

(Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Hirnforschung, Berlin-Buch.)

Über feinere bioelektrische Reaktionen der „optischen“ Hirnrinde und zur Frage ihrer Zuordnung zu Wahrnehmungen.

Von

A. E. Kornmüller.

Mit 6 Textabbildungen.

(Eingegangen am 13. Juli 1937.)

I.

Joh. Müller hat in seinen grundlegenden sinnesphysiologischen Untersuchungen bewußt eine physiologische Behandlung der Psychologie angebahnt. Im Laufe der folgenden Jahrzehnte hat sich die Mehrzahl der Psychologen immer mehr von der Physiologie entfernt. Für viele psychologische Schulen der Gegenwart gibt es kaum mehr Beziehungen zur Physiologie. Wohl hat uns die Zeit nach *Joh. Müller* bis in die Gegenwart auch einzelne Autoren gebracht, die sich von verschiedenen theoretischen Standpunkten aus um eine „physiologische Psychologie“ bemüht haben¹. Trotz verschiedenster Ansätze fehlt uns indessen bis heute ein gesichertes Wissen um funktionelle Beziehungen zwischen „physiologischer“ und „psychischer“ Hirnarbeit. Es scheint nun aber an der Zeit zu sein, mit Hilfe der bioelektrischen Erscheinungen des Zentralnervensystems die vorliegenden, wesentlich hypothetischen Ansätze einer „Physiologie“ des Wahrnehmens exakt nachzuprüfen.

Wir wollen einen Ansatz zu einem solchen Versuch mit aller Zurückhaltung im folgenden auf Grund unserer Studien über die *bioelektrischen Erscheinungen der architektonischen Felder der Großhirnrinde*² unternehmen. Die bezeichneten Phänomene gehören in die Physiologie, und es wurde in früheren Arbeiten immer wieder darauf hingewiesen, daß es verfrüht erscheint, diese bioelektrischen Erscheinungen mit psychologischen irgendwie zu verknüpfen oder theoretisch zu vermischen. Wenn wir nun aus der bisher geübten Zurückhaltung ein wenig heraustreten und ein Versuch unternommen wird über die Zuordnung solcher Erscheinungen zu „psychischen“ Leistungen, so geschieht dies lediglich *aus heuristischen Gründen*.

¹ Ich nenne nur die Namen *Becher, Driesch, Goldstein, E. Hering, Kretschmer, W. Köhler, v. Kries, Schilder, A. Tschermak, Pavlow, Wundt und Ziehen*.

Herr Dr. Hochheimer hat das Manuskript dieser Mitteilung als Psychologe durchgesehen, wofür ich ihm bestens danke.

² Siehe *Kornmüller*: Die bioelektrischen Erscheinungen der Hirnrindenfelder mit allgemeineren Ergebnissen zur Physiologie und Pathophysiologie des zentralnervösen Griseum. Leipzig: Georg Thieme 1937.

Wir beziehen uns in der vorliegenden Mitteilung auf Untersuchungen an Tieren. Die Versuchsbedingungen waren so, daß sie beim Menschen bestimmt mit Wahrnehmungen verknüpft gewesen wären. Da die Befunde außerdem an allen bisher untersuchten Tieren in der Form, wie sie ausgewertet wurden, gleichlautend waren, ist wahrscheinlich, daß sie analog auch für den Menschen gelten würden. Eine Prüfung am Menschen ist im Gange.

Gegenüber den lokalisierten bioelektrischen Erscheinungen stellt der *Berger-Rhythmus* diejenigen bioelektrischen Erscheinungen dar, die vom menschlichen Schädel als *Ganzes* abgeleitet werden. *Berger*¹ unterscheidet bei seinem Elektrenkephalogramm (EEG.), von dem Abb. 1² eine Registrierung zeigt, träge sog. α -Wellen und raschere Abläufe kleinerer



Abb. 1. Normales Elektrenkephalogramm (*Berger-Rhythmus*) des Menschen.

Amplitude, die β -Wellen. *Berger* hat seit Jahren wiederholt darauf hingewiesen, daß das EEG. einen physiologischen Ausdruck psychischer Vorgänge darstellt. Seine letzte diesbezügliche Formulierung lautet³:

„In der aus den Aktionsströmen der einzelnen Nervenzellschichten sich zusammensetzenden und zu einem einheitlichen Ganzen verwobenen kennzeichnenden Spannungskurve des EEG. des Menschen findet die gesamte physiologische und psychophysiologische Arbeit der menschlichen Hirnrinde ihren sinnfälligen Ausdruck. Die α -W. des EEG. entstehen in der inneren Hauptzone der Rinde; sie entsprechen ihrer ständigen physiologischen Tätigkeit und zeigen bei allen allgemeinen Betriebsstörungen der Rinde deutlich Abänderungen. Gewisse β -W. mit einer Länge von 11—24 σ , deren Ursprungsort wohl in den Zellschichten der äußeren Hauptzone zu suchen ist, entsprechen der psychophysiologischen Tätigkeit der Rinde; sie sind also als die materiellen Begleiterscheinungen der psychischen Vorgänge anzusprechen.“

Meine Untersuchungen haben, was schon wiederholt ausgeführt wurde, gezeigt, daß sich im gleichen Zeitpunkt verschiedene Areale ganz ungleich verhalten, d. h. also, daß z. B. während extremer Steigerung des elektrischen Energiewechsels bestimmter Areale andere eine maximale Reduktion desselben aufweisen können. Selbst solche großen Unterschiede läßt die Ableitung des *Berger-Rhythmus* nicht erkennen. Die lokalisatorischen Unterschiede im bioelektrischen Verhalten der Hirnrinde scheinen mir aber bei dem Studium physiologischer Begleiterscheinungen

¹ Siehe *Berger*: Arch. f. Psychiatr. 1929—37. — Physiologische Begleiterscheinungen psychischer Vorgänge. *Bumke-Foersters Handbuch der Neurologie*, Bd. 2, S. 492. 1937. — ² Alle hier reproduzierten Kurven wurden mit dem Neurographen II [Tönnies: Dtsch. Z. Nervenheilk. 180, 60 (1933)] registriert. — ³ Arch. f. Psychiatr. 106, 187 (1937).

psychischen Geschehens deswegen unerlässlich, weil wir doch wohl berechtigt sind, anzunehmen, daß die verschiedenen Teile der Hirnrinde bezüglich ihrer Funktion ungleichartig sind. Dazu kommt, daß die Frage des Entstehungsortes des *Berger-Rhythmus* noch nicht entschieden ist. Während *Berger* der Auffassung ist, daß das EEG. den Ausdruck der Tätigkeit der *gesamten* Hirnrinde darstellt, ist *Adrian* mit *Matthews*¹ und *Yamagawa*² zur Auffassung gelangt, daß der *Berger-Rhythmus* nur die bioelektrische Tätigkeit des Hinterhauptlappens des menschlichen Gehirns darstellt. Vorausgesetzt, daß die letztere Auffassung richtig wäre, könnte nicht erwartet werden, daß im *Berger-Rhythmus* sämtliche psychischen Phänomene einen bioelektrischen Ausdruck finden.

Tatsache ist jedenfalls, daß die Methode von *Berger* ein Kurvenbild ergibt, das der großen Mannigfaltigkeit der Registrierungen von der weit bloßliegenden Hirnrinde mittels der bioelektrischen Lokalisationsmethode *nicht* entspricht.

Die obigen Bedenken gelten nicht für die *lokalisierten* bioelektrischen Erscheinungen, da die bioelektrische Lokalisationsmethodik mit Sicherheit jeden einzelnen Teil des Gehirns gesondert in seinem bioelektrischen Verhalten erfassen läßt. Ich bin darum der Auffassung, daß die *lokalisierten* bioelektrischen Erscheinungen für die uns hier interessierende Frage geeigneter scheinen als das EEG. nach *Berger*.

II.

Die *bioelektrische Lokalisationsmethodik* ist in früheren Arbeiten eingehend dargestellt. Im Rahmen dieser Mitteilung scheint es zweckmäßig, lediglich auf die *Frage der Elektrodenlage* etwas einzugehen, da sich auch in dieser ein wesentlicher Unterschied zwischen der Registrierung des *Berger-Rhythmus* und der bioelektrischen Lokalisationsmethodik zeigt. Für die Registrierung des EEG.s werden nach den Angaben von *Berger* die Elektrodenpaare entweder auf Stirn und Hinterhaupt oder bitemporal gelegt. In diesen Fällen also ist der Abstand der Elektroden über dem Gehirn sozusagen maximal. Das Gegenteil dazu ist der Fall, wenn man die Elektroden so eng als möglich (ohne daß sie sich berühren) nebeneinander legt (*enge bipolare Ableitung*). Dabei hat man aus physikalischen Gründen die größte Gewähr dafür, daß nur Potentialschwankungen der zwischen den Elektroden liegenden Hirnpartie zur Registrierung gelangen. Solche Registrierungen habe ich des öfteren mittels Tonstiel oder konzentrischer Metallelektroden angestellt. Beim Kaninchen aber wurden die Elektroden häufiger folgendermaßen angeordnet: Die differente Elektrode kommt auf die zur Registrierung gelangende Hirnrindenstelle und die indifferent auf eine Stelle des Schädels, die selbst keine bioelektrischen Erscheinungen aufweist, z. B. auf Knochen („*unipolare*“ *Ableitung*). Aus physikalischen Gründen ist allerdings hier vorerst anzunehmen, daß sich nicht nur die Stelle der differenten Elektrode auf das Registriergerät auswirkt. Oft wurde auch danach getrachtet, zum Anlegen der indifferenten Elektrode Knochen zu verwenden, der der Stelle der differenten Elektrode benachbart liegt. Von den registrierten Potentialschwankungen wurden fast ausnahmslos nur die Schwankungen mit großer Amplitude ausgewertet. Diese sog. unipolare Ableitung wurde u. a. deswegen der engen bipolaren

¹ *Adrian* u. *Matthews*: Brain 57, 355 (1934). — ² *Adrian* u. *Yamagawa*: Brain 58, 323 (1935).

Registrierung vorgezogen, weil aus morphologischen wie physiologischen Gründen anzunehmen ist, daß eng benachbarte Stellen mehr oder weniger gleichmäßig und gleichartig erregt werden, so daß zwischen diesen Stellen kein großes Potentialgefälle erwartet werden kann. Da eine zu große Annäherung der Elektroden¹ also sehr leicht manche Spannungsproduktion entgehen läßt, wären größere Elektrodenabstände zweckmäßiger. Diese wiederum bringen die Gefahr mit sich, daß die Elektroden gleichzeitig von strukturell (architektonisch) differenten Gebieten ableiten. Dieses gilt besonders dann, wenn im Bereich kleiner architektonischer Felder, deren es beim Kaninchen viele gibt, oder in der Nähe architektonischer Grenzen registriert wird. Bei der „unipolaren“ Ableitung ist diese Schwierigkeit viel geringer. Dazu kommt, daß sich die Potentialschwankungen, die das Gewebe zwischen den beiden Elektroden aufweist, offenbar kaum auf den Ableitekreis auswirken, sich also anscheinend weitgehend in ihrer Wirkung auf die Elektroden aufheben. Anders

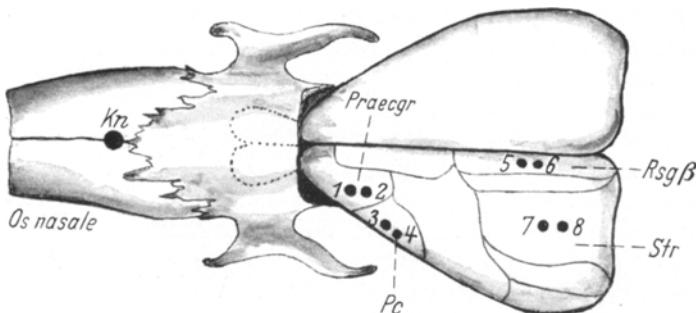


Abb. 2. Rechts, Großhirn des Kaninchens von oben gesehen; links, Teile des knöchernen Schädels. Die Ableitestellen der Registrierungen von Abb. 3 sind eingetragen.

scheinen mir die Befunde kaum verständlich, die sich aus den Abb. 2 und 3 ergeben.

Abb. 3 zeigt, daß bis jetzt keine eindeutigen Unterschiede festzustellen sind zwischen den elektrischen Potentialschwankungen in und desselben architektonischen Feldes, ob diese durch enge bipolare — wenn der Abstand der Elektroden nicht unter 2 mm liegt² — oder unipolare Ableitung gewonnen werden.

Abb. 2³ stellt die Elektrodenlagen der Registrierungen der Abb. 3 dar. Rechts ist ein Kaninchenhirn zu sehen, in dessen linke Hemisphäre einzelne Hirnrindenfelder (schematisch nach M. Rose⁴) eingezeichnet sind. Links sind Teile des knöchernen Schädels sichtbar. Die Elektrodenauflagestelle *Kn* liegt am caudalen Ende der Nasenbeine. Von den Hirnrindenstellen liegen 1 und 2 in der *Area praecentralis granularis* (*Praecgr*), 3 und 4 in der *Area postcentralis* (*Pc*), 5 und 6 in der *Area retrosplenialis granularis dorsalis* (*Rsgβ*) und 7 und 8 in der *Area striata* (*Str*).

Bei Registrierung der Kurve 2—1⁵ der Abb. 3 lag also eine Elektrode auf Stelle 2 (Abb. 2) und die andere auf Stelle 1. Bei Kurve 2—*Kn* befand sich die differente auf 2 und die indifferenten auf den Nasenbeinen (*Kn* der Abb. 2). Es ist erstaunlich, wie bezüglich der Frequenzen der Abläufe und der Kurvenform eine weitgehende Übereinstimmung zwischen diesen beiden Kurven besteht. Auch für je zwei der folgenden Kurven gilt dasselbe. Sie stellen abwechselnd je eine bipolare und eine unipolare Registrierung aus verschiedenen architektonischen Feldern dar. Alle

¹ Gemeint sind Abstände von weniger als etwa 2 mm. — ² Gilt für das Kaninchen. — ³ Gezeichnet von cand. med. O. Sieland. — ⁴ Rose, M.: J. Psychol. u. Neur. 43, 353 (1931); 45, 264 (1933). — ⁵ Die erstgenannte Stelle führt stets zum Gitter des Verstärkers und die zweite ist geerdet.

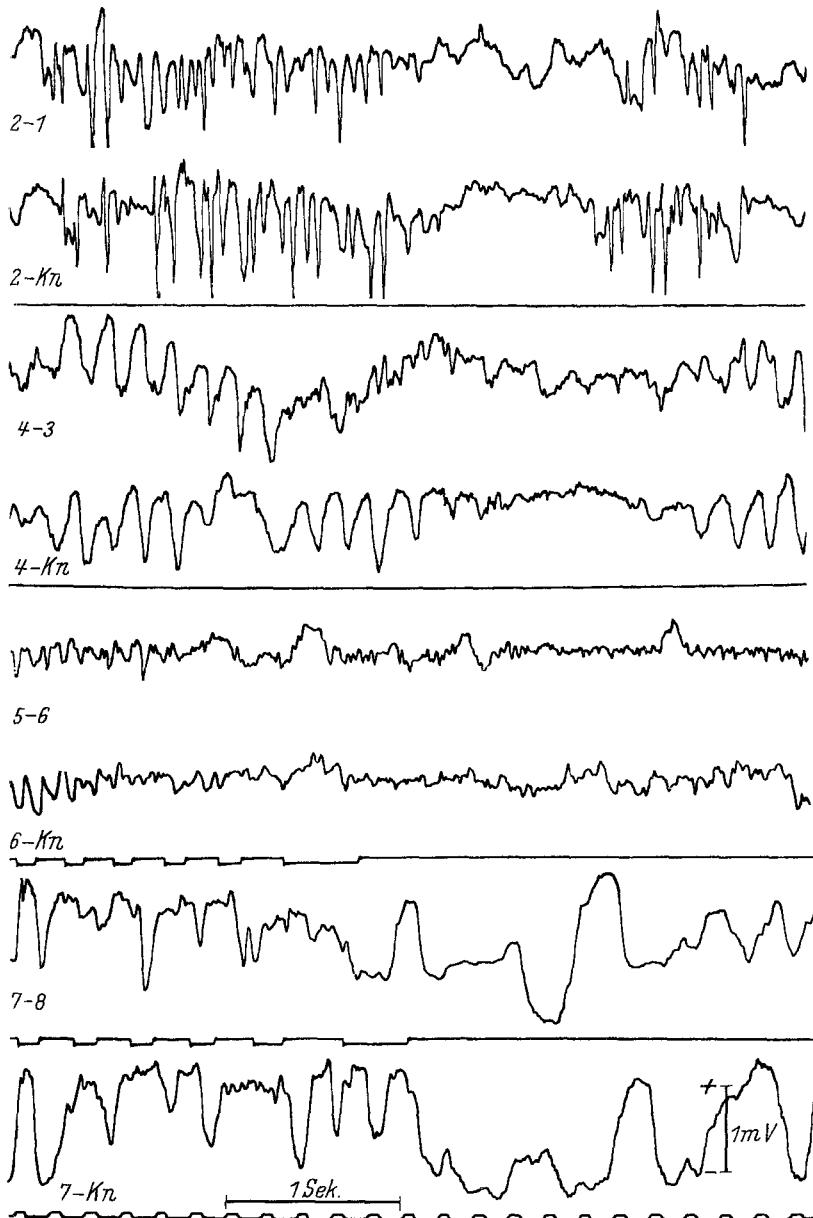


Abb. 3. Abwechselnd eine bipolare und eine unipolare Ableitung normaler bioelektrischer Potentialschwankungen der *Areae praecentralis granularis, postcentralis, retrosplenialis granularis dorsalis und striata* des Kaninchenhirns. Vor jeder Kurve die Bezeichnung der Auflagestellen der Elektroden, der Abb. 2 entsprechend.

Kurven zeigen normale Eigenströme. Lediglich der linke Teil der beiden untersten Kurven gibt Aktionsströme auf Augenbelichtung wieder. Aber auch diese sind

untereinander weitgehend ähnlich. Die großen Amplituden der beiden obersten Kurven ($2-1$ und $2-Kn$), die von der *Area praecentralis granularis* stammen, haben eine Frequenz von etwa 15 Schwankungen pro Sekunde, die der beiden folgenden Kurven ($4-3$ und $4-Kn$) solche von nahezu 6 Schwankungen pro Sekunde neben rascheren Abläufen. Die Kurven $5-6$ und $6-Kn$ aus der *Area retrosplenialis granularis dorsalis* zeigen fast ausschließlich Schwankungen kleiner Amplitude, von denen die größten etwa 10 Schwankungen pro Sekunde aufweisen. Daneben gibt es raschere Abläufe mit kleinerer Frequenz. Der Eigenstrom der *Area striata*, in der rechten Hälfte der Kurven $7-8$ und $7-Kn$ ersichtlich, zeigt mit großer Amplitude Schwankungen einer Frequenz von etwa 2 pro Sekunde. Die Aktionsströme in der linken Hälfte dieser beiden Kurven sind unter anderem durch steile An- und Abstiege in zeitlicher Abhängigkeit von den Reizanfängen und -enden gekennzeichnet. Eingehendere Beschreibungen dieser Eigenstrom- und Aktionsstromtypen finden sich in meinen früheren Arbeiten. Die eben gekennzeichneten Schwankungen großer Amplitude sind Produkte der Summation vieler kleiner Schwankungen. Diese letzteren haben natürlich höhere Frequenzen. Ihnen müßte im Laufe der Zeit mehr Interesse gewidmet werden.

Nach diesen und früheren Hinweisen auf die *Frage* der *Elektrodenlage* wird an späterer Stelle in einer gesonderten Veröffentlichung darüber ausführlich berichtet werden.

Zusammenfassend bin ich der Auffassung, daß es zur Analyse der bioelektrischen Tätigkeit umschriebener Hirnstellen *zweckmäßig ist, sowohl die unipolare als auch die enge bipolare Elektrodenlage anzuwenden.*

III.

Daß der gesunde Mensch auch ohne Sinnesreize bestimmte Wahrnehmungen hat, ist allgemein bekannt. Im Schrifttum findet man von diesen Erscheinungen das meiste über die auf dem Gebiete des Gesichtssinns. *Goethe*, *Joh. Müller* und *E. Hering* sind wohl die bedeutendsten Autoren, die uns darüber berichten. *Joh. Müller* schreibt nach langjährigen Selbstbeobachtungen über seine Seheindrücke bei geschlossenen Augen vor dem Einschlafen u. a.:

„Wenn nun im Anfang immer noch das dunkle Sehfeld an einzelnen Lichtflecken, Nebeln, wandelnden und wechselnden Farben reich ist, so erscheinen statt dieser bald begrenzte Bilder von mannigfachen Gegenständen, anfangs in einem matteten Schimmer, bald deutlicher. Daß sie wirklich leuchtend und manchmal auch farbig sind, daran ist kein Zweifel. Sie bewegen sich, verwandeln sich, entstehen manchmal ganz zu den Seiten des Sehfeldes mit einer Lebendigkeit und Deutlichkeit des Bildes, wie wir sonst nie so deutlich etwas zur Seite des Sehfeldes sehen. Mit der leisensten Bewegung der Augen sind sie gewöhnlich verschwunden, auch die Reflexion verscheucht sie auf der Stelle.“ „Nicht in der Nacht allein, zu jeder Zeit des Tages bin ich dieser Erscheinungen fähig.“ „Der kurzsichtige Einwurf, daß diese Erscheinungen wie im Traume nur leuchtend vorgestellt oder, wie man sagt, eingebildet werden, fällt hier natürlich von selbst weg. Ich kann stundenlang mir einbilden und vorstellen, wenn die Disposition zur leuchtenden Erscheinung nicht da ist, nie wird dieses zuerst Vorgestellte den Schein der Lebendigkeit erhalten“. „Am leichtesten treten diese Phänomene ein, wenn ich ganz wohl bin, wenn keine besondere Erregung in irgend einem Theil des Organismus geistig oder physisch obwaltet, und besonders, wenn ich gefastet habe.“ „Daß jeder Mensch wenigstens Spuren dieser Erscheinungen habe, davon bin ich gewiß.“

Nachdem nun hier mit wenigen Sätzen aus der klassischen Untersuchung von *Joh. Müller* „Über die phantastischen Gesichtserscheinungen“¹ eine Gruppe von Phänomenen subjektiven Inhaltes² beschrieben wurde, sollen nun neuere Tatsachen der Hirnphysiologie zur Deutung der besagten Erscheinungen herangezogen werden.

Von der Hirnrinde ist wohl auf Grund der Erfahrungen der Klinik in erster Linie anzunehmen, daß mit ihrer Tätigkeit psychische Leistungen irgendwie verknüpft sind. Was die Sehwahrnehmungen betrifft, so kommt aus anatomischen wie physiologischen Gründen mit Bestimmtheit die *Area striata* als morphologisches Substrat in Frage. Es kann in Hinblick auf die weiteren Ausführungen dabei offen bleiben, welche anderen Felder der Hirnrinde ebenfalls am Zustandekommen der Sehwahrnehmung beteiligt sein mögen. Es konnte nämlich auf Grund eingehender Untersuchungen (*Kornmüller* 1932—37) der *Beweis dafür erbracht werden*, daß jedes normaltätige Hirnrindenfeld auch beim weitmöglichsten Ausschluß von Außenreizen eine ständige Tätigkeit aufweist. Dieser Schluß wurde daraus gezogen, daß jedes untersuchte Hirnrindenfeld unter den genannten Bedingungen und bei möglichst physiologischen Verhältnissen eine ständige Produktion von bioelektrischen Spannungsschwankungen aufwies. Siehe Abb. 3! Bei der so ermittelten ständigen Tätigkeit der normalen Hirnrindenfelder, die sich in den Feldeigenströmen ausdrückt, kann man an die beim Menschen festgestellten subjektiven Phänomene denken, mit denen wir uns hier beschäftigen. Bei dem eventuellen Einwand, daß die Ableiteelektrode einen mechanischen Reiz auf die bloßliegende Hirnrindenstelle bedingen könnte, sei darauf hingewiesen, daß sich analoge Potentialschwankungen auch bei Ableitung von entsprechenden Punkten des uneröffneten Schädelknochens ergeben³. Es muß aber erwähnt werden, daß der normale elektrische Energiewechsel und entsprechend wohl auch die Tätigkeit der *Area striata* bei völligem Ausschluß optischer Reize und möglichster Vermeidung anderer Sinnesreize im Verhältnis zu anderen Feldern der Hirnrinde klein ist. Aber die mit ihnen in Parallele gesetzten subjektiven Erscheinungen sind ja ebenfalls nicht von besonderer Stärke und werden dementsprechend gewiß von vielen kaum beachtet.

Die Frage, wodurch diese ständige Tätigkeit bedingt wird, läßt nach Reizen suchen, die aber nicht so sehr aus der Außenwelt kommen mögen, sondern „endogener“ Natur sein dürfen. Die „Blutreize“, die *Graham Brown* für das Zentralnervensystem angenommen hat und von denen ausgehend auch *Goldstein*⁴ die Annahme einer ständigen Erregung dieses Systems getroffen hat, bedürfen noch einer eingehenderen Erforschung.

¹ Koblenz: Jacob Hölscher 1826. — ² Diese Erscheinungen sind als „entoptische“ Erscheinungen oder „endogenes Grau“ in die Lehrbücher eingegangen. —

³ *Kornmüller*, A. E.: J. Psychol. u. Neur. 45, 172 (1933). — ⁴ *Goldstein*: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 10, Teil 2, S. 645. 1927.

Wenn ich die ständig vorhandenen elektrischen Potentialschwankungen mit dem „Eigengrau“ in Parallele gesetzt habe, so müßten bei Belichtungen der Augen, also unter Bedingungen, von denen bekannt ist, daß sie mit Lichtwahrnehmungen verknüpft sind, und bei zunehmenden Lichtintensitäten auch eine Steigerung der Potentialschwankungen in den in Frage kommenden Gebieten der Hirnrinde festzustellen sein während *der ganzen Zeit der Einwirkung*. Dieses ist tatsächlich der Fall. Ich habe schon früher (1935) darauf hingewiesen und 1937 (l. c.) für den Affen und das Kaninchen je ein Beispiel abgebildet. Ein weiteres Beispiel zeigt Abb. 4:

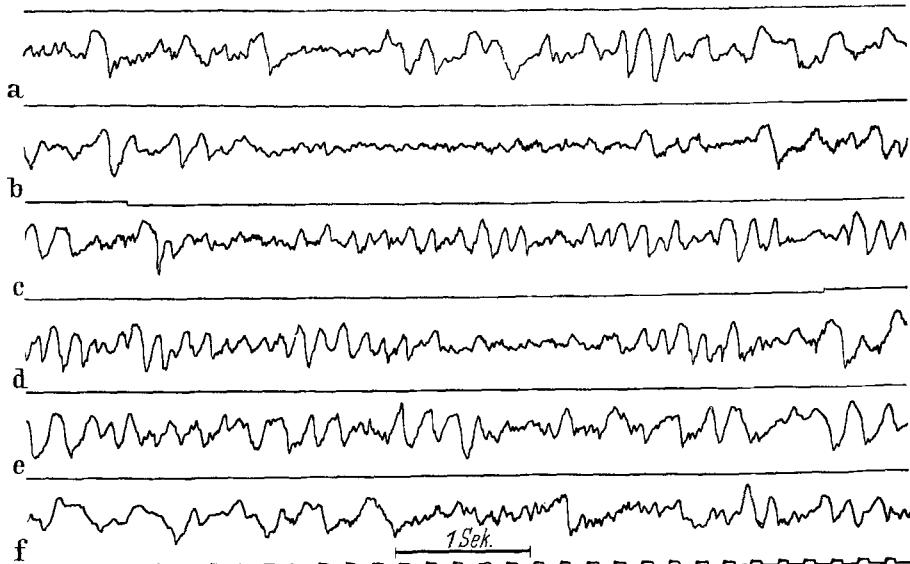


Abb. 4. Bioelektrische Potentialschwankungen der *Area striata* des Kaninchens im Dunkeln (a, b, e und f) und während gleichbleibender Augenbelichtung (c und d). Unipolare Ableitung.

Während Registrierung von a und b dieser Abbildung lag das Tier im völlig verdunkelten Raum. Auf c sieht man an der darüberliegenden Reizmarkierung den Beginn einer gleichbleibenden Belichtung der Augen, die bis gegen das Ende von Streifen d anhält. Während dieser konstanten Reizeinwirkung sind die Potentialschwankungen gegenüber denen im Dunkeln (a und b) deutlich häufiger. Nach dieser Reizeinwirkung werden sie wieder seltener, was aus e und besonders f hervorgeht. Die Streifen der Abb. 4 sind in ununterbrochener Reihenfolge registriert.

Wenn derartige Feststellungen erst nach langjährigen Untersuchungen eindeutig zu machen waren, so liegt dies an den üblichen Bedingungen, die ein Experiment mit sich bringt. Zu den obigen Befunden sind optimale physiologische Bedingungen eine Voraussetzung. Ist dieses nicht der Fall, so bekommt man zwar auch eine bioelektrische Beantwortung

von Lichtreizen über der *Area striata*, doch diese bestehen im wesentlichen nur aus Potentialsschwankungen zu Reizbeginn und Reizende.

IV.

Unter Bedingungen, die das physiologische Milieu nach Möglichkeit bewahren, lassen sich aber noch feinere Reaktionen auf Lichteinwirkungen als die eben beschriebenen „Hell-Dunkelströme“ erkennen, z. B.

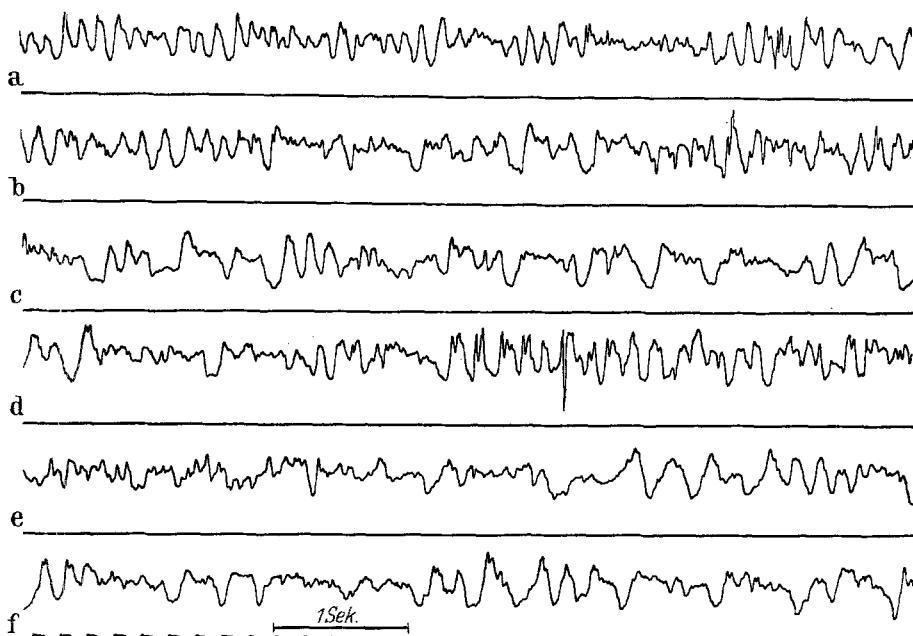
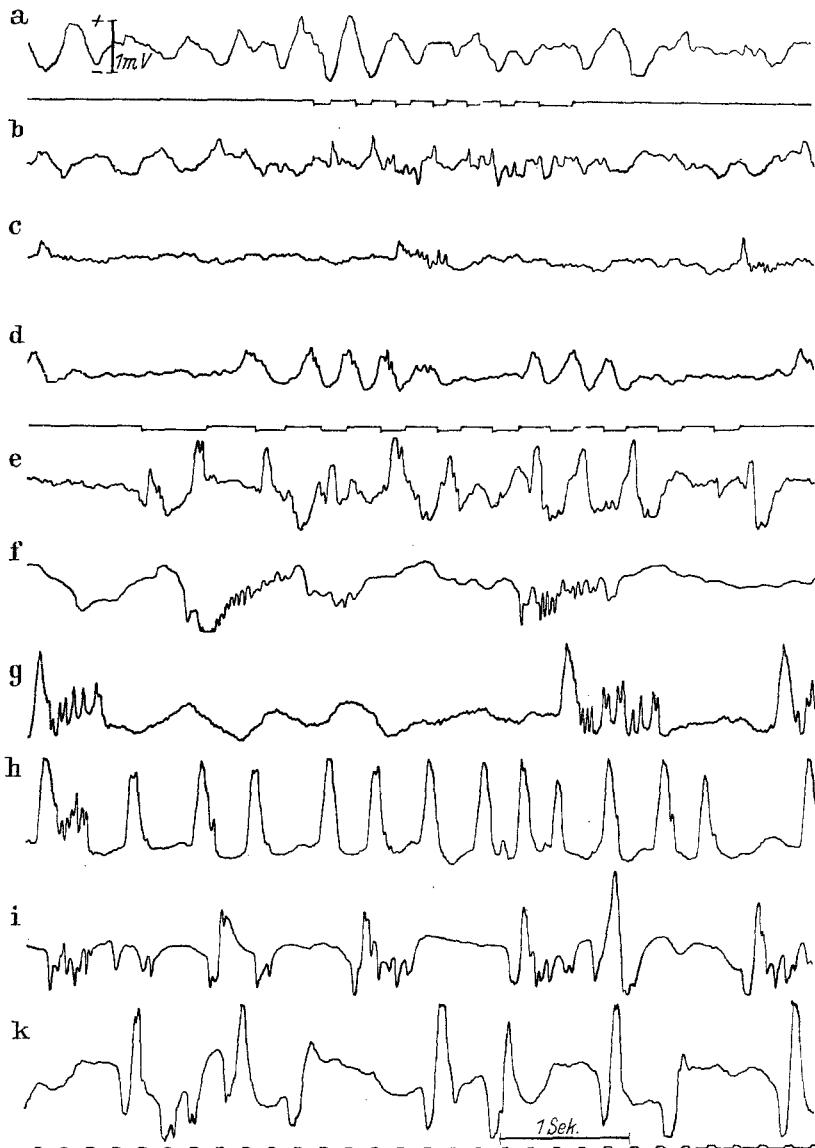


Abb. 5. Bioelektrische Nachwirkungen (b bis f) nach einer längeren gleichbleibenden Augenbelichtung (a). Unipolare Ableitung.

rhythmische Nachwirkungen nach Augenbelichtungen. Diese werden an Hand der Abb. 5 beschrieben.

a der Abb. 5 beginnt während einer Augenbelichtung, die gegen Ende dieses Streifens aufhört. Siehe die Reizmarkierung über der Kurve! Wie an Hand des letzten Bildes ausgeführt wurde, ist auch hier während des konstanten Lichtreizes ein rascherer Ablauf der Potentialsschwankungen festzustellen. Nach Reizende werden die Abläufe sogleich langsamer. Was in größerem zeitlichen Abstand von der Belichtung geschieht, interessiert hier aber am meisten. Schon bei flüchtiger Betrachtung fällt auf, daß die Frequenz der Schwankungen hier nicht so einheitlich ist. Abwechselnd sind Kurvenstücke mit größeren und solche mit kleineren Frequenzen zu sehen. Höhere Frequenzen sieht man z. B. auf b am rechten Ende und auf d auf der ganzen rechten Hälfte. Dementsprechend

darf angenommen werden, daß auch die Tätigkeit der *Area striata* im Anschluß an Augenbelichtung für einige Zeit in der Intensität ihrer



Zu Abb. 6.

Tätigkeit Schwankungen aufweist. Es ist weiterhin bemerkenswert, daß man auch *nach* Augenbelichtung über der *Area striata* ganz ähnliche Abläufe sehen kann wie *während* der Augenbelichtung, so daß wir noch eher

annehmen dürfen, daß diese Schwankungen auch nach der Lichteinwirkung mit Seheindrücken (Nachbildern) verknüpft sein dürften. Es handelt sich um Schwankungen folgender Ablaufsform: Auf eine rasche, gegen elektro-positiv gerichtete, spitze Schwankung folgt nach einer

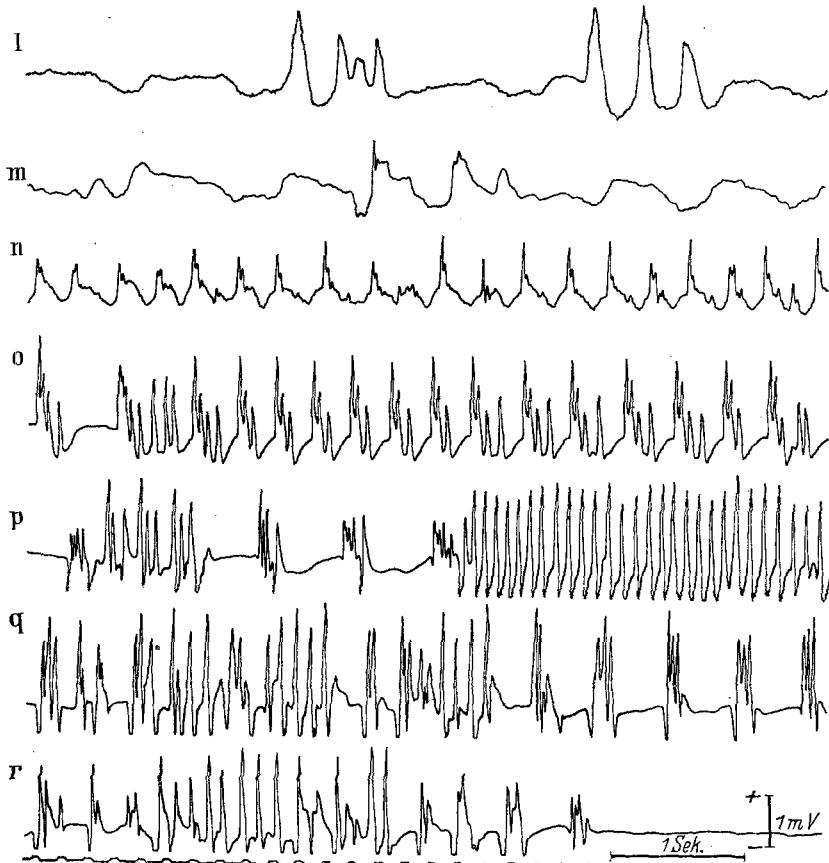


Abb. 6. Nach Registrierung normaler Eigenstromschwankungen (a) und von Aktionsströmen auf Augenbelichtung (b) der *Area striata* des Kaninchens allmähliche Entwicklung von Krampfstromabläufen (bipolare Ableitung).

anschließenden trügeren ebenso gerichteten Oszillation eine negative Schwankung.

V.

Wir wenden uns nun Erscheinungen zu, die nicht wie die bisherigen unter physiologischen Bedingungen auftreten, sondern durch *abnorme Reize* hervorgerufen werden.

Bei Durchschneidung des *Nervus opticus* an Kaninchen konnte ich feststellen¹, daß dadurch eine starke Steigerung der Eigenstromproduktion

¹ Kornmüller, A. E.: Fortschr. Neur. 7, H. 9/10 (1935).

der *Area striata* ausgelöst wird, die über etliche Sekunden andauert. Es handelt sich dabei um eine starke Erhöhung der Frequenz der Schwankungen, während die Amplitude nicht so wesentlich, jedenfalls nicht in dem Maße wie bei lokaler Reizung der *Area striata*, gesteigert wird. Starker mechanischer Reiz des Sehnerven und entsprechend auch des Bulbus¹ führt also zu Steigerung der Tätigkeit der *Area striata*. Diese könnte darum ein physiologisches Äquivalent der subjektiven Erscheinungen sein, die unter den genannten Bedingungen auftreten und die bekanntlich in intensiven Lichtwahrnehmungen bestehen. Daß subjektiv ähnliches auch bei elektrischer Reizung des Sehnerven oder des Bulbus auftritt, ist eine längst bekannte Tatsache.

Werden Reize auf die *Area striata* oder bestimmte Nachbarfelder direkt zur Wirkung gebracht, so führen diese, wie verschiedene Autoren (z. B. O. Foerster² und neuerdings für Feld 19 Urban³) berichtet haben, am Menschen ebenfalls zu starken Lichtwahrnehmungen (Photopsien). Unter den gleichen Bedingungen lassen sich aber ebenfalls deutliche Steigerungen des elektrischen Energiewechsels der Hirnrindenfelder finden. Sowohl bei mechanischen als auch elektrischen und den verschiedenartigsten chemischen Reizen konnten unter bestimmten Voraussetzungen „Krampfströme“ abgeleitet werden, wovon Abb. 6⁴ ein Beispiel zeigt. Diese sind gegenüber den normalen Eigenströmen durch eine besondere Amplitudenvergrößerung und Steilheit der Potentialschwankungen gekennzeichnet. Meist treten bei schwächerer Reizeinwirkung erst vereinzelte solcher Potentialschwankungen auf, denen bei zunehmender Reizwirkung in der Regel *kontinuierliche Krampfstromanfälle* folgen. Nach diesen ist meist eine starke Reduktion der Spannungsproduktion festzustellen (Erschöpfungsphase). Siehe dazu Abb. 6! Die Krampfstromentladungen dieser „optischen“ Felder könnten diskontinuierlichen Lichtwahrnehmungen (Lichtblitzen) entsprechen und die kontinuierlichen Krampfströme ununterbrochenen Lichteindrücken, insofern nicht durch die Reizeinwirkung schon eine Bewußtlosigkeit verursacht sein sollte.

Die Krampfströme sind aber nicht die einzige Antwort der *Area striata* und der Hirnrindenfelder überhaupt auf starke Reize. Wird ein

¹ Eigene Beobachtungen am Kaninchen. — ² Foerster, O.: Dtsch. Z. Nervenheilk. 94, 15 (1926). — ³ Urban: Z. Neur. 158, 257 (1937).

⁴ Das Tier hat bei einem Gewicht von 2800 g von einer 0,5%igen *Mezkalin*-sulf.-Lösung 2×2 ccm intramuskulär und 1×2 ccm intraperitoneal erhalten. Da diese Dosis relativ gering ist, ist es nicht ausgeschlossen, daß für die Auslösung dieser Krampfstromanfälle noch unkontrollierte zusätzliche Reize mitverantwortlich zu machen sind. Die 1. Injektion erfolgt nach Registrierung der Streifen a und b und die letzte etwa 18 Min. später. Kurve e wurde registriert, nachdem das Tier alle 3 Injektionen erhalten hatte und zwar 36 Min. nach der 1. Injektion. Die späteren Registrierungen wurden in folgenden Zeitäbständen von der 1. Injektion registriert: d $37\frac{1}{2}$, e $39\frac{1}{2}$, f $47\frac{1}{2}$, g 51 Min., h, i und k wurden in der 52. und l in der 58. Min. nach der 1. Giftgabe gewonnen.

Reiz mit allmählich zunehmender Reizintensität zur Wirkung gebracht, so läßt sich in bezug zu dem normalen Eigenstrom auf Grund dessen Abänderungen eine *Reihe von Stadien* der Tätigkeitsabänderung feststellen, in denen man auch gewisse Analogien zu subjektiven Erscheinungen sehen könnte, was hier nicht ausgeführt werden soll.

Daß man bei parenteraler Einverleibung verschiedener Gifte, was das einzelne Hirnrindenfeld betrifft, ähnliche bioelektrische Stadien (auch Krampfströme) erhalten kann, wie bei direkten lokalen Einwirkungen auf die Felder, wurde früher (z. B. 1935 und 1937 l. c.) ausgeführt. Die Abänderungen des normalen Eigenstromes bestehen z. B. in dem Auftreten einer Diskontinuität der sonst mehr oder weniger ununterbrochenen Spannungsproduktion und bei stärkerer Giftwirkung im Auftreten von einzelnen Krampfstromentladungen, die wiederum von großen Krampfstromanfällen gefolgt sind. Diesen schließt sich in der Regel eine maximale Reduktion jeglicher Spannungsproduktion an. Sind diese Erscheinungen über bestimmten Hirnrindenfeldern (z. B. der *Area praecentralis*), dann zeigen sich mit ihnen motorische Krämpfe in gewissen Körperabschnitten zeitlich streng verknüpft. Dabei handelt es sich um einzelne klonische Krampfzuckungen, wenn die einzelnen Krampfstromschwankungen auf der Hirnrinde registriert werden und um einen andauernden Muskelkrampf während des kontinuierlichen Krampfstromanfalles auf dem Hirnrindenfeld. Sind die Krampfströme zu Ende, so ist dies auch bei den motorischen Krämpfen der Fall. Diesen Krampfstromstadien haben wir weiter oben, wenn sie auf der *Area striata* auftraten, diskontinuierliche und kontinuierliche intensive Lichtwahrnehmungen des Individuums zugeordnet. Wenn auch die bioelektrischen Erscheinungen, die motorischen Krämpfe und die optischen Wahrnehmungen verschiedener Natur sind, so war doch Grund zur Annahme vorhanden, daß ebenso wie zwischen den Krampfströmen bestimmter Hirnrindenfelder und den Muskelkrämpfen zeitliche Beziehungen in ihren Abläufen bestehen, auch solche zwischen den Krampfströmen anderer Felder und den intensiven Lichtwahrnehmungen vorhanden sind.

VI.

Diese Untersuchung wollte die eingangs gestellte Frage auch nicht auf Grund des schon vorliegenden Materials erschöpfend behandeln, sondern lediglich einzelne Beispiele anführen zur Stützung der Hypothese, daß ein auffallender zeitlicher „Parallelismus“ zwischen meßbaren Hirnprozessen und bestimmten psychischen Vorgängen zu beobachten ist. Die Feinheit der bioelektrischen Lokalisationsmethode dürfte demnach geeignet sein, hier weiter zu forschen und unser Wissen von den Beziehungen „psychischer“ Vorgänge zu einzelnen Hirnfeldern und -prozessen zu vertiefen und endlich einmal exakt zu begründen.
