

Über das Elektrenkephalogramm des Menschen.

Vierte Mitteilung.

Von

Hans Berger, Jena.

Mit 14 Textabbildungen.

(Eingegangen am 16. Dezember 1931.)

Ich hatte bei meinen bisher mitgeteilten Untersuchungen mit dem Saitengalvanometer und vor allem mit dem *Siemensschen* Doppelspulg galvanometer gearbeitet. Seit einigen Monaten steht mir ein Oszillographensystem mit Verstärkereinrichtung, das von Siemens und Halske eigens für meine Zwecke gebaut wurde, zur Verfügung¹, mit dem ich meine Untersuchungen über das Elektrenkephalogramm des Menschen nunmehr weitergeführt habe. Das neue Galvanometer, wie ich es kurz nennen will, hat den großen Vorzug, daß es eine unmittelbare Messung der Spannung und nicht, wie das bisher benützte Spulengalvanometer, nur die der Stromstärke gestattet. Es besteht ferner eine proportionale Zunahme der Kurvenhöhe entsprechend der Zunahme der Spannung. Bei dem großen im Instrument vorhandenen Widerstand kann praktisch der Widerstand am Schädel ganz vernachlässigt werden. Nach den an anderer Stelle² von Herrn Dr. *Dietsch*, meinem physikalischen Mitarbeiter, ausführlich mitgeteilten Meßverfahren, dessen Ausbau Herr *Wien* angeregt hatte, konnte festgestellt werden, daß der Widerstand am Schädel sich zu dem im Oszillographen etwa wie 1:40 verhält. Daher sind auch die bei gleicher Eichstellung des Oszillographen aufgenommenen Elektrenkephalogramme verschiedener Menschen nunmehr vergleichbar.

¹ Der *Carl Zeiß-Stiftung* verdanke ich die Möglichkeit der Anschaffung dieses wertvollen Instrumentes, wofür ich auch hier den maßgebenden Herren meinen herzlichen Dank ausspreche. Ferner bin ich Herrn *Wien* für das Interesse, das er meinen Untersuchungen entgegengebracht, und seinen sachverständigen Rat, Herrn *Esau* für die Auswahl eines geeigneten jungen Physikers als Mitarbeiters bei meinen Untersuchungen und für zahlreiche Unterstützungen, die mir von dem von ihm geleiteten Physikalisch-Technischen Institut der Universität zuteil wurden, zu großem Danke verpflichtet. Wie bei allen, nunmehr seit über 7 Jahren laufenden Untersuchungen, hat Herr *Hilpert* auch bei diesen mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden, wofür ich ihm herzlich danke.

² *Dietsch*: Pflügers Arch. 228, 644 (1931).

Jedoch hat das neue Galvanometer¹ gegenüber dem Spulengalvanometer den einen großen Nachteil, daß während des Arbeitens die Empfindlichkeit ziemlich rasch nachläßt und somit die im Beginn aufgenommene Eichkurve nicht für die ganze Zeit der Aufnahme maßgebend bleibt. Es müssen immer wieder neue Eichkurven zwischen die einzelnen Aufnahmen eingeschoben werden. Ich hoffe, daß sich dies bei etwas verbesserter Anordnung vermeiden lassen wird. Bis jetzt habe ich doch noch immer vorsichtshalber den Widerstand bei den einzelnen Aufnahmen messen lassen. Der an sich geringen Gefahr der Polarisierung bei den ziemlich raschen Perioden des Wechselstromes, der dem Elektrenkephalogramm (E.E.G.) entspricht, wurde wie bisher mit Silbernadeln, die einen Chlorsilberüberzug trugen, begegnet. Die Nadeln wurden stets unter die Haut, wenn möglich bis unter das Periost des Schädels eingeführt, was natürlich nur unter der Anwendung von Lokalanästhesie möglich war. Ein anderer Nachteil des neuen Galvanometers, der aber andererseits auch seinen Vorzug darstellt, ist seine hohe Empfindlichkeit. Es müssen natürlich die Röntgenapparate, namentlich auch die Diathermieapparate, selbst wenn sie sich in von dem Untersuchungszimmer räumlich getrennten Häusern der Klinik befinden, ferner auch alle elektrischen Maschinen, wie sie z. B. beim Waschen verwendet werden, während der Aufnahme des E.E.G. abgestellt werden. Abgesehen davon hat sich der Einbau weitgehender Störungsschutzvorrichtungen in den Lichtleitungen usw. nötig gemacht. Bei der Aufnahme selbst, wobei die Versuchsperson und der Aufnahmeapparat in getrennten Zimmern untergebracht sind, müssen alle elektrischen Signale vermieden und durch rein mechanische Vorrichtungen ersetzt werden. Die große Empfindlichkeit des Galvanometers bringt es auch mit sich, daß die Auswahl geeigneter Kranker eine beschränkte ist, da durch Bewegungen der Kranken, wenn sie an das Galvanometer angeschlossen sind, sofort der Lichtpunkt aus der Aufnahmefläche herauspringt. Trotzdem stellt dieses Oszillographensystem eine so weitgehende Verbesserung dar, daß ich hier einige damit aufgenommenen E.E.G.s mitteilen möchte.

Abb. 1 zeigt ein so gewonnenes E.E.G. Es rührt von meiner 14jährigen Tochter Ilse her und ist von der linken Stirn und dem rechten Hinterhaupt abgeleitet, und zwar wie immer mittels chlorierter Silbernadeln, über die ich bereits früher ausführlich berichtet habe. Das zu oberst geschriebene Elektrokardiogramm (E.K.G.) ist von beiden Armen mit Bleifolien abgeleitet. I. liegt mit geschlossenen Augen in einem leicht verdunkelten Zimmer, von dem auch, so weit das in einer Klinik eben möglich ist, durch Doppeltüren usw. die Geräusche möglichst ferngehalten werden. Die Abbildung stellt eine erhebliche Verkleinerung

¹ Dasselbe vermag alle physiologisch überhaupt vorkommenden Stromschwankungen, auch diejenigen von größter Geschwindigkeit wie die schnellsten Muskelströme, zur Darstellung zu bringen.

der Originalkurve dar, auf der die Ausschläge des E.E.G. durchschnittlich 74 mm betragen. Man sieht sehr schön die großen Wellen 1. Ordnung, die ich als Alpha-Wellen (α -W.) bezeichnet habe; sie sind fast alle genau gleich lang und zeigen hier eine durchschnittliche Länge von 95 σ . Ihnen aufgesetzt sind die kleineren Zacken zu erkennen, zuweilen auch nur als leichte Verdickungen des auf- oder absteigenden Schenkels der α -W., die Wellen 2. Ordnung, von mir als Beta-Wellen (β -W.) bezeichnet. Diese mit dem Oszillographensystem aufgenommene Kurve von I. entspricht genau den von ihr mit dem Doppelspulengalvanometer gewonnenen E.E.G.s; nur sind eben die Ausschläge wesentlich höhere.

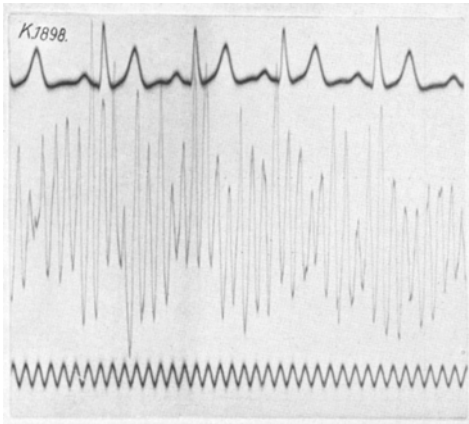


Abb. 1. J. B., 14 Jahre alt. Oben E.K.G. abgeleitet von beiden Armen (Spulengalvanometer), darunter E.E.G. abgeleitet mit chlorierten Silbernadeln von Stirn und Hinterhaupt (Oszillograph), zu unterst Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek.

Man könnte mit Leichtigkeit durch Einstellung einer größeren Empfindlichkeit das E.E.G. noch wesentlich höher zur Darstellung bringen. Natürlich fliegt aber dann auch der Lichtpunkt bei jeder kleinen Störung um so leichter aus dem Aufnahmeapparat heraus, so daß man sich meist mit einer niedrigeren Empfindlichkeit begnügen wird.

Eine Ableitung von der Oberfläche der Dura ergibt genau die gleiche Kurve, wie dies Abb. 2 zeigt. Sie rührt von einem 33jährigen Mann M. M. her, bei dem

wegen Tumorverdachts ein Vierteljahr vor der Aufnahme eine große, von der Stirn bis in die Parietalgegend reichende Palliativtrepanation ausgeführt worden war. M. bot zur Zeit der Aufnahme keinerlei Hirndruckerscheinungen dar, und die Stelle der Palliativtrepanation war deutlich unter die Fläche des übrigen Schädels eingesunken. Eine Bestrahlung oder dergleichen hatte nicht stattgefunden. Bei der Operation selbst hatte die an der Trepanationsstelle vorliegende Großhirnrindenoberfläche ein völlig normales Aussehen dargeboten. Es wurde bei der Aufnahme von 2 in dem mittleren Teil der Schädelücke gelegenen, 4,5 cm voneinander entfernten Stellen mit chlorierten Silbernadeln abgeleitet, die durch die Haut hindurchgeführt und bis auf die unmittelbar darunter liegende Dura vorgeschoben waren. Man sieht an der wiedergegebenen Kurve die großen α -W., die eine durchschnittliche Länge von 110 σ haben und eine Spannungsschwankung von 0,2 m. V. zeigen. Die Gleichheit der hier von der Dura und der auf Abb. 1 von

dem unversehrten Schädel abgeleiteten Kurven ist sofort erkennbar. Wenn nach all meinen früheren Ausführungen es noch eines Beweises bedürfte, daß die von dem unversehrten Schädel abgeleitete Kurve mit dem von der Dura oder der Großhirnrinde selbst (3. Mitteilung, Abb. 30) abgeleiteten E.E.G. identisch ist, so würde er durch diese Kurve erbracht.

Auf die Veränderungen des E.E.G. unter der Einwirkung von *Sinnesreizen* bin ich schon in meiner zweiten Mitteilung ausführlich eingegangen. Da ich jedoch gerade in diesem Punkt nicht immer richtig verstanden

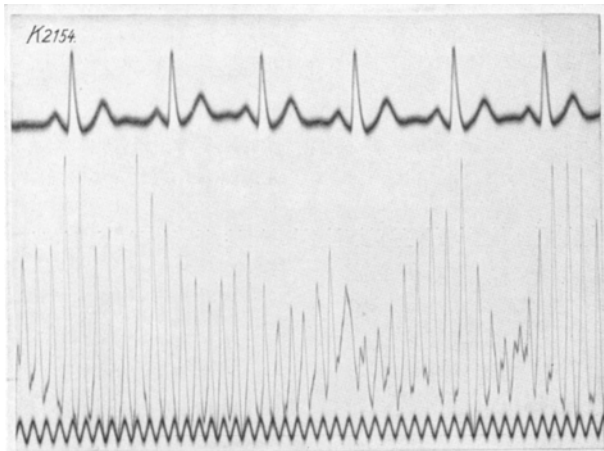


Abb. 2. M. M., 33jähriger Mann. Große linksseitige, von der Stirn bis in die Parietalgegend reichende Knochenlücke. Oben E.K.G. abgeleitet von beiden Armen, in der Mitte E.E.G. aufgenommen mit dem Oszillographen und abgeleitet mit 4,5 cm voneinander entfernten, innerhalb der Knochenlücke epidural liegenden chlorierten Silbernadeln. Unter Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek.

worden bin, vielleicht weil ich mich nicht deutlich genug ausgedrückt habe, so möchte ich hier doch nochmals auf diese Befunde eingehen. Die Veränderungen des E.E.G. bei Einwirkung von Sinnesreizen treten nur dann ein, wenn die Versuchsperson vorher nicht schon abgelenkt ist und auch wirklich dem Sinnesreiz die Aufmerksamkeit zugewendet wird. Berührungen, die z. B. infolge künstlicher Anästhesie der Haut nicht wahrgenommen werden, bedingen keine Veränderung des E.E.G. Alle Vorgänge, die die Aufmerksamkeit auf sich lenken, rufen eine Veränderung des E.E.G. hervor. Es sind daher, um solche Störungen zu vermeiden, zwei getrennte Räume für die Versuchsperson und für die Aufnahmeapparate zu verwenden, um von der Versuchsperson möglichst alle Sinnesreize, wie Geräusche usw., fernzuhalten. Am besten liegt eben, wie schon wiederholt erwähnt, die Versuchsperson mit geschlossenen Augen in einem halbverdunkelten Zimmer, überläßt sich ihren Gedanken und sucht einzuschlafen. Schmerzen rufen ebenfalls

eine Veränderung am E.E.G., genau so wie die Sinnesreize, hervor, wohl dadurch, daß sie die Aufmerksamkeit immer wieder auf sich lenken. Die Oszillographenkurven zeigen nun das gleiche, wie die schon früher mitgeteilten, mit dem Spulengalvanometer aufgenommenen Kurven, jedoch kommt die Veränderung des E.E.G. hier noch sinnfälliger zum Ausdruck.

Abb. 3 rührt von einem meiner Assistenten her, Herrn Dr. C. Er liegt mit geschlossenen Augen bequem auf einem Ruhelager. Bei B. erfolgt eine Berührung des rechten Handrückens, an dem entlang

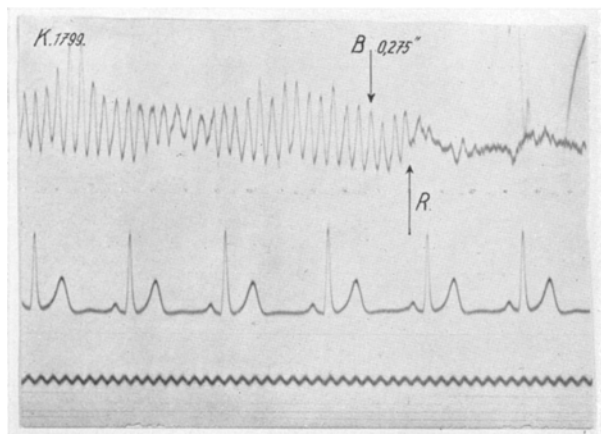


Abb. 3. Dr. C., 30 Jahre alt. Oben E.E.G. abgeleitet mit chlorierten Silbernadeln von Stirn und Hinterhaupt (Oszillograph); darunter E.K.G. von beiden Armen abgeleitet; zu unterst Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. Bei B Berührung und Entlangstreichen am rechten Handrücken.

gestrichen wird. Oben ist das E.E.G., das in der üblichen Weise mit chlorierten Silbernadeln von Stirn und Hinterhaupt abgeleitet worden ist, geschrieben, darunter das E.K.G. in Ableitung von beiden Armen und unten die Zeit in $\frac{1}{10}$ Sekunde. Auf die Berührung bei B. erfolgt nach 0,275 Sekunden bei R. die von mir früher bereits ausführlich beschriebene Veränderung des E.E.G., die eben darin besteht, daß die α -W. für kürzere oder längere Zeit wegfallen und durch β -W. ersetzt werden. Die Spannung, die, wie oben erwähnt, an solchen Oszillographenkurven direkt abgelesen werden kann, sinkt also bei R. etwa auf $\frac{1}{10}$ des vorher bestehenden Betrages ab.

Ich habe zwar in meiner dritten Mitteilung schon hervorgehoben, daß diese Veränderungen des E.E.G. auch bei örtlicher Ableitung von der Dura innerhalb einer Schädelücke sich nachweisen lassen. Bei der grundsätzlichen Bedeutung, die aber gerade dieser Feststellung für die Erklärung dieser Erscheinungen zukommt, weise ich doch noch auf Abb. 4 hin. Sie rührt von dem gleichen M. M. her, von dem oben Abb. 2 wiedergegeben und besprochen wurde. Bei S. wird ein Nadelstich in

den Zeigefinger der linken Hand des ruhig im halbverdunkelten Zimmer mit geschlossenen Augen daliegenden M. ausgeführt. Nach 0,3 Sekunden tritt die bekannte Veränderung des E.E.G. ein. Es kommt dabei zu einem Spannungsabfall auf weniger als $\frac{1}{10}$ der vorher bestehenden Spannung. Es kann sich also nur um Vorgänge handeln, die auf das im Hirn entstehende E.E.G. unmittelbar einwirken, und nicht um irgendwelche andere dazwischenkommende Erscheinungen, wie Bewegungsvorgänge, Änderung des Hautwiderstandes usw. Die Übereinstimmung der Abb. 3, die von dem Schädel als Ganzes bei Herrn Dr. C.,

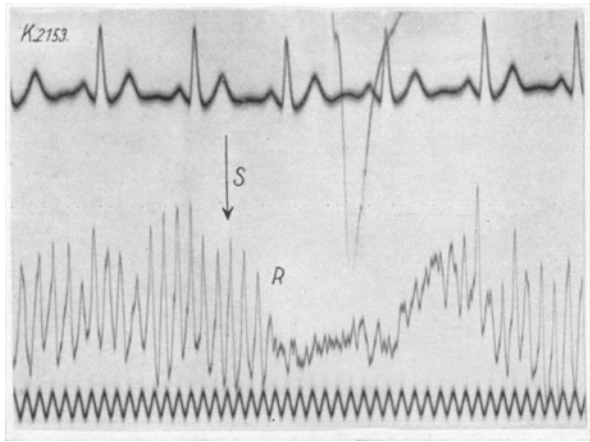


Abb. 4. M. M., 33jähriger Mann. Große linksseitige, von der Stirn bis in die Parietalgegend reichende Knochenlücke. Oben E.K.G., darunter E.E.G., zu unterst Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. Die gleichen Ableitungen wie in Abb. 2. Bei S Nadelstich in den Zeigefinger der linken Hand, bei R Veränderung des E.E.G.

und dieser Abb. 4, wo von der Dura einer Schädelnlücke abgeleitet wird, ist eine vollständige.

Wie ich an jener Stelle in meiner zweiten Mitteilung hervorgehoben habe, könnte man in diesen Ergebnissen einen Widerspruch gegen die Feststellungen bei den Tierexperimenten sehen. In der Tat hat man auch darin trotz meiner Ausführungen einen Widerspruch sehen wollen, und gerade deshalb gehe ich nochmals auf diese Ergebnisse ein. Im Tierexperiment hat man bei direkter Ableitung von den corticalen Sinneszentren, wie dies *Beck*, *Cybulski*, *Fleischl von Marzow* und andere festgestellt haben, bei Inanspruchnahme des zugehörigen Sinnesorgans einen Ausschlag am Galvanometer beobachtet, also z. B. beim Affen bei Belichtung des Auges einen Ausschlag im Bereich seiner Sehsphäre. Man hat auch versucht, mit dieser elektrischen Methode die Grenzen der einzelnen Sinneszentren innerhalb der Rinde festzulegen. Beim Menschen tritt nun unter der Einwirkung eines Sinnesreizes, wenn derselbe die Aufmerksamkeit fesselt, ein Absinken der Spannung an

den beiden Ableitungsstellen ein. Diese Ableitungsstellen liegen über dem Stirn- und dem Scheitellhirn. Wir leiten also von dem Schädel als Ganzes und keineswegs von einem umschriebenen Sinneszentrum ab. Die Sinneszentren sind beim Menschen unter normalen Verhältnissen auch gar nicht zu erreichen. Auch wenn man bei Palliativtrepanierten wie in Abb. 4 von der Dura der Schädellücke ableitet, so haben wir doch auch da keine Ableitung von einem Sinneszentrum vor uns. Sie liegen beim Menschen doch so, daß sie einer solchen Ableitung gar nicht zugänglich sind. Am ehesten könnte man noch an eine Ableitung von der C_p denken, aber auch da liegt der Hauptteil dieses Sinneszentrums in der Tiefe des Sulcus Rolando. Wir haben demnach im Gegensatz zum Tierexperiment bei der Ableitung des E.E.G. in der Weise, wie bei der Aufnahme der Abb. 3 und auch 4 verfahren wurde, keineswegs eine Ableitung von einem Sinneszentrum und erst recht nicht etwa von dem Zentrum, das mit der Berührungsempfindung etwas zu tun hat, sondern eine Ableitung von anderen Rindengebieten. Ich habe also offenbar nur Fernwirkungen des Berührungseizes auf andere Rindengebiete vor mir. Diese dürften so zu erklären sein, daß im Bereich des Sinneszentrums, das in Anspruch genommen wird, ein vermehrter Umsatz stattfindet, der eine Hemmungswirkung auf die gesamte übrige Rinde ausübt, wie ich dies in meiner dritten Mitteilung an dem Schema Abb. 7 deutlich zu machen versucht habe. Ich sehe also in Abb. 3 und 4 eine Hemmungswirkung, die von dem örtlichen Arbeitszentrum in der Hirnrinde ausgeht. Eine solche Annahme steht in gutem Einklang mit den physiologischen Begleiterscheinungen der Aufmerksamkeitsvorgänge. Schon *W. Wundt*¹ hat Hemmungsvorgänge im Zentralnervensystem als das Wesentlichste für die physiologische Deutung der Erscheinungen der Aufmerksamkeit bezeichnet. Er nahm an, daß durch Erregungen, die seinem im Stirnhirn vermuteten Apperzeptionszentrum zugeführt werden, Hemmungswirkungen ausgelöst werden. In seinem hypothetischen Schema des Apperzeptionszentrums spielen hemmende Fasern eine ganz wesentliche Rolle. An einer anderen Stelle spricht *Wundt* von einem Prinzip der funktionellen Ausgleichung und führt dabei weiter aus, daß dann, wenn ein großer Teil des Zentralorgans infolge hemmender Einwirkungen in einem Zustand funktioneller Latenz sich befinde, die Erregbarkeit des funktionierenden Restes für die ihm zufließenden Reize gesteigert sei. Als physiologische Grundlage dieses Gesetzes, wie es *Wundt* bezeichnet, könne eine doppelte Wechselwirkung angenommen werden, eine neurodynamische und eine vasomotorische; diese letztere käme später hinzu. Wie ich oben hervorgehoben habe, aber doch nochmals besonders betonen möchte, kommt in der von mir auf Abb. 3 und 4 wiedergegebenen Veränderung des E.E.G. unter der Einwirkung eines Sinnes-

¹ *Wundt, W.*: Grundzüge der physiologischen Psychologie, Bd. 1, S. 320f., 5. Aufl., 1902.

reizes eine neurodynamische, und zwar eine hemmende Wirkung zum Ausdruck. Wie ich ferner schon früher betont habe, spricht die Schnelligkeit des Eintritts dieser Veränderung nach nur 0,275 Sekunden, ja, wie ich an anderer Stelle zeigte, sogar bereits nach 0,09 Sekunden nach der Einwirkung des Reizes, gegen vasomotorische Erscheinungen. Gefäßreflexe beanspruchen nach *Fano* 2—7 Sekunden zu ihrem Eintritt, und ich selbst habe an den Gehirngefäßen früher die Zeit bis zum Eintritt der Veränderung bei einem Schreckreiz auf 2,3 Sekunden bestimmt. Abgesehen von diesem raschen Eintritt der Veränderung spricht die Tatsache ihrer Flüchtigkeit bei kurz einwirkenden Sinnesreizen erst recht gegen Gefäßvorgänge, die nicht so rasch vorübergehen können. Nach 0,5—2 Sekunden ist das E.E.G. nach der Einwirkung eines solchen Reizes wieder normal. Es gelingt gelegentlich, ganz kurze, nur 0,2 Sekunden anhaltende Veränderungen des E.E.G. nach der Einwirkung eines kurzen Sinnesreizes, der die Aufmerksamkeit lediglich ganz flüchtig fesselt, zu erzielen.

Abb. 5 zeigt ein solches Beispiel. Sie rührt wieder von meiner Tochter Ilse

her, von der schon Abb. 1 wiedergegeben wurde. Bei R. ist eine nur 0,2 Sekunden anhaltende Veränderung des E.E.G. unter der Einwirkung eines 0,3 Sekunden vorher einwirkenden kurzen Berührungsrizes zu erkennen. Es handelt sich hier sicherlich nicht um vasomotorische Vorgänge, sondern um direkte neurodynamische Einwirkungen auf das E.E.G., zu denen, wie *Wundt* auch sagt, dann später bei länger anhaltender Einstellung der Aufmerksamkeit wohl vasomotorische Vorgänge hinzukommen können, die wir aber am E.E.G., das mit Gefäßvorgängen, wie ich in allen meinen früheren Mitteilungen ausführlich gezeigt habe, nichts zu tun hat, nicht nachweisen können. Auch *Ebbinghaus* hält nach *Dürr*¹ den Vorgang der Aufmerksamkeit für bedingt durch eine Erregungsverteilung auf der Großhirnrinde. Im Zustand der Unaufmerksamkeit bestehen diffuse und sich verlaufende Erregungen innerhalb der Großhirnrinde, die infolge von corticalen Bahnungs- und

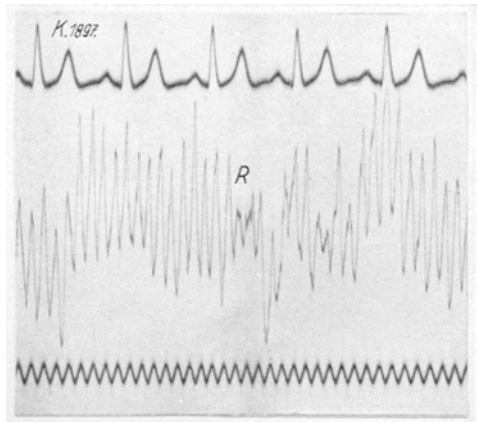


Abb. 5. J. B., 14 Jahre alt. Oben E.K.G. abgeleitet von beiden Armen, darunter E.E.G., abgeleitet mit chlorierten Silbernadeln von Stirn und Hinterhaupt (Oszillograph). Zu unterst Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. R.: Veränderung des E.E.G. infolge einer kurzen Berührung des rechten Handrückens.

¹ *Dürr, E.*: Lehre von der Aufmerksamkeit, S. 166. Leipzig 1907.

Hemmungsvorgängen bei Anspannung der Aufmerksamkeit in konzentrierte und differenzierte Erregungen übergehen. Ich glaube im E.E.G. diese hemmende Wirkung des Aufmerksamkeitsvorganges in Abb. 3, 4 und 5 und in früher mitgeteilten Kurven vor mir zu haben, und bin der Meinung, daß diese Ergebnisse sehr wohl mit denen der Tierexperimente im Einklang stehen.

Schon in meinen früheren Mitteilungen habe ich ebenfalls darauf hingewiesen, daß auch bei der Fesselung der Aufmerksamkeit durch eine *geistige Arbeit*, und zwar während der ganzen Arbeitszeit, eine mehr oder



Abb. 6. K. B., 19 Jahre alt. Oben E.K.G. abgeleitet von beiden Armen, darunter E.E.G. abgeleitet mit chlorierten Silbernadeln von Stirn und Hinterhaupt (Oszillograph). Zu unterst Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek.

minder deutliche Veränderung des E.E.G. sich einstellt. Ich habe bisher keine dahingehenden Kurven veröffentlicht und möchte dies hier tun.

Abb. 6 zeigt das E.E.G. meines jetzt 19 Jahre alten Sohnes Klaus, und zwar bei geistiger Ruhe. Die α -W. sind ziemlich hoch und haben eine durchschnittliche Länge von 90—110 σ . Der Widerstand betrug 5700 Ohm.

Abb. 7 zeigt nun das E.E.G. von Klaus während der Lösung der Rechenaufgabe 22×43 . Man sieht deutlich, wie die α -W. sehr

viel niedriger geworden sind und an manchen Stellen auch ganz fehlen. An den Stellen, wo β -W. allein bestehen, handelt es sich um einen Spannungsabfall auf $\frac{1}{5}$ der vorher bestehenden Spannung. Ganz allgemein kann man nach meinen Erfahrungen sagen, daß bei der geistigen Arbeit der Spannungsabfall weder so plötzlich eintritt wie bei der Fesselung der Aufmerksamkeit durch einen unerwarteten Sinnesreiz, noch auch solche Grade erreicht wie dort. Aber er hält mehr oder minder ausgeprägt, gewisse Schwankungen der Stärke des Spannungsabfalls zeigend, doch während der ganzen Zeit der geistigen Arbeit an. Aus zahlreichen derartigen Aufnahmen während der geistigen Arbeit habe ich den Eindruck gewonnen, daß der Grad der geistigen Anstrengung, den die Erledigung der gestellten Aufgaben erfordert und der doch je nach der Übung und Vorbildung der Versuchsperson sehr verschieden ist, in der Höhe des Spannungsabfalls auch zum Ausdruck kommt. Sehr oft tritt namentlich im Beginn einer geistigen Arbeit die Veränderung auch deshalb

nicht so deutlich zutage, weil eben schon die Mitteilung der Aufgabe, die erwartet wird, eine Fesselung der Aufmerksamkeit bedingt.

Abb. 8 rührt von meiner Tochter Ilse, von der oben schon Abb. 1 und 5 mitgeteilt wurden, her. Es ist bei dieser Aufnahme etwas anders verfahren worden, indem hier mit den nebeneinander geschalteten Spulengalvanometer und Oszillographen gleichzeitig das E.E.G. geschrieben wurde. Das E.K.G. glaubte ich, nachdem es bei 2000 Kurven regelmäßig mit verzeichnet worden war, nunmehr auch gelegentlich weglassen zu können. Die schiefe Abgrenzung der Kurve ist kein Versehen, sondern ist dadurch bedingt, daß die beiden Lichtpunkte des Spulengalvanometers und des Oszillographen nicht genau übereinander stehen. Die schiefe Grenzlinie verbindet zeitlich zusammenfallende Punkte¹. Bei dem Pfeil A wird I., die mit geschlossenen Augen im halbverdunkelten Zimmer liegt, eine Rechenaufgabe mitgeteilt. Man sieht, wie ganz allmählich sich die Veränderung des E.E.G. herausbildet, die in einer Abnahme der Höhe der α -W., ihrem zeitweiligen Ausfall und einem dadurch bedingten

stärkeren Hervortreten der β -W. besteht. Sehr viel deutlicher als der Übergang von der oft *nur angeblichen* geistigen Ruhe, die aber doch eben in Wirklichkeit sehr häufig keine geistige Ruhe ist, indem sich die Versuchsperson mit der zu erwartenden Aufgabe, ihrer möglichst raschen Lösung, der Befürchtung, sich dabei etwa eine Blöße zu geben, innerlich beschäftigt, ist der Übergang von der glücklich erledigten Arbeit zur Ruhe.

Abb. 9, die ebenfalls von meiner Tochter Ilse herrührt, zeigt das in ganz ausgezeichnete Weise. Die ihr gestellte Aufgabe „196:7“ ist richtig gelöst. Sie hat den Zeitpunkt der Beendigung der Arbeit durch ein leichtes Abheben des rechten Zeigefingers von der Unterlage mir angezeigt. Sofort ändert sich das E.E.G. Die Spannung, die der Höhe der Ausschläge der Kurve parallel geht, geht auf das Zehnfache in die Höhe. Die Erklärung der Veränderung des E.E.G. bei einer geistigen Arbeit, die natürlich mit einer Anspannung der Aufmerksamkeit einhergeht, kann nur die gleiche sein, wie sie oben für die Begleiterscheinungen

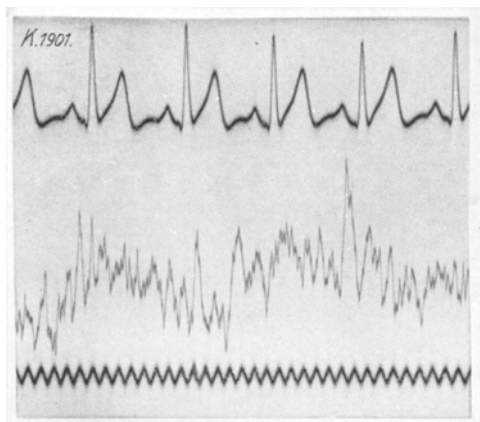


Abb. 7. K. B., 19 Jahre alt. Oben E.K.G. abgeleitet von beiden Armen, darunter E.E.G. abgeleitet mit chlorierten Silbernadeln von Stirn und Hinterhaupt (Oszillograph). Zu unterst Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek.

K. B. rechnet die Aufgabe 23×43 .

¹ Das gleiche gilt für die Abb. 9.

der Fesselung der Aufmerksamkeit durch einen plötzlichen Sinnesreiz gegeben wurde. Es handelt sich um Hemmungswirkungen, die von dem oder den bei der geistigen Arbeit in Anspruch genommenen Zentrum

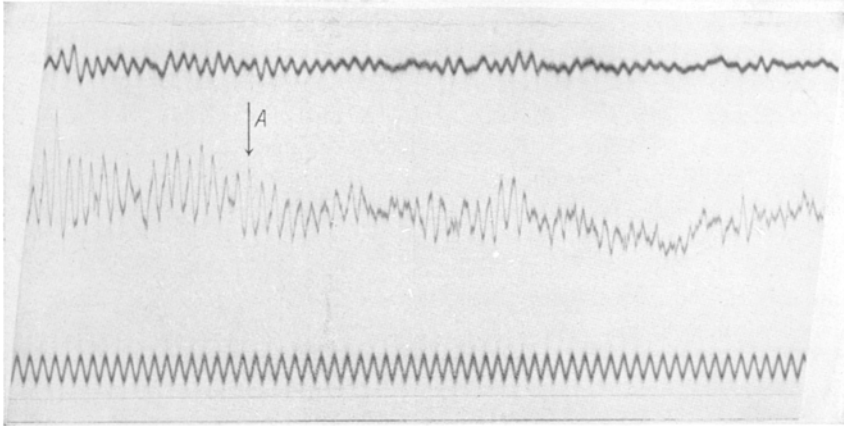


Abb. 8. J. B., 14 Jahre alt. Oben E.E.G. mit dem Spulengalvanometer, darunter E.E.G. mit dem Oszillograph aufgenommen, Ableitung mit chlorierten Silbernadeln von Stirn und Hinterhaupt. Zu unterst Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. Bei A Beginn der Mitteilung der im Kopf auszurechnenden Aufgabe.

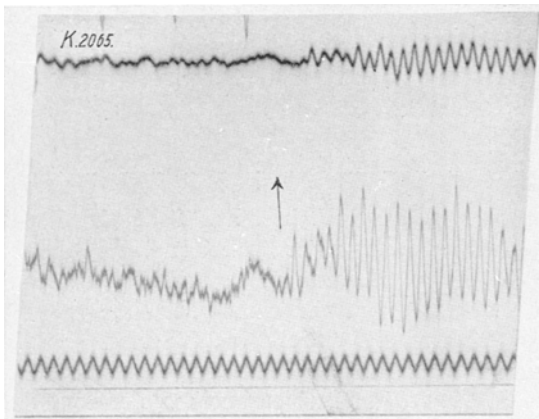


Abb. 9. J. B., 14 Jahre alt. Oben E.E.G. mit dem Spulengalvanometer, darunter E.E.G. mit dem Oszillograph aufgenommen. Ableitung mit chlorierten Silbernadeln von Stirn und Hinterhaupt. Zu unterst Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. — Ende des Kopfrechnens.

oder Zentren auf die übrige Hirnrinde ausgeübt werden. Nach dem Aussetzen der örtlichen Arbeit tritt wieder die Rinde im ganzen in ihre mehr oder minder ausgesprochene Tätigkeit ein.

Ich glaube, daß eine solche Erklärung die am nächstliegende ist. Ich will aber nicht unerwähnt lassen, daß auch ganz andere Anschauungen

möglich wären, die ich namentlich des historischen Interesses wegen hier doch anführe. Der bekannte Pariser Chemiker *Armand Gautier*, der sich auch viel mit biologischen Fragen beschäftigt hat und der ein entschiedener Gegner der damals viel besprochenen Auffassung war, daß die psychischen Vorgänge ein materielles Äquivalent besäßen, äußerte sich über diese Frage seinerzeit folgendermaßen: „Il faudrait montrer, ou bien que les phénomènes psychiques ne peuvent apparaître qu'en faisant disparaître une quantité proportionnelle de l'énergie, cinétique ou potentielle“ . . . und in demselben Sinne weiter: „le cerveau devrait se refroidir, ou son potentiel électrique baisser!“¹ Die Abb. 7, 8 und 9 zeigen nun in der Tat einen Abfall der elektrischen Spannung während der geistigen Arbeit. Und doch glaube ich nicht, daß dies so gedeutet werden darf. Wir haben hier nur eine Teilerscheinung vor uns, und dem hier festgestellten Abfall der elektrischen Spannung an den Ableitungsstellen steht wohl ihre erhebliche Zunahme in den Arbeitszentren gegenüber.

Ich habe seinerzeit ausgeführt, daß im Wachzustande eine ständige Rindenarbeit geleistet werde, zu der eine etwaige geistige Arbeit nur ein geringes Mehr hinzufüge. Im Hinblick auf die oben wiedergegebenen Ausführungen von *Ebbinghaus* über die Aufmerksamkeitsvorgänge scheint es mir nunmehr sogar fraglich, ob wirklich die intellektuelle Arbeit noch ein wesentliches Plus hinzufüge und ob nicht die von *von Liebermann* gegebene Erklärung, auf die ich schon in meiner zweiten Mitteilung hingewiesen habe, die mit den oben aufgezeigten Veränderungen am E.E.G. während der geistigen Arbeit sehr gut übereinstimmt, die richtigere ist. *Von Liebermann*² meint, daß die Hirnarbeit und der für sie nötige Aufwand von Energie eine unveränderliche Größe sei, gleichviel ob eigentliche intensive (gerichtete) oder ob extensive (zerstreute) psychische Arbeit geleistet werde. Das, was wir eigentliche geistige Arbeit nennen, unterscheide sich von der anderen zerstreuten nur darin, daß im ersteren Falle die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Gegenstand oder Gedankenkreis konzentriert sei und daß der Energieverbrauch in den entsprechenden Rindenpartien auf Kosten der anderen gesteigert werde. Bei der extensiven oder zerstreuten Hirnarbeit seien viele Rindenpartien, wenn auch nur in flüchtiger Weise, in Erregung geraten, während bei der intensiven oder gerichteten bestimmte umschriebene Rindenpartien, aber mit um so größerer Intensität in Anspruch genommen würden. Daraus würde sich nun in einfachster Weise erklären, warum bis jetzt trotz eingehendster Untersuchungen ein Nachweis dafür, daß die geistige Arbeit mit einer erheblichen Steigerung des gesamten Energieumsatzes einhergehe, nicht erbracht werden konnte.

¹ *Gautier Armand* nach *J. Soury*: *Système nerveux, central*, Bd. 2, S. 1265, Paris 1899.

² *Liebermann, von.*: *Biochem. Z.* **173**, 181 (1926).

Ich habe in meiner dritten Mitteilung unter Abb. 25 und 26 zwei *Epileptikerkurven* veröffentlicht, welche die dauernde Veränderung des E.E.G. bei einer auf dem Boden der genuinen Epilepsie entstandenen epileptischen Demenz zeigen. Dabei findet sich, bei Aufnahme des E.E.G. mit dem Spulengalvanometer, eine auffallend hohe Kurve trotz des wechselnden Schädelwiderstandes mit hohen, weit über die Norm hinaus verlängerten α -W. Aufnahmen mit dem Oszillographen zeigen das gleiche Verhalten. Ich habe auch schon in jener dritten Mitteilung darauf hingewiesen (S. 60, Anmerkung 2), daß während der einen großen epileptischen Anfall überdauernden Bewußtlosigkeit das E.E.G. als gerade Linie verlaufe, indem die α -W. vollständig fehlen. Das E.E.G. entspricht also dann demjenigen, welches in der Chloroformnarkose

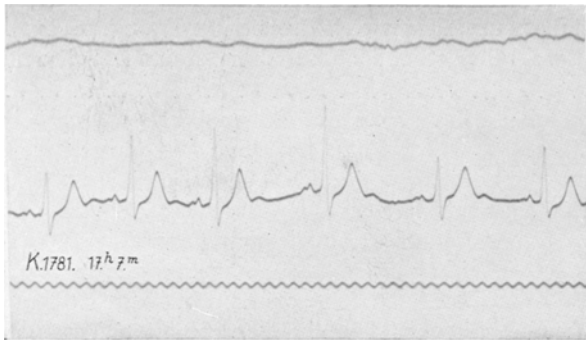


Abb. 10. P. H., 55jährige Frau. Nach einem großen epileptischen Anfall. Oben E.E.G. abgeleitet mit chlorierten Silbernadeln von Stirn und Hinterhaupt, darunter E.K.G. abgeleitet von beiden Armen (Doppelspulengalvanometer), zu unterst Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek.

gewonnen wird. Da ich bisher eine entsprechende Kurve noch nicht mitgeteilt habe, so möchte ich dies hiermit tun.

Bei einer 55jährigen, an leichter Arteriosklerose leidenden Frau waren seit dem 53. Lebensjahre gelegentlich epileptische Anfälle ohne alle Herderscheinungen aufgetreten. Bei der Vorbereitung zur Aufnahme eines E.E.G. trat einer dieser, im ganzen bei ihr seltenen Anfälle auf. Die Bleifolienelektroden zur Aufnahme des E.K.G. waren bereits an den Armen angelegt, als plötzlich ein großer epileptischer Anfall mit Tonus und nachfolgendem Klonus einsetzte. Erst nach Abklingen der Krampferscheinungen konnten die Nadelelektroden am Schädel angebracht werden, wobei natürlich, ebenso wie mit der Einstellung des Galvanometers, eine gewisse Zeit verloren ging. Der Anfall war um 17 Uhr, und um 17 Uhr 7 Minuten wurden die ersten Kurven geschrieben, die Abb. 10 zeigt.

Frau H. liegt schnarchend atmend da und zeigt noch keinerlei Reaktion auf irgendwelche Reize. Das E.E.G. läßt keine α -W. erkennen. Abb. 11 ist 3 Minuten später, also 10 Minuten nach dem

Beginn des großen Anfalls aufgenommen. Frau H. atmet immer noch schnarchend, reagiert nicht auf Anruf, macht jedoch von selbst einige Armbewegungen. Das E.E.G. hat sich verändert und zeigt einige, allerdings noch immer sehr niedrige α -W. und zwar nicht an allen Stellen.

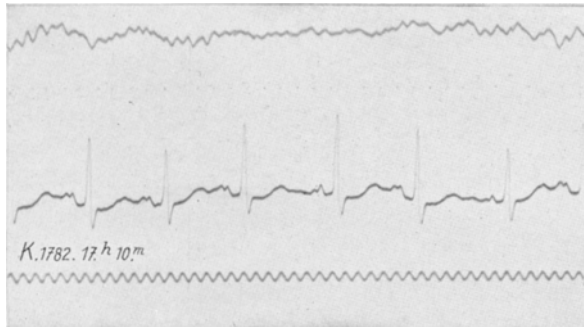


Abb. 11. P. H., 55jährige Frau. Die gleiche Aufnahme wie in Abb. 10, jedoch 3 Min. später.

Frau H. erwacht nun mehr und mehr. 17 Uhr 12 Minuten wurde eine Kurve aufgenommen, aus der Abb. 12 einen kleinen Abschnitt darstellt. Frau H. schlägt jetzt die Augen auf und ist bei Bewußtsein. Das E.E.G. hat, wie Abb. 12 zeigt, eine weitere Veränderung erfahren; die α -W.

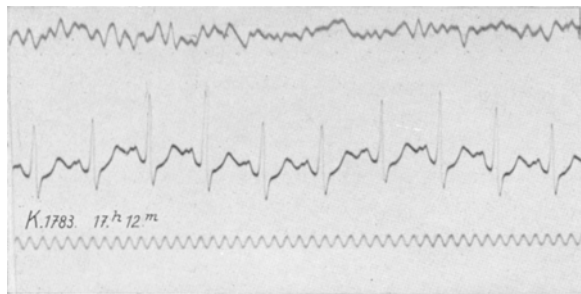


Abb. 12. P. H., 55jährige Frau. Die gleiche Aufnahme wie in Abb. 10, jedoch 5 Min. später.

haben weiter an Höhe zugenommen und sind nun wieder ständig vorhanden. Abb. 13 endlich ist 18 Minuten nach dem Beginn des großen Anfalls aufgenommen. Frau H. ist jetzt völlig klar und geordnet, hat aber natürlich eine Erinnerungslücke für den Anfall. Man sieht, daß dem allmählichen Erwachen aus der Bewußtlosigkeit des Anfalls, genau wie bei dem Erwachen aus der Narkose, eine stetig zunehmende Veränderung des E.E.G. entspricht, das schrittweise sein normales Aussehen wieder gewinnt. Eine genaue Durchsicht aller bei diesem Ereignis aufgenommenen E.E.G. hat ferner ergeben, daß die α -W. nicht plötzlich wiederkehren, sondern sich anfänglich in regelmäßigen Zwischenräumen

von 8,5—9,5 Sekunden bei dem Erwachen einstellen; zwischen diesen α -W. liegen dann wieder α -W.-freie Kurvenstücke. Diese durchschnittlich alle 9 Sekunden auftretenden α -W. bleiben dann länger und länger bestehen, so daß dann schließlich die α -W. wieder ständig vorhanden sind. Die Abb. 11 zeigt wenigstens eine Andeutung der hier eben besprochenen Erscheinung, die erst bei der Durchsicht längerer Kurvenstücke, als sie hier wiedergegeben werden können, deutlicher zutage tritt. Diese alle 9 Sekunden auftretenden Wellen haben mit der Atmung nichts zu tun, die während dieser Zeit gerade wesentlich beschleunigt war, so daß 20—21 Atemzüge auf die Minute kamen und ein Atemzug eine Länge von durchschnittlich nur 3 Sekunden darbot. Ebensowenig besteht ein Zusammenhang mit der Zirkulation. Es handelt sich offenbar um einen *Eigenrhythmus* des Zentralnervensystems, auf den ich schon

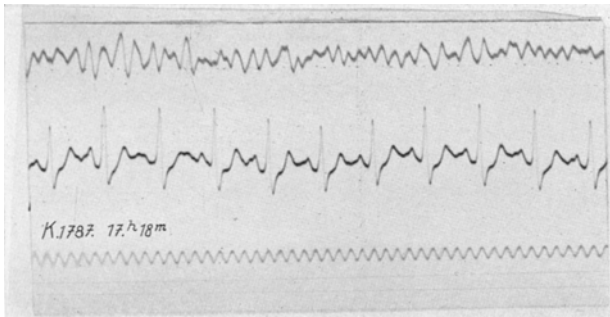


Abb. 13. P. H., 55jährige Frau. Die gleiche Aufnahme wie in Abb. 10, jedoch 11 Min. später.

mehrfach, namentlich in meiner zweiten Mitteilung hingewiesen habe und der auch in den sog. Aufmerksamkeitsschwankungen, so weit sie zentralen Ursprungs sind, zum Ausdruck kommt. Dieser *Eigenrhythmus* des Gehirns, der hier bei dem Erwachen aus der Bewußtlosigkeit des epileptischen Anfalls eine Periode von 9 Sekunden von Wellenhöhe zu Wellenhöhe darbietet und für den ich an anderen Stellen im Wachzustande Perioden von 1,3—2,65, 2,1—2,5, 1,5—3,9 und 2,3—4,7 Sekunden bei verschiedenen Personen gefunden habe, ist wohl eine in seinen Lebenserscheinungen begründete Eigentümlichkeit des Großhirns, die sich auf psychischem Gebiete in verschiedenen uns bisher nur von der psychischen Seite her bekannten Erscheinungen auswirkt.

Es scheint mir nun zunächst ein nochmaliges Eingehen auf die *Zusammensetzung des normalen E.E.G.* notwendig. Wie ich immer wieder hervorgehoben habe, zeigt dasselbe Wellen 1. Ordnung, die ich als α -W., und Wellen 2. Ordnung, die ich als β -W. bezeichnete. Die α -W. haben normalerweise eine Länge von 90—120 σ und einen Höchstwert von etwa 0,2 m. V. Für die β -W. habe ich eine durchschnittliche Länge von 33 σ und einen Höchstwert von 0,1 m. V. angegeben. Ich hatte

dann in meiner zweiten Mitteilung zuerst die Arbeitshypothese aufgestellt, daß die α -W. Begleiterscheinungen derjenigen materiellen Vorgänge seien, die man als psychophysische bezeichnen müsse, da sie mit Bewußtseinserscheinungen verknüpft seien. Ich stützte diese Hypothese auf eine Reihe von Gründen, die ich hier nochmals anführen möchte. Erstens zeigt sich an den α -W., wie oben ausgeführt, ein periodisches An- und Abschwellen, wobei die Periode zeitlich den der experimentellen Psychologie als Aufmerksamkeitsschwankungen bekannten Erscheinungen entspricht. Zweitens geht jede Fesselung der Aufmerksamkeit oder eine geistige Arbeit mit einem vorübergehenden Aussetzen oder einem dauernden Niedrigerwerden der α -W. einher. Wie ich oben wieder auseinandergesetzt habe, können diese Erscheinungen am ungezwungensten als Hemmungswirkung eines Arbeitszentrums auf alle gleichzeitigen psychophysischen Vorgänge erklärt werden. Drittens gehen Gifte, wie z. B. das Cocain, die in der Tat eine gewisse Zunahme der psychischen Ansprechbarkeit erkennen lassen, mit einer Zunahme der Höhe der α -W. einher; dasselbe zeigt sich auch im Exzitationsstadium der Narkose. Dagegen bedingen viertens Gifte, welche die psychischen Vorgänge ausschalten, wie Scopolamin oder vor allem die Chloroformnarkose, ein Wegfallen der α -W.; namentlich bei der letzteren zeigt sich zwischen der Tiefe der Narkose und dem Wegfall der α -W. ein Parallelismus, der sich besonders auch beim Erwachen aus der Narkose nachweisen läßt. Fünftens schwinden im normalen Schlaf die α -W. nicht, werden aber niedriger, ganz entsprechend unserer Annahme, daß die psychophysischen Vorgänge im Schlafe keineswegs erloschen sind, wie das die Traumercheinungen unzweideutig darlegen. Sechstens sehen wir in pathologischen Zuständen, z. B. bei einer Commotionspsychose, aber vielleicht noch viel einwandfreier bei einer schweren epileptischen Demenz mit ausgesprochener Verlangsamung aller psychischen Vorgänge, eine unverkennbare Veränderung dieser α -W. Siebentens endlich zeigt die auch hier mitgeteilte Kurve, daß in der Bewußtlosigkeit eines großen epileptischen Anfalls die α -W. ebenfalls wegfallen und ganz entsprechend dem allmählichen Wiedererwachen der Bewußtseinserscheinungen sich die α -W. auch allmählich wieder einstellen. Alle diese Feststellungen bestärken mich in dem Festhalten an der früher aufgestellten, oben angeführten Arbeitshypothese. Die β -W. habe ich in meiner zweiten Mitteilung als Begleiterscheinungen derjenigen Vorgänge aufgefaßt, die sich im lebenden Nervengewebe auch unabhängig von seiner eigentlichen Funktion vollziehen, und sie kurz als Begleiterscheinungen der Lebensvorgänge des Nervengewebes bezeichnet. Die Tatsache, daß diese β -W. immer vorhanden sind, auch dann, wenn vorübergehend, wie z. B. bei Fesselung der Aufmerksamkeit durch einen Sinnesreiz, die α -W. wegfallen, und die Feststellung, daß sie sich auch von einem sicher nicht mehr funktionsfähigen Teil des Großhirns, wie ich dort ausgeführt habe, ableiten lassen,

bestimmt mich zu dieser Annahme. Aber auch in der Narkose und der Bewußtlosigkeit des epileptischen Anfalls sind bei völligem Fehlen der α -W. noch die β -W. vorhanden. Sie entsprechen also wohl den Lebensäußerungen des Nervengewebes und stellen die Begleiterscheinungen der von der Funktion unabhängigen Ernährungsvorgänge dar. *Mosso*¹ hat schon in seinen Untersuchungen über die Temperatur des Gehirns von organischen Konflagrationen gesprochen, die nach seiner Ansicht den thermischen Ausdruck der metabolischen Erscheinungen darstellen, welche in den Organen unabhängig von ihrer speziellen Funktion erfolgen. Ich habe früher und oben wieder als mittlere Länge der β -W. 33 σ angegeben und ihre Höhe auf maximal 0,1 m. V. Ich muß diese Angaben auf Grund der kurvenanalytischen Untersuchungen des Herrn Dr. *Dietsch*, die in meiner Klinik durchgeführt wurden, insofern etwas verbessern, als nach den Aufnahmen mit dem Oszillographensystem unter den β -W. solche von 20—50 σ enthalten sind und ihre Größe meist nur $\frac{1}{10}$ der Höhe der α -W., also nur 0,02 m. V. beträgt. Diese β -W. lassen sich nun, wie ich in meiner dritten Mitteilung hervorgehoben habe, sowohl von der Rinde, als auch vom Marklager des menschlichen Großhirns ableiten. Das Nervengewebe enthält außer den Nervenzellen und den mit ihnen in Zusammenhang stehenden Nervenelementen, wie Neurofibrillen usw., eine große Anzahl von Gliazellen, von Gefäßen u. dgl. mehr. Man kann natürlich nicht entscheiden, welche speziellen Teile bei ihren Lebensvorgängen zu der Erscheinung der β -W. führen. Die β -W. sind sicherlich eine *zusammengesetzte Größe*, wie das schon die kurvenanalytische Feststellung ihrer Zusammensetzung aus ganz verschieden langen Wellen von 20—50 σ ergibt. Zusammenfassend möchte ich aber sagen, daß ich an der von mir aufgestellten Arbeitshypothese festhalte, daß die α -W. des E.E.G. die Begleiterscheinungen der psychophysischen Rindenvorgänge sind und daß die unter dem Sammelbegriff der β -W. zusammengefaßten elektrischen Erscheinungen Begleiterscheinungen der von der Funktion unabhängigen Lebensäußerungen des Nervengewebes sind. Bisher hat sich bei der Fortführung meiner Untersuchungen kein Grund ergeben, diese Arbeitshypothese wesentlich abzuändern oder ganz aufzugeben, wie dies unter Umständen das Schicksal einer Arbeitshypothese sein kann.

Ich erwartete eigentlich, daß im *Fieber* bei Nichthirngeschädigten eine Veränderung des E.E.G. wohl in dem Sinne aufträte, daß vielleicht die α -W. kürzer und höher und auch die β -W. eine Veränderung aufweisen würden. Zu meinem Erstaunen hat sich diese Annahme in 2 Fällen bei mit Malaria und Pyriker behandelten Kranken, die beide an Tabes litten und keinerlei psychische Störungen darbieten, nicht bestätigt. Die β -W. zeigten nicht die geringste Veränderung, und an den α -W. trat bei dem mit Malaria behandelten Kranken R. gelegentlich einer

¹ *Mosso, A.*: Die Temperatur des Gehirns, S. 96. Leipzig 1894.

Aufnahme, als R. eine Temperatur von 39,6° darbot und an den vorangehenden Tagen bereits 5 Malariaanfälle hinter sich hatte, eine einwandfreie Verlängerung von 100 σ auf 140 σ durchschnittlicher Länge ein. Es trat also eine Verlängerung der α -W. auf, wie ich sie bei schweren Commotionspsychosen, bei Hirndruck, aber auch bei schwerer epileptischer Demenz gefunden habe. Vielleicht findet in dieser unerwarteten Verlängerung der α -W. die nicht selten vorhandene Schwerbesinnlichkeit der Hochfiebernden, wie sie auch bei R. zur Zeit der Aufnahme bestand, ihren sinnfälligen Ausdruck.

Wie ich immer wieder betont habe, sehe ich in dem E.E.G. die elektrischen Begleiterscheinungen der Vorgänge der Funktion und des Stoffwechsels im Zentralnervensystem. Wie in allen tätigen Organen des Körpers mehr oder minder deutliche Veränderungen des elektrischen Potentials auftreten, so ist das auch im menschlichen Gehirn der Fall. Man sieht in diesen elektrischen Erscheinungen eine notwendige Begleiterscheinung aller biologischen Vorgänge. Die Schwankungen des E.E.G. begleiten biologische Rindenvorgänge. Wie ich am Ende meiner dritten Mitteilung ausgeführt habe, können von der menschlichen Hirnrinde selbst α -W. und β -W., von der darunter liegenden Marksubstanz des Großhirns nur β -W. abgeleitet werden, so daß die α -W. in der Rinde entstehen. Die im E.E.G. zum Ausdruck kommenden bio-elektrischen Erscheinungen sind Begleiterscheinungen der ständig im Zentralnervensystem und vor allem in der Hirnrinde sich abspielenden Erregungsvorgänge. Nach den vorliegenden physiologischen Untersuchungen führt die örtliche Erregung einer Zell-, Faser- oder Gewebsstelle zu einer negativen elektrischen Ladung gegenüber der ruhenden Nachbarschaft¹. Bei der Ableitung von zwei Stellen der unversehrten Oberfläche eines Gewebsteiles kommt es bei einem Fortschreiten der Erregung von der ersten nach der zweiten Stelle zu einem zweiphasischen Erregungsstrom. Diese Welle ist der bio-elektrische Endausdruck des Erregungsvorganges (von *Tschermak*). Eine Verschiedenheit der Konzentration der bio-elektrisch wirksamen Ionen an der erregten und ruhenden Stelle ist die Ursache der entstehenden Ströme. Nachdem *Ostwald* schon 1890 darauf hingewiesen hatte, daß vielleicht auch die bio-elektrischen Erscheinungen aus der Wirkung der halbdurchlässigen Membranen als Ionensiebe erklärt werden könnten, hatte dann 1902 *Bernstein* seine Membrantheorie der bio-elektrischen Erscheinungen aufgestellt. Sie ist dann von *R. Höber* in trefflicher Weise gestützt und weiter ausgebaut worden. Die in Betracht kommenden Membranen müssen halbdurchlässige — semipermeable — Membranen sein, wie sie an pflanzlichen

¹ *Bernstein, J.*: Elektrobiologie, S. 87. Braunschweig 1912. — *Gellhorn, E.*: Neuere Ergebnisse der Physiologie, S. 61, 4. Vorlesung. Leipzig 1926. — *Höber, R.*: Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe, 6. Aufl., S. 705 f., 1926. — *Tschermak, A. von*: Allgemeine Physiologie, S. 596 f. Berlin 1924.

und tierischen Zellen nachgewiesen sind. Diese halbdurchlässigen Membranen haben Lücken, durch die, rein mechanisch bedingt, kleinere Ionen hindurchwandern können, während die größeren zurückgehalten werden. So wandern die positiv geladenen *Faradayschen* Kat-Ionen durch die Membran hindurch und werden von den negativ geladenen

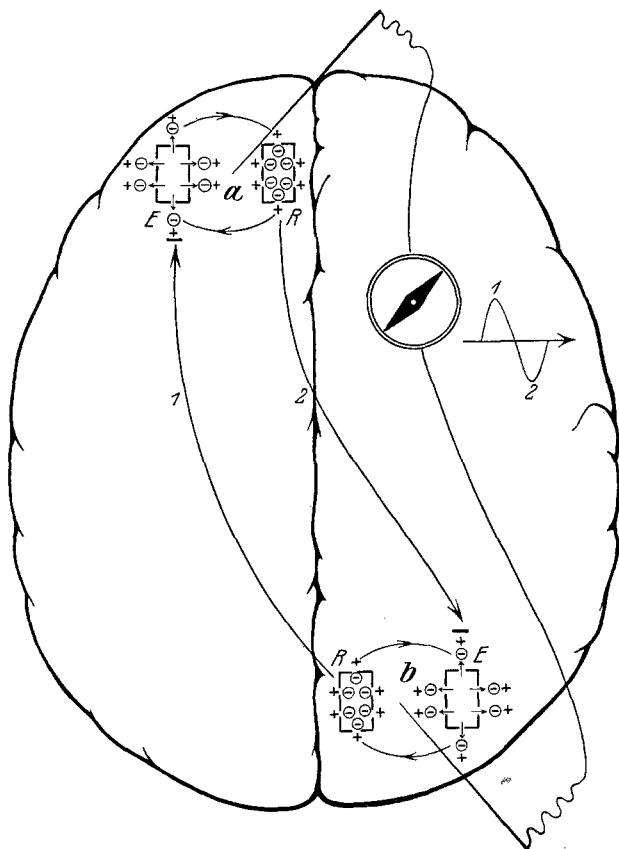


Abb. 14. Schema. E Zustand der Erregung. R Zustand der Ruhe. a und b die beiden Ableitungsstellen.

An-Ionen, die die engen Lücken der halbdurchlässigen Membran infolge ihrer Größe nicht durchschreiten können, an der Oberfläche der Membran durch elektrische Bindung zurückgehalten. Man bezeichnet diese Annahme kurz als Ionensiebtheorie. Kommt es nun zu einem Erregungszustand innerhalb der Zelle usw., so nimmt die Durchlässigkeit der Membran zu, ihre Lücken werden größer, und nun können auch die rein mechanisch zurückgehaltenen An-Ionen hindurchtreten, und es kommt so durch sie zu einer negativen Ladung der Oberfläche der Membran.

Wie *R. Höber* anschaulich ausführt, verhält sich jede Zelle im Moment der Betätigung so, wie wenn ihre Plasmahaut ein Loch hätte, das sich beim Übergang in Ruhe von selbst wieder schließt. Es ist nun in der Tat auch experimentell durch *Gildemeister* erwiesen, daß die Erregung mit einer Erhöhung der Zelldurchlässigkeit verbunden ist. Unter Zugrundelegung dieser Anschauung kann man sich an der Hand von schematischen Darstellungen, wie sie von *Tschermak* entworfen hat, auch die Entstehung der α -W. des E.E.G. so vorstellen, wie dies Abb. 14 zeigt. Es wird von zwei Stellen der unversehrten Hirnoberfläche a und b mit Nadelelektroden abgeleitet zu einem empfindlichen, hier durch eine Magnetnadel angedeuteten Galvanometer. Befindet sich das Rindengebiet an der Stelle a in einem Zustand der Erregung, so besteht daselbst eine erhöhte Durchlässigkeit der Membran und es tritt der in E angedeutete Zustand der negativen Ladung ein. An der Stelle b soll zunächst Ruhe herrschen. Es kommt daher zu dem Ausschlag des Galvanometers, der am Schema mit 1 bezeichnet ist. Tritt nun dann an der Stelle a nach abgeklungener Erregung Ruhe ein (R), so schwindet die negative Ladung hier. Gleichzeitig mögen aber die Elemente der Stelle b sich in Erregung befinden, so daß nun ein entgegengesetzter Strom im Galvanometer sich geltend macht, der mit 2 bezeichnet ist. So etwa kann man sich z. B. die zweiphasischen Stromschwankungen, die den α -W. des E.E.G. entsprechen, an der Hand dieser sog. Ionensiebtheorie vorstellen. Man muß also annehmen, daß im Wachzustande immer an den beiden Ableitungsstellen Gewebeelemente vorhanden sind, die gerade in den entgegengesetzten Phasen der Erregung oder der Ruhe sich befinden. Eine örtliche Ruhe tritt ein, wenn im Gehirn ein anderweitiges Arbeitszentrum entsteht, das hemmend auf die örtliche Erregung einwirkt. Die α -W. fallen dann vorübergehend weg. Hervorheben möchte ich noch, daß die Ionensiebtheorie der bio-elektrischen Erscheinungen noch keineswegs über jeden Zweifel erhaben¹ ist und wir noch nicht wissen, ob wir hier wirklich eine endgültige Theorie vor uns haben. Dies ist aber für die Deutung unserer Ergebnisse nicht so wichtig. Wir wissen jedenfalls, daß wir in den bio-elektrischen Vorgängen Begleiterscheinungen der Erregungsvorgänge, wie sie sich in jedem tätigen Organ abspielen, vor uns haben, und dies genügt uns zunächst.

Bio-elektrische Erscheinungen sind notwendige Begleiterscheinungen der Lebensvorgänge und so auch der lebhaften Vorgänge im menschlichen Großhirn. Alle Zellen des lebenden Organismus stehen, wie *Pflüger*² treffend sagt, fortwährend im Brande, wenn wir das Licht auch mit unseren leiblichen Augen nicht sehen. Er vergleicht auch die Lebensvorgänge mit einer singenden Flamme und sagt fortfahrend: „So stelle

¹ *Cremer, M.*: Ursache der elektrischen Erscheinungen. *Bethes Handbuch*, Bd. 8, 2, S. 999, 1928.

² *Pflüger*: *Arch. f. Physiol.* 10, 251 (1875).

ich mir alle lebendige Materie, ganz besonders so aber die graue Substanz des Gehirns vor. Im Wachzustande sind seine Vibrationen am stärksten, das Singen der Flamme am lautesten.“ Im E.E.G. sehen wir nun in der Tat auch mit unserem „leiblichen Auge“ diese Vibrationen in der Form von elektrischen Schwankungen vor uns. Nach allem früher und in dieser Mitteilung von mir Dargelegten halte ich die von mir als α -W. bezeichneten elektrischen Erscheinungen für eine notwendige Begleiterscheinung *der* physiologischen Prozesse der Großhirnrinde, denen die psychischen Vorgänge gesetzmäßig zugeordnet sind.
