalt scheint es uns nötig, alle Versuche

¹ Auf Grundlage der hier mitgeteilten Befunde und Anschauungen wird Kornmüller demnächst darüber berichten, daß auch zwischen den *hirnbioelektrischen Erscheinungen* des Menschen einerseits und *faseranatomischen* und *architektonischen Tatsachen* andererseits Beziehungen bestehen.

als verfrüh zu bezeichnen, die darauf hinzielen, auf Grund schematisierter Voraussetzungen bestimmten Wellen des Elektrenkephalogramms bestimmte komplexe Funktionen zuzuordnen. So kommt z. B. Rohracher zu dem „Schluß, daß der Gehirnvorgang, der den α -Wellen zugrunde liegt, ein vegetativer Prozeß“ sei und daß „die β -Wellen die elektrischen Auswirkungen der Erregungsvorgänge in den Gehirnzellen, jener Vorgänge also, die sich in unserem Gehirn auch während der psychischen Prozesse abspielen“, sind (Gemelli). Auf die Versuche derartiger Zuordnungen wird erst in einer späteren Mitteilung eingegangen, obgleich die hier mitgeteilten Befunde, teilweise im Zusammenhang mit bekannten Ergebnissen der Hirnforschung, auch jetzt schon eine kritische Stellungnahme dazu erlaubten.

Zusammenfassung.

1. Von einer bestimmten Stelle der Kopfschwarte werden innerhalb relativ enger Grenzen nur Potential Schwankungen der darunterliegenden Hirnrindenstelle erfaßt.

a) Dementsprechend gibt die nach Angaben Bergers gebrauchte fronto-occipitale Ableitung lediglich die bioelektrische Tätigkeit der beiden Ableitestellen wieder. Liegt die frontale Elektrode z. B. über der Stirnhöhle („inaktiv“), so wird mit der besagten Elektrodenanordnung so gut wie ausschließlich die bioelektrische Tätigkeit der Hirnrinde unter der gewählten occipitalen Stelle erfaßt.

b) Durch die Tatsache, daß man von einer bestimmten Stelle der Kopfschwarte nur die bioelektrische Tätigkeit eines umschriebenen Gebietes der darunterliegenden Hirnrinde erfaßt, wird auch die Adrian-sche Auffassung, daß sich ein occipital befindlicher Fokus über weite Strecken der Kopfschwarte auswirkt, einer wesentlichen Voraussetzung beraubt. Eine ins einzelne gehende Begründung wurde oben gegeben.

2. Auf Grund der hier mitgeteilten Kriterien war es möglich, eine nach den bisherigen Auffassungen nicht zu erwartende Differenzierung der hirnbioelektrischen Erscheinungen, die von der Kopfschwarte ableitbar sind, in ihren Grundzügen aufzuzeigen. Diese kann nur als Ausdruck dafür aufgefaßt werden, daß auch auf der Hirnrinde eine bioelektrische Differenzierung besteht. Die hier für einzelne Regionen durch neu ermittelte Tatsachen aufgezeigten Eigentümlichkeiten des hirnbioelektrischen Verhaltens erhellen auch Befunde, die von anderen Autoren bisher durch komplizierte Hilfsannahmen gedeutet wurden (z. B. Fokuswechsel).

3. Über die Erfassung örtlicher Unterschiede hinaus konnten Ansätze zur Ermittlung von Unterschieden im Mechanismus der Erregungs-abläufe auf der bei Ableitung durch die Kopfschwarte erfaßbaren normal-tätigen Hirnrinde aufgezeigt werden.

4. Es wurde bestätigt, daß *bezüglich der Frequenzen keine auffälligen Unterschiede* in den auf der Kopfschwarte erfaßbaren hirnbiologischen Potentialschwankungen *bei grober Betrachtung* erkennbar sind. Gleichzeitig wurde aber ausgeführt, daß dies nicht dem Satz der Struktur spezifität hirnbiologischer Erscheinungen widerspricht. Bei grober Betrachtung lassen scheinbar ähnliche Schwankungen auf Grund der mitgeteilten Befunde verschiedene Ursprungsorte und bei genauerer Analyse auch Unterschiede in der Kurvenform erkennen. Die *Bedeutung der Erfassung zeitlicher und quantitativer Unterschiede in den Potential schwankungen über den verschiedenen Regionen* wurde mehrfach aufgezeigt und hervorgehoben.

5. Durch diese neuen Befunde konnten die Widersprüche aufgeklärt werden, die zwischen den bisherigen Anschauungen über die *bioelektrischen Erscheinungen der Hirnrinde des gesunden Menschen* und den neueren *Befunden an Hirnkranken, sowie den Ergebnissen der tierexperimentellen Untersuchungen* bestanden. Damit ist eine *einheitliche Auffassung über die hirnbiologischen Erscheinungen* überhaupt gegeben.

Schrifttum.

- Adrian, E. D. and B. H. C. Matthews:* J. of Physiol. **80**, 1 (1933). — *Adrian, E. D. and K. Yamagiwa:* Brain **58**, 323 (1935). — *Berger, H.:* Arch. f. Psychiatr. 1929—1938; z. B. **98**, 231 (1932); **102**, 538 (1934); **104**, 678 (1936); **108**, 407 (1938). *Bremer, F.:* Kongreßber. II, XVI. Internat. Physiol.-Kongreß Zürich 1938, S. 224. *Drohocki, Z.:* Pflügers Arch. **239**, 658 (1937). — Warszaw. Czas. lek. **15**, Nr 11, 11 (1938). — *Dusser de Barenne, J. G.:* Bumke-Foersters Handbuch der Neurologie, Bd. II, S. 268. 1937. — *Economio, C. von:* Zellaufbau der Großhirnrinde des Menschen. Berlin: Julius Springer 1927. — *Foerster, O. u. H. Altenburger:* Dtsch. Z. Nervenheilk. **135**, 277 (1935). — *Gemelli, A.:* Kongreßber. III, XVI. Internat. Physiol.-Kongreß Zürich 1938, S. 22. — *Gibbs, F. A.:* Kongreßber. II, XVI. Internat. Physiol.-Kongreß Zürich 1938, S. 380. — *Gibbs, F. A., E. L. Gibbs and W. G. Lennox:* Arch. of Neur. **36**, 1225 (1936). — *Janzen, R. u. A. E. Kornmüller:* Psychiatr.-neur. Wschr. **1939 I**, 5. — Arch. f. Psychiatr. **109**, 247 (1939). — *Jasper, H. H. and H. L. Andrews:* Arch. of Neur. **14**, 98 (1936); **39**, 96 (1938). — *Jasper, H. H. and W. A. Hawke:* Arch. of Neur. **39**, 885 (1938). — *Kornmüller, A. E.:* Psychiatr.-neur. Wschr. **1932 III**, 25. — Dtsch. Z. Nervenheilk. **130**, 44 (1933 a). — Fortschr. Neur. **5**, 419 (1933 b); **7**, 391, 414 (1935 a). — Biol. Rev. Cambridge philos. Soc. **10**, 383 (1935 b). — Die bioelektrischen Erscheinungen der Hirnrindenfelder. Leipzig: Georg Thieme 1937. — *Kornmüller, A. E. u. R. Janzen:* Ber. Tagg. Ges. dtsch. Neur. u. Psychiater Köln 1938. — Z. Neur. **166**, 287 (1939). — *Kornmüller, A. E. u. J. A. Schaeder:* J. of Neurophysiol. **1**, 287 (1938). — *Loomis, A. L., E. N. Harvey and G. H. Hobart:* J. of Neurophysiol. **1**, 413 (1939). — *Tönnies, J. F.:* Naturwiss. **22**, 411 (1934).