

## Fünfzig Jahre EEG

### Hans Bergers Entdeckung des Elektrenkephalogramms und seine ersten Befunde 1924–1931\*

Richard Jung und Wiltrud Berger

Abteilung für Klinische Neurologie und Neurophysiologie der Universität Freiburg i. Br.,  
Bundesrepublik Deutschland

#### Fiftieth Anniversary of Hans Berger's Publication of the Electroencephalogram

##### His First Records in 1924–1931

**Summary.** For the fiftieth anniversary of Berger's first EEG publication, some of his early recordings obtained between 1924 and 1931 are discussed and illustrated. Examples of his protocols from the Freiburg Berger Archives are reproduced.

Three types of Berger's early investigations are described: (1) *String-galvanometer recordings* obtained between 1924 and 1926, mainly from trephined patients with cerebral diseases, which usually showed brain waves slowed to 6–8 per second; (2) *Direct recordings from the cortex and white matter* proving the cortical origin of the EEG in 1930; (3) Typical *unpublished EEG recordings of epileptics and of petit-mal attacks* obtained in 1930 and 1931.

Berger's first six papers published between 1929 and 1933 described nearly all the main EEG findings of cerebral diseases and the EEG alterations of normals during attention, sleep, and narcosis, but they did not report on convulsive potentials in the EEGs of epileptics. Berger had, however, obtained excellent records of epileptic EEG features, here depicted in Figs. 4 through 7. These remained unpublished until 1933 and 1938, because Berger suspected that they contained artifacts caused by blinks and facial movements which he had recorded in his controls (Fig. 4).

---

\* Dem Andenken an Frau Ursula Berger, geb. von Bülow (1886–1970) gewidmet, die über 30 Jahre unermüdlich mit Geduld und Güte Hans Bergers Arbeit unterstützte und seine Tagebücher und Aufzeichnungen bewahrte.

Die Arbeit wurde vom Sonderforschungsbereich Hirnforschung und Sinnesphysiologie (SFB 70) unterstützt.

Sonderdruckanforderungen an: Prof. Dr. R. Jung, Neurologische Klinik und Abteilung für Neurophysiologie der Universität, Hansastraße 9, D-7800 Freiburg i. Br., Bundesrepublik Deutschland

Only in 1933, after other authors had described large amplitudes of convulsive potentials in the cortex of animals, did Berger publish parts of the EEGs of a petit-mal attack and of focal attacks in progressive paresis. In 1938, Berger presented the EEG of the beginning of a petit-mal attack with large 3/s spikes and waves recorded in 1931 which were similar to those described by Gibbs and coworkers in 1935. In 1933 and 1938, Berger interpreted the abnormal brain potentials of epileptics as signs of a preconvulsive state of the forebrain and suggested that the periods of 3/s waves were cortical correlates of an epileptic absence.

**Key words:** Hans Berger – Early EEG recordings, 1924—1931 – Cortical and subcortical recordings – Epilepsy – Petit mal.

**Zusammenfassung.** Zum 50. Jahr seiner ersten EEG-Publikation werden Bergers frühe EEG-Ableitungen von 1924—1931 aus dem Freiburger Berger-Archiv besprochen und illustriert.

Drei Arten der frühen Untersuchungen Bergers werden im einzelnen besprochen: 1. *Saitengalvanometerableitungen von 1924–1926* vorwiegend bei Patienten mit Knochenlücken, die bei diesen Patienten mit Hirnerkrankungen verlangsamte Grundrhythmen von 6—8/s zeigten. 2. Die *direkte Ableitung von Rinde und Mark* eines trepanierten Patienten 1930, die den Ursprung des EEG in der Hirnrinde klar nachwies. 3. Typische *unpublizierte EEG-Befunde bei Epilepsien 1930–1931* im Anfallsintervall und bei Absencen werden abgebildet.

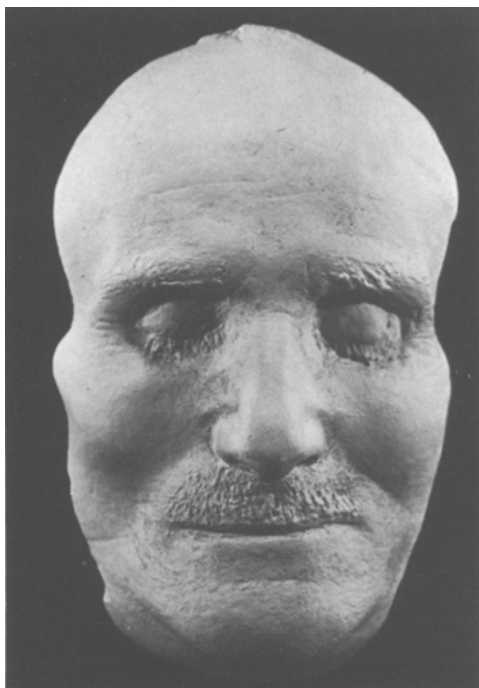
In Bergers ersten 6 Mitteilungen, die alle wesentlichen EEG-Befunde bei Hirnerkrankungen und die EEG-Veränderungen bei Aufmerksamkeit, Schlaf und Narkose beschreiben, fehlen diese in Abb. 4—7 illustrierten EEG-Kurven von Krampfpotentialen. Berger hat seine Epilepsie-Befunde zunächst zurückgehalten, weil er Bewegungsartefakte befürchtete und seine Kontrollen ähnliche Formen bei Lid- und Stirnbewegungen zeigten (Abb. 4a, b).

Erst 1933, nachdem andere Untersuchungen über experimentelle Epilepsie bei Tieren das Vorkommen abnorm großer Krampfentladungen der Hirnrinde nachwiesen, wagte Berger in der 7. Mitteilung EEG-Ausschnitte eines Petit-mal-Anfalls und fokaler Anfälle bei Paralyse zu publizieren. In einer Synopsis des EEG 1938 illustrierte Berger den Beginn einer Absence mit großen 3/s-Wellen, die den von Gibbs und Lennox 1934 als „spike and wave“ bezeichneten Formen entsprachen. Berger deutete 1933 die abnormen steilen und unregelmäßigen Hirnpotentialformen als „Anfallsbereitschaft des Großhirns“ und die Perioden großer 3/s-Wellen als corticale Begleiterscheinungen der Absencen.

**Schlüsselwörter:** Hans Berger – Frühe EEG-Registrierungen, 1924—1931 – Direkte Hirnableitung – Epilepsie – Absencen.

## Einleitung

Im Sommer 1929, vor jetzt einem halben Jahrhundert, erschien im Band 87 unseres Archivs Bergers erste Arbeit „Über das Elektrenkephalogramm des



**Abb. 1.** Bergers Totenmaske. Hans Berger (1873—1941) war seit 1897 in der Psychiatrisch-Neurologischen Klinik Jena tätig, 1901—1919 als Privatdozent, Oberarzt und apl. Professor, 1919—1938 als o. Professor und Klinikdirektor. Die Entdeckung der Registrierung der menschlichen Hirnströme, des von ihm sogenannten Elektrenkephalogramms, beschäftigte ihn von 1924 bis zu seiner Emeritierung 1938. Die Totenmaske wurde in der Medizinischen Universitätsklinik Jena am Tage seines Todes (1.6.1941) abgenommen. Das Original befindet sich in der Hans-Berger-Klinik Jena

Menschen“ [2]. Berger hat damit eine neue diagnostische Methode in der Neuropsychiatrie eingeführt, aber niemand hat damals daran geglaubt. Seine weiteren 14 Arbeiten über das EEG [3—16], die 1929—1938 sämtlich bis auf zwei in unserem Archiv erschienen, beschrieben fast alle wesentlichen EEG-Befunde bei Gesunden und Kranken, die Berger als Erster gesehen hat. Damit wurde eine physiologische Richtung der Hirnforschung begründet, die zum ersten Mal eine Hirnrindenaktivität direkt zu registrieren erlaubte und eine elektrobiologische Untersuchung von Hirnerkrankungen ermöglichte. Durch Glooers Übersetzung [19] sind die Arbeiten Bergers jetzt auch in englischer Sprache zugänglich. Die Entdeckungsgeschichte des EEG wurde nach Bergers Tagebüchern und Protokollen an anderer Stelle dargestellt [20].

Obwohl Berger für seine Registrierungen von 1924—1931 nicht die Hilfsmittel der modernen Verstärkertechnik hatte und bis 1927 mit dem launischen Instrument des Saitengalvanometers arbeiten mußte, das die EEG-Wellen nur mit Millimetrausschlägen sichtbar machte, hatte er seit 1928 mit Hilfe von zwei Siemens-Spulengalvanometern grundlegende Befunde über das menschliche EEG registrieren können. Bis 1933 unveröffentlicht und fast unbekannt blieben

Bergers Registrierungen typischer EEG-Kurven von Epileptikern, die hier durch Bilder illustriert werden sollen. Von seinen unpublizierten Kurven 1925—1931 haben wir im Folgenden charakteristische Beispiele ausgewählt, die als Inkunabeln der hirnelektrischen Forschung gelten können.

### Bergers Methodik

Für die Registrierung der Hirnströme hat Berger von 1902 bis 1926 den von Einthoven entwickelten *Saitengalvanometer* in der von Edelman verbesserten und standardisierten kleinen und großen Ausführung verwendet. Damit machte er seine Tierexperimente 1902—1910 und die ersten Menschenableitungen, vorwiegend von Trepanierten 1924—1926. Seit Mitte 1926 verwendete er ein doppeltes *Spulengalvanometer von Siemens ohne Verstärker*, das die Alpha-Wellen des EEG als Amplituden von 3—8 mm Höhe gut aufzeichnete (Abb. 3—7). Seit 1931 benutzte Berger einen *Verstärker* für den Siemens-Oszillographen und erhielt damit in einer Kurve sehr große Amplituden, die oft übersteuert wurden (Abb. 7). In der zweiten, nicht verstärkten Kurve schrieb er meistens das EKG mit. Nur selten verwendete er zwei gleichzeitige Ableitungen vom Schädel, die eine mit, die andere ohne Verstärkung. Die Synchronisierung der beiden Galvanometerkurven war nicht perfekt, so daß er häufige Kontrollen machte. Als *Zeitschreibung* verwendete er beim Saitengalvanometer eine  $\frac{1}{5}$  s. Markierung (Abb. 2) und beim Siemens-Galvanometer eine Stimmgabel mit 10 Hz Schwingungen (Abb. 3—7 unten). Bei den Galvanometerkurven entspricht daher eine Schwingung 100 ms wie bei den Alphawellen. In den Auswertungen bezeichnete Berger, wie in den 20er Jahren bei vielen Physiologen üblich, die Millisekunden mit  $\sigma$  (Sigma) (Abb. 2, 4, 5, 6).

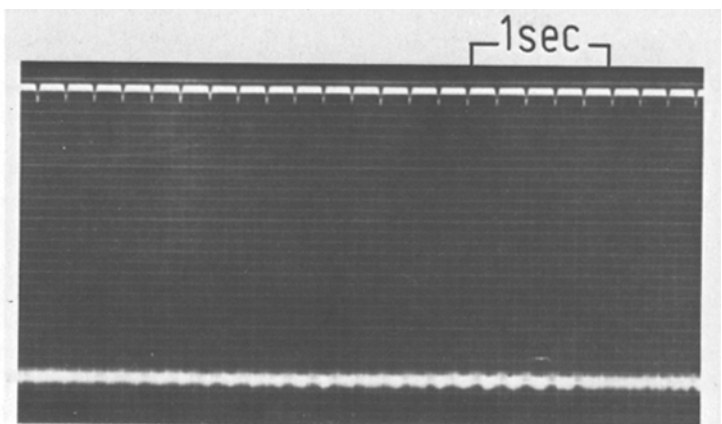
Nicht nur die Eichungen der Saitengalvanometerkurven sind schwierig festzustellen, auch die Amplitudeneichung des Siemensgalvanometers ist nicht immer bei den Kurven, wie in Abb. 6 erkennbar. Doch kann man annehmen, daß in den unverstärkten Kurven 100  $\mu$ V eine Amplitude von etwa 1 mm beim Saitengalvanometer und 2,5 mm beim Spulengalvanometer erreichten.

Die ersten Ableitungen vom Schädel wurden 1924 z. T. mit unpolarisierbaren Tonstiefel-Elektroden (Abb. 5 in [20]) z. T. mit Nadelelektroden (Abb. 6 in [20]) durchgeführt. Seit 1925 benutzte er *Bleielektroden oder Silberfolien* auf der Haut oder *chlorierte Silbernadeln*, die meistens occipital und frontal in die Kopfschwarte eingestochen wurden. Zur Erkennung von Pulsartefakten wurden EKG und bei Trepanierten auch Hirnpulsationen über Marey-Frank'sche Kapseln oder Pulstelephon mitregistriert.

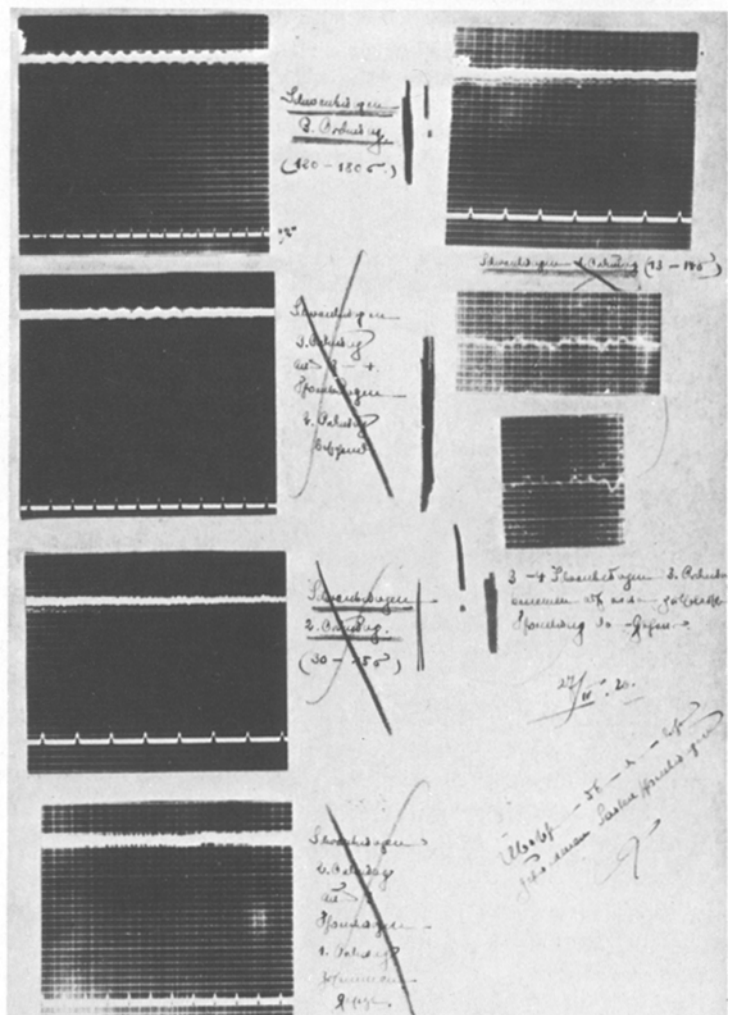
---

**Abb. 2a und b.** Bergers frühe EEG-Ableitungen mit dem Saitengalvanometer 1925/26. **a)** Registrierung vom 14. 11. 1925 von beiden temporalen Knochenlücken. Beidseits temporal trepanierte Patientin. Ableitung mit Bleielektroden von der Trepanationslücke. Oben die Zeitschreibung 200 ms, in der Mitte die kaum erkennbare verlangsamte Grundfrequenz um 6/s. Im Protokoll notierte Berger: „16. Versuch Ehrhardt 14. XI. 25 Blei-Elekt. R. u. L. auf den beiden Trep. Stellen“, für die Saite: „Platinfaden 2600 Ohm, Empfindlichkeit 2,0 1. Kurve Kopfrechnen, sehr schöne Schwankungen periodisch auftretend 54 Wellen 9,2" 1 Welle = 0,188". **b)** Erster Ordnungsversuch der EEG-Wellen nach ihrer Frequenz 1926. Mit den ersten Saitengalvanometerkurven hat **Berger die oberste Registrierung von 6—8/s mit Wellenlängen von 120—180 ms**, die er 1929 „Wellen 1. Ordnung“ [2] und 1930 „Alpha-Wellen“ [3] nannte, als sichere Hirnpotentiale interpretiert. Die schnelleren Wellen — zunächst als Schwankungen 1. und 2. Ordnung, später als Beta-Wellen bezeichnet — hat Berger als unsichere Hirnpotentiale wieder ausgeschieden und den Text durchgestrichen. Seine nicht-durchgestrichene *Beschriftung* lautet: „Schwankungen dritter Ordnung (120—180 sigma). 3 bis 4 Schwankungen 3. Ordnung kommen auf eine pulsatorische Schwankung des Gehirns (27. IV. 26). Überschau über die bisher gefundenen Saitenschwankungen“. Da Berger die besten EEG-Kurven von trepanierten Patienten erhielt, die einen verlangsamten Grundrhythmus hatten, entsprachen die 1925/26 registrierten Schwankungen 3. Ordnung einer Zwischenwellenfrequenz von 6—7/s und nicht der normalen Alphafrequenz von 8—12/s

a



b



Berger numerierte die einzelnen EEG-Untersuchungen seit dem 10.2.1925 fortlaufend in den Protokollen. In jedem Versuch wurden bis zu 20 EEG-Kurven geschrieben, die ebenfalls fortlaufend numeriert wurden. So kamen von 1925—1931 bis zu der in Abb. 7c, d illustrierten Ableitung 2109 Kurven in 353 Untersuchungen zur Auswertung. Das Freiburger Archiv enthält 3567 EEG-Kurven bis zum Jahre 1938, als Berger seine Untersuchungen mit der Emeritierung einstellte.

Die EEG-Untersuchungen fanden jeweils am Nachmittag statt. Dafür wurde, um akustische, mechanische und Netzstörungen zu vermeiden, in dem Stockwerk seiner Untersuchungs-zimmer der Lichtwechselstrom ausgeschaltet und absolute Ruhe eingehalten. Die technische Hilfskraft Wilhelm Keuscher, der die Untersuchungen vorbereitete und die Apparate überwachte, wurde so historisch zum ersten EEG-Assistenten. Berger bestimmte die Patienten und Versuchspersonen, plante und dirigierte und protokollierte jeden Versuch selbst und ließ niemals andere Mitarbeiter eine EEG-Aufnahme machen. Nur sein Oberarzt Dr. P. Hilpert war bei den meisten Ableitungen beteiligt. Die anderen ärztlichen Mitarbeiter wechselten für verschiedene Hilfsfunktionen der Patientenbeobachtung, Sinnesreizung und Medikamentapplikation bis zu Narkosen mit Chloroform, Äther, Avertin und Evipan und für Anoxie, die Berger als erster hirnelektrisch studierte [4, 10].

Berger hat alle seine Kurven *optisch* registriert und erst nach Entwicklung analysieren können. Obwohl Tönnies seinen Tintenschreiber schon 1931/32 entwickelt hatte [23] und für die experimentelle EEG-Forschung verwendete, war dieser nur für das Hirnforschungsinstitut Berlin-Buch konstruiert und bis 1950 gab es in Deutschland keine direkt-schreibenden EEG-Apparate. Berger hatte daher keine Möglichkeit, direkt sichtbar zu registrieren.

## Dokumente von Bergers EEG-Untersuchungen 1924—1931

### *Frühe EEG-Ableitungen mit dem Saitengalvanometer 1924—1926*

Die ersten Ableitungen der Hirnströme beim Menschen begannen am 26. Juni und 6. Juli 1924 bei trepanierten Patienten, nachdem Berger den Plan am 2. Juni 1924 notiert hatte (Abb. 4 in [20]). Er hatte damals percutane Reizversuche der motorischen Hirnrinde mit Messung der Latenzzeit der Handbewegung begonnen. 14 Jahre vorher hatte er seine alten Tierexperimente direkter Cortex-registrierungen bei Hunden (1902—1910) wegen unsicherer Ergebnisse aufgegeben [2, 20]. Zunächst beschränkte er sich beim Menschen auf Ableitungen von *Knochenlücken*, bei den von seinem chirurgischen Fakultätskollegen Guleke palliativ trepanierten Patienten, z. T. traumatische Hirnläsionen, z. T. Hirntumoren mit temporaler Dekompression nach Cushing oder leichten Hirnprolapsen.

Das heikle Instrument des *Saitengalvanometers* war vor Entwicklung der Verstärkertechnik die beste Apparatur zur Registrierung kleiner bioelektrischer Ströme. Es erreichte bei entspannter Saite etwa 1 cm Ausschlag für 1 mV. Da es ein stromregistrierendes Instrument war, machte Berger Widerstandsmessungen. Die Eichung ist daher für die heute an Verstärkern üblichen Spannungsgrößen schwierig zu korrelieren.

Von 1924—1925 hat Berger nur wenige Ableitungen durchgeführt, da ihn vorwiegend die Rindenreizexperimente interessierten. Eine Registrierung der ersten Experimente vom 6. VII. 24 ist nicht mehr auffindbar, doch sind die Versuchsplanungen (Abb. 4 u. 5 in [20]) und Protokolle erhalten. Berger beobachtete die feinen Schwankungen der Saite zunächst am kleinen, seit 1925 am großen Saiten-

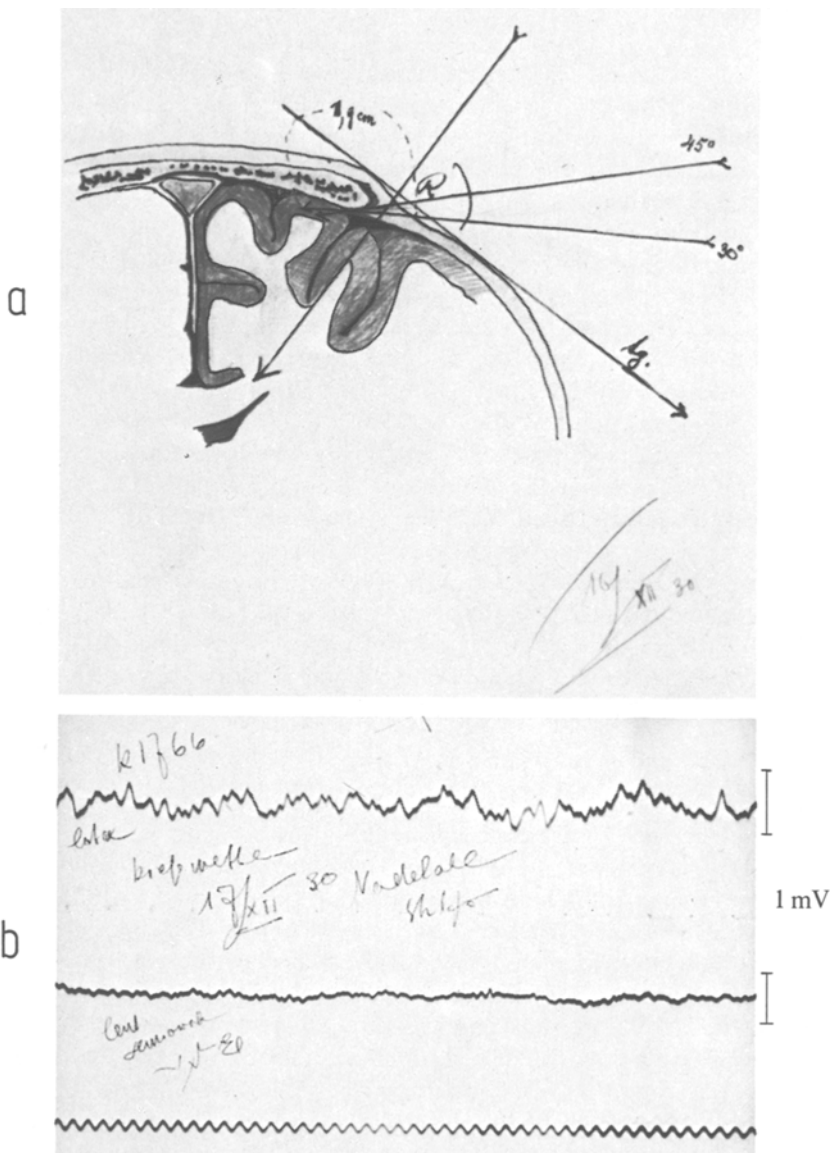
galvanometer. Da an diesem schwierigen Instrument die Saite bei stärkeren Auslenkungen häufig am Magnet kleben blieb, verminderte er die Stöempfindlichkeit durch Einschaltung eines Kondensators und registrierte nur wenige Kurven. Die kleinen Amplituden der Hirnströme waren mit dem schwachen Zittern der Saite kaum erkennbar (Abb. 2). Es ist verständlich, daß Berger diese Kurven nie veröffentlichte und im Tagebuch immer wieder Zweifel an der Realität des EEG notiert werden, z. B. am 25. IV. 25: „Die Rindenströme sind zu schwach, um sie praktisch verwerten zu können“ [20]. Doch versuchte Berger schon 1926 eine erste Ordnung der Hirnströme nach ihren Frequenzen durchzuführen (Abb. 2b). Den häufigsten Grundrhythmus von 6–12/s nannte er 1929 Wellen erster Ordnung [2], 1930 die Wellenlängen von 90–120 ms „Alpha-Wellen“, die kürzeren von 30–45 ms „Beta-Wellen“ [3].

Berger war zunächst überrascht, daß entgegen seiner Erwartung bei Sinnesreizen oder geistiger Tätigkeit (Rechnen), eine Verstärkung der Hirnströme zu sehen, diese meist *geringer* wurden. Nachdem er dann seit 1926 mit dem Siemens-Spulengalvanometer die Alpha-Wellen besser registrieren konnte, überzeugte er sich 1928 von der Blockierung der Alpha-Wellen durch Augenöffnen und Aufmerksamkeit und ihrer Aktivierung nach Augenschluß (Abb. 8 in [20]). In der 2. Mitteilung 1930 publizierte er typische Kurven dieses „Erlöschens der Alpha-Wellen“ durch Sinnesreize und Aufmerksamkeit und deutete es als „Hemmung“ der Hirnrinde durch ein aktives Arbeitszentrum [3].

#### *Die direkte Hirnableitung von Rinde und Mark bei Hirnpunktion, Dezember 1930*

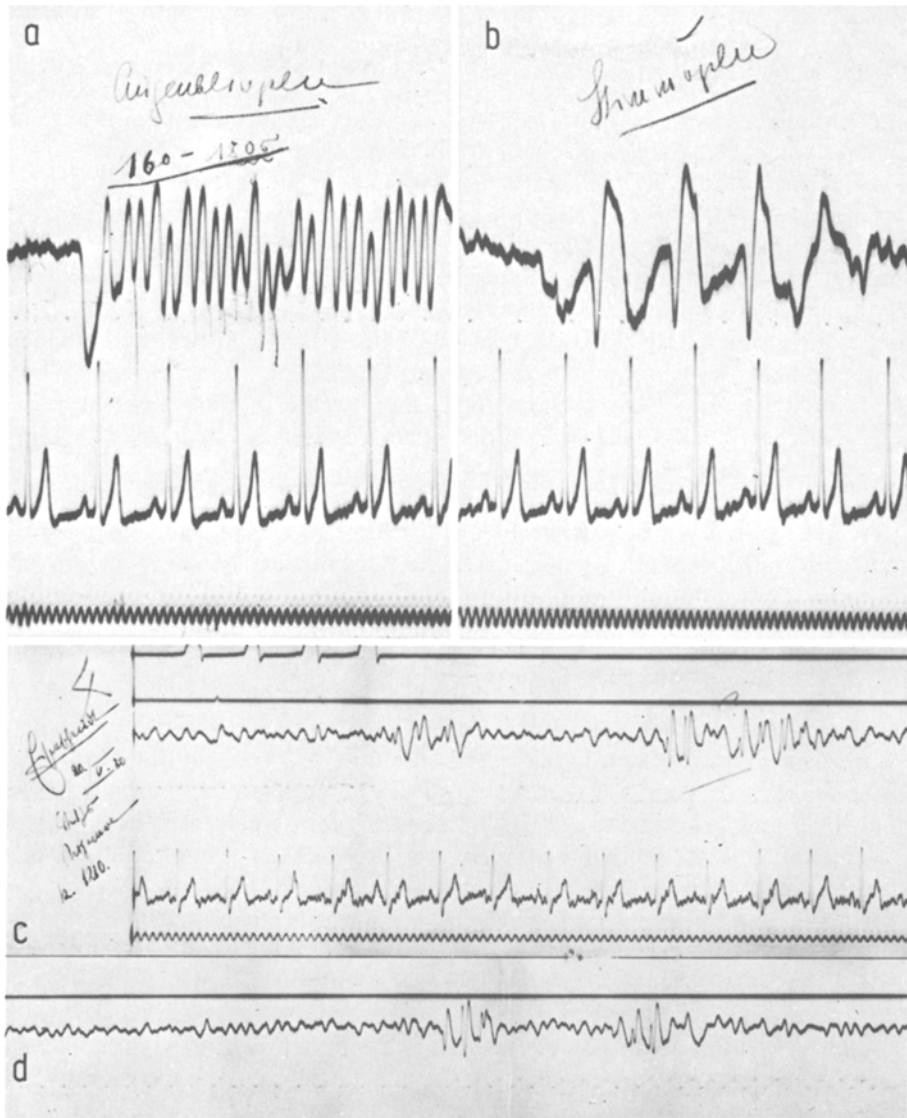
Da auch die guten Kurven mit dem doppelten Siemens-Spiegelgalvanometer bei Trepanierten und Gesunden die Entstehung des EEG in der Hirnrinde nicht direkt beweisen konnten, entschloß sich Berger 1930 zu einer direkten Ableitung von Mark und Rinde des Großhirns. Damals wurde die Technik der Hirnpunktion nach Neisser in vielen deutschen Kliniken als diagnostische Maßnahme bei Patienten verwendet. Zur Tumorsuche wurden auch Widerstandsmessungen (Hirn-Rheometrie A. W. Meyers) durchgeführt. Mit entsprechender Technik machte Berger bei einem trepanierten Hirntumorkranken im Einverständnis mit dem Patienten am 17. 12. 1930 die entscheidenden Ableitungen.

Abbildung 3a zeigt seine Elektrodenpositionen im parietalen Cortex und Subcortex. Die Registrierungen ergaben eindeutig größere Hirnpotentiale in der Rinde als im Mark bei bipolarer Ableitung von zwei Nadeln etwa gleicher Distanz von 9 und 7 cm (Abb. 3b). Einen Ausschnitt von diesen Ableitungen (Kurven 1752 u. 1754) veröffentlichte Berger in der 3. Mitteilung 1931 [4]. Doch brachte er wegen verschiedener Eichgrößen der beiden Galvanometer keine gleichzeitige Ableitung, die unsere Abb. 3b von der späteren Kurve 1766 mit Bergers Beschriftung zeigt: In der oberen Cortexabbildung erkennt man die Alpha- und Beta-Wellen außer den langsamen Wellen, die in dem durch Hirnödem und Tumor-geschädigten Gehirn häufig waren. Im Mark des Großhirns sind die EEG-Wellen auf etwa  $\frac{1}{10}$  verkleinert. Bergers Tagebuchnotizen der nächsten Tage spiegeln seine Besorgnis um das Ergehen des Patienten, der eine stärkere cerebrale Reaktion als erwartet zeigte. Nach wenigen Tagen erholte sich der Patient, und das Tumorwachstum zeigte sich erst einige Monate später.



**Abb. 3a und b.** Bergers direkte Registrierungen durch Nadelableitung von Hirnrinde und Großhirnmark 1930. **a)** Skizze Bergers für die Lage der intracerebralen Elektroden (bis zur Spitze isolierte Silbernadeln) im parietalen Cortex unter der Knochenlücke links-parietal (Palliativ-Trepanation 7 Wochen vor der Ableitung vom 17. XII. 1930) bei einem 20jährigen Mann mit einem bei der Operation nicht verifizierten Tumor cerebri. 16. XII. 30 datiert als Planskizze vor der Ableitung. **b)** Die EEG-Ableitungen (Kurve 1766). Die obere Kurve von der parietalen Rinde zeigt unregelmäßige Wellen vorwiegend Alpha-Frequenzen mit überlagernden Beta- und Zwischenwellen und Amplituden bis etwa  $200\mu\text{V}$ ; die untere Kurve vom subcorticalen Mark zeigt kleine Wellen mit mehr Beta-Frequenzen und Amplituden bis  $30\mu\text{V}$ . Die beiden Cortex-Nadeln hatten eine Distanz von etwa 9 cm, die subcorticalen von 7 cm. Die Beschriftung Bergers in **b** lautet: „K 1766: Cortex, Kiesewetter, 17. 12. 1930. Nadelableitung, Augen geschlossen (stenographisch), Zentr. (um) semiovale (und wieder stenographisch): eingeführte Elektroden“. Zeitschreibung 10/s





**Abb. 4a–d.** Bergers Artefaktkontrollen für Bewegungspotentiale (1928) und Epilepsie-EEGs (1930). **a)** Beim raschen Blinzeln (Beschriftung „Augenblinzeln“) ähnelten die Artefakte großen steilen Alphawellen. Als Wellenlänge schrieb Berger darüber 160—180 sigma. **b)** Beim mehrfachen Stirnrunzeln erhielt er steile spike-wave-ähnliche Potentiale. Ableitungen mit Bleifolienelektroden vom 28.2.1928 bei einem Gesunden. Auf der Rückseite wurde von ihm notiert „wichtig wegen der Einflüsse von Bewegungen“. **c, d)** EEG einer traumatischen Epilepsie mit Perioden typischer Krampfpotentiale Mai 1930. Occipito-frontale Ableitung, die Berger zusammen mit dem EKG registrierte. Die in unregelmäßigen Abständen auftretenden Krampfpotentiale hat Berger mit Fragezeichen versehen, da er die ähnlichen Artefakte der Abb. 4a, b kannte. Die erste Beschriftung der Kurven links lautet: „Eisen Schmidt, 20. V. 30, Augen geschlossen, Ruhe-Kurve K 1210“. In seiner Auswertung schreibt Berger am 21.5.30 nach Vergleich mit einer anderen Epileptiker-Kurve: „In beiden Fällen liegt eine schwere Epilepsie-Demenz vor! Beide erhielten Luminal und man könnte auch an solche Wirkungen denken. Jedenfalls scheint dies der erste greifbare Befund“. — „Es besteht somit kein Zweifel, daß es sich hierbei um *keine* Versuchsfehler handelt!“ — „Die epileptische Demenz geht mit diesen Veränderungen des E.E.Gr. einher“

### *Kontrollen von Bewegungsartefakten und Epilepsie-EEG*

Eine Hauptsorge Bergers bei der Auswertung seiner Kurven war die Anfälligkeit für Bewegungsartefakte. Er machte systematische Versuche, verschiedene Arten dieser *Bewegungsstörungen aufzuzeichnen*, um sie von echten Hirnpotentialen zu unterscheiden. Als Beispiel zeigen wir den Versuch vom 28.2.1928. Um die Störungen zu erkennen, registrierte Berger EEG-Ableitungen bei folgenden Bewegungen: Kopfnicken, Kopfdrehen, Kaubewegungen, Lidblinzeln, Stirnrunzeln, Zungenbewegungen und Mundbewegungen. Beim *Blinzeln* und *Stirnrunzeln* fand er die größten Artefakte, wie Abb. 4a, b zeigen. Da sie großen rhythmischen Hirnpotentialen ähneln konnten und einige Ähnlichkeiten mit den bei Epileptikern registrierten steilen Wellen und Krampfwellen hatten, versteht man, warum Berger bis 1933 die Krampfpotentiale der Epilepsie mit großem Mißtrauen betrachtete.

Beispiele seiner Epilepsie-Kurven von 1930 und 1931 in Abb. 4—7 demonstrieren, wie Berger dieses Mißtrauen allmählich überwand und sich in Auswertungen und Protokollen von der Realität der hirnelektrischen Korrelate der Epilepsie überzeugte.

### *EEG-Registrierungen bei Epilepsie 1929–1931*

Bei Durchsicht der von Berger bei Epileptikern abgeleiteten EEG ergab sich folgendes: Von der in seinen Tagebüchern erwähnten ersten guten Ableitung eines Epilepsiepatienten vom 9.4.1929 waren die EEG-Kurven nicht auffindbar. Im Jahre 1930 und 1931 fanden sich zahlreiche sehr gute Ableitungen mit typischen Formen epileptischer Entladungen von fünf Epileptikern. Ausschnitte aus den Registrierungen von vier dieser Patienten zeigen Abb. 4—7.

Wie bei fast allen Registrierungen Bergers wurden auch occipito-frontale Ableitungen mit Nadel- oder Hautelektroden vorgenommen und zum Teil mit EKG (Abb. 4, 5) kombiniert oder 1931 parallele Ableitungen mit und ohne Verstärker aufgezeichnet (Abb. 6, 7).

Die EEG eines Epileptikers mit traumatischer Epilepsie (Eis.) vom 20.5.1930 zeigten typische Krampfpotentiale, die Berger mit einem Fragezeichen versehen (Abb. 4b). Es handelt sich um charakteristische steile Spitzenentladungen mit folgenden mehr oder weniger ausgeprägten Wellen und einem unregelmäßigen Grundrhythmus größerer Amplitude. Genaue Eichungen waren nicht zu erhalten, aber man kann annehmen, daß die Krampfpotentiale etwa bis 200  $\mu$ V Amplitude hatten.

---

**Abb. 5a—c.** Weitere EEG-Kurven Bergers von einem Epileptiker mit Demenz 1930 und das Auswertungsprotokoll. In a) werden große Perioden unregelmäßiger Krampfpotentiale bis etwa 500  $\mu$ V von Berger mit einem Fragezeichen versehen, ebenso die kleine Gruppe 5 s später (b). Die erste Beschriftung der Kurve (a links oben) lautet: „K 1637, 1.X.30, Möller Arthur. Epileptiker mit Demenz, Augen geschlossen“. Im Protokoll der Auswertung vom 2. X. 30 (c) ist Berger in seiner Deutung schon sicherer: Er schreibt über die großen abnormen Potentiale „daß die einzelnen Alphawellen sich überhöhen, so daß auffallend hohe Schwingungen vorkommen“ und nach der Zeichnung dieser abnormen Wellen „Ich habe *immer* bei den Epileptikern ein auffallend hohes E.E.Gr. gefunden, obwohl die Epileptiker doch nach dem Röntgenbild oft einen solch massiven Schädel mit entsprechend dickem Schädeldach haben“



Am 1.10.1930 erhielt Berger bei einer Epilepsie mit Demenz (Möl.) weitere gute Ableitungen mit Perioden größerer Krampfpotentiale bis etwa  $500\mu\text{V}$  (Abb. 5). Alle großen Amplituden wurden von Berger zunächst als fraglich bezeichnet, aber in der späteren Auswertung erwähnt er die großen Amplituden als ein Charakteristikum der Epilepsie (Abb. 5c).

Am 7.10.1930 registrierte Berger bei einem jugendlichen Epileptiker mit Demenz (Pet.) große periodische Zwischenwellen und steile Wellen bis zur dreifachen Amplitude der Alphawellen (nicht abgebildet). Dieser Befund bestärkte Berger in der Zuversicht, daß es sich nicht um Artefakte handelte.

Dennoch mißtraute Berger den späteren Ableitungen von zwei jugendlichen Epileptikern mit Absencen im August und November 1931, als er typische große spike-wave-ähnliche Wellen registrierte.

Die zahlreichen Ableitungen Bergers bei dem ersten dieser Patienten (Schm.) im August 1931 (17. und 28.8.) zeigten spontan und nach Hyperventilation viele typische Perioden von spike-wave-Entladungen (Abb. 6), wie sie später von Gibbs und Mitarbeitern als „petit-mal-variant“ klassifiziert wurden. Man würde heute wahrscheinlich die Diagnose „Residualepilepsie“ stellen.

Im Protokoll und in der Auswertung bezeichnet Berger diese abortiven Anfälle als „Absencen“ und beobachtete mit dem bei der Ableitung anwesenden Mitarbeiter häufige Zuckungen der Gesichtsmuskulatur.

Das Protokoll der 343. Untersuchung am 28.8.1931 lautet wie folgt:

„28. VIII. 31. 343. Untersuchung: Schmidt, Siegfried, g. Epil.. Es wird genau nach dem Plan verfahren. Dr. Witzleben beobachtet mit mir den Kranken und teilt mir durch Zeichen seine Beobachtungen mit.

Es wird trotz *Hyperventilation* kein Anfall erzielt, es zeigt sich dabei, daß er zahlreiche *Absencen* hat.

Plötzlich (hat er) bei dem Zuruf, weiter zu atmen, nicht *reagiert*, als Herr Dr. Witzleben immer fortlaufend sagte „einatmen tief“, „ausatmen tief“, nachdem er den Aufforderungen nachgekommen, plötzlich nicht *einatmet* und erst nach Sekunden wieder atmet. — Nach  $\frac{3}{4}$  h wird die Aufnahme abgebrochen.“

In den mit Bleistift geschriebenen Auswertungszetteln zu den Kurven 1975—1993 hat Berger die Perioden von Krampfpotentialen wieder relativiert und wegen klonischer Gesichtszuckungen als Artefakte bezeichnet.

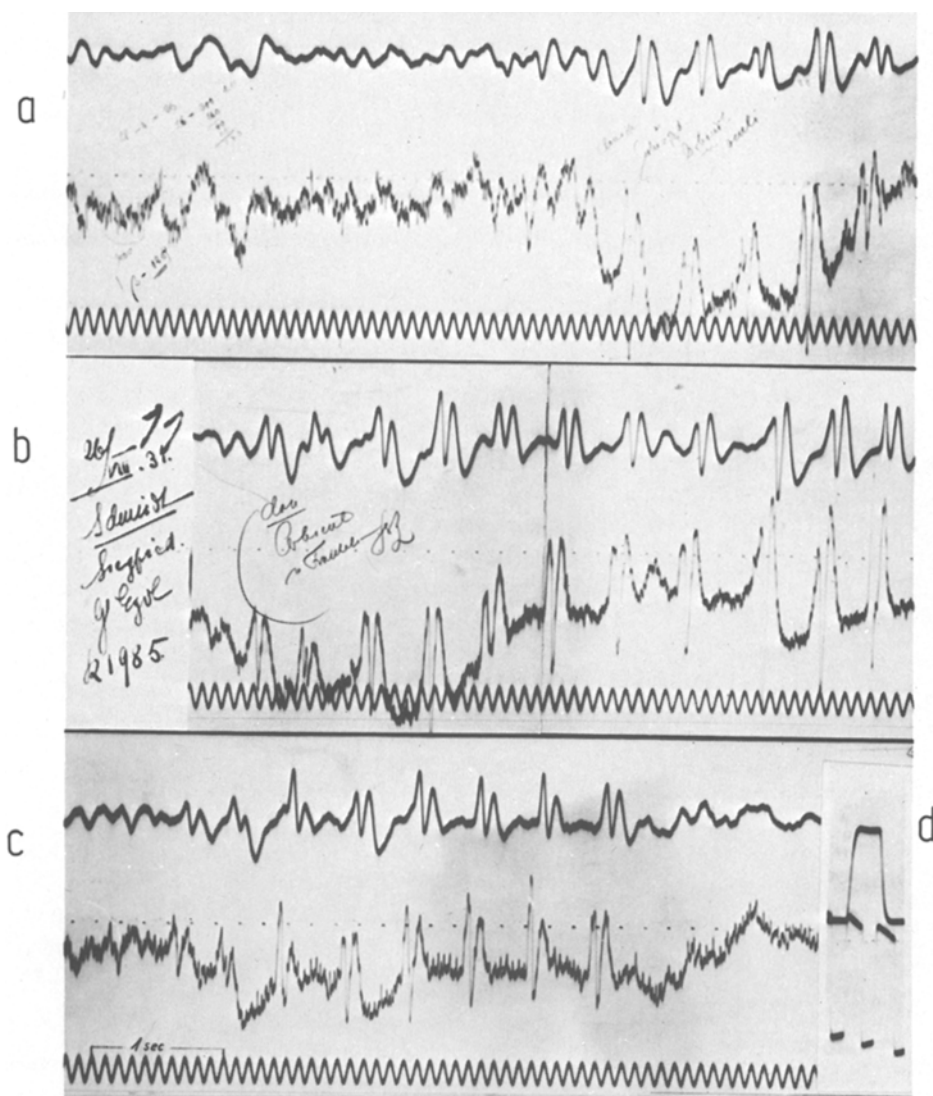
Berger schreibt zu Abb. 6a: „K 1976: Anfallsbereitschaft!  $\beta = 12\sigma$  im Durchschnitt, Kurve dann durch clon. Zuckungen d. Orbicul. und Frontalis entsteht. Danach  $\beta = 13\sigma$  durchschnittlich.“

Zu Abb. 6b: „K 1985: Anfallsbereitschaft und clon. Zuckungen im Orbicul. usw.“

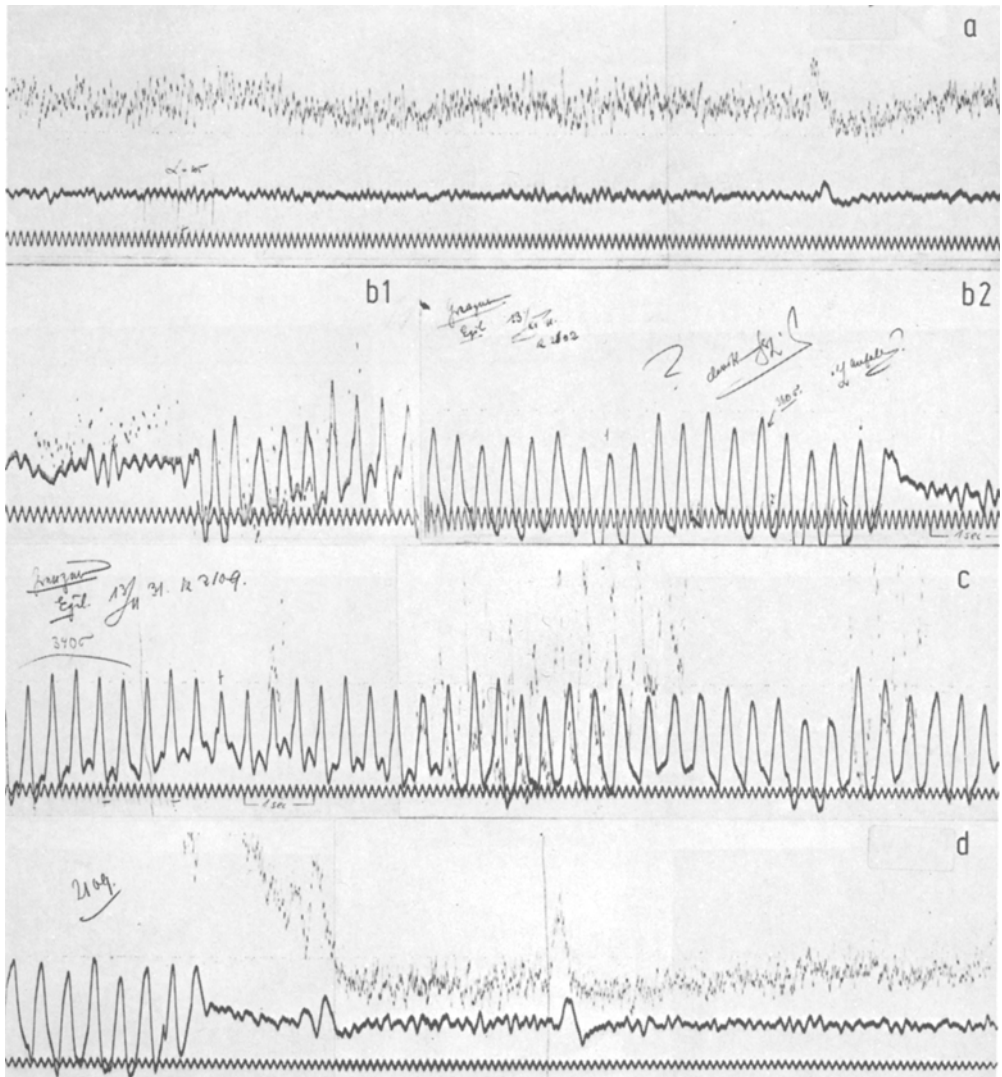
Zu Abb. 6c: „K 1993: durch clon. Zuckungen d. Orbicul. verunstaltet.“

Am 13.11.1931 gelang Berger bei einem 18jährigen Mädchen mit großen Anfällen und zahlreichen Absencen eine vollständige *Registrierung von petit-mal-Anfällen*, die z. T. durch Hyperventilation ausgelöst und mit klonischen Zuckungen des Gesichts verbunden waren. Die Registrierungen wurden daher von Berger zunächst als Artefakte ausgeschieden. Wie in Abb. 6 wurden die gleichen Ableitungen mit und ohne Verstärker registriert.

Abbildung 7 zeigt typische EEG von Absencen bei dieser Patientin. Die später 1933 und 1938 publizierten Kurventeile waren in unserem Archiv nicht aufzufinden, so daß wir im ersten Teil von Abb. 7b den Anfallsbeginn nach Bergers Veröffentlichung 1938 [16] reproduzieren. Die Absencen wurden von dem



**Abb. 6 a–d.** Periodische Krampfpotentialgruppen bei einem 14jährigen Epileptiker. In den Auswertungen der am 28. VIII. 1931 in der 343. Untersuchung aufgenommenen 20 Registrierungen bezweifelte Berger wegen klonischer Gesichtszuckungen den cerebralen Ursprung der abnormen Potentiale. Die obere Kurve ist jeweils die unverstärkte Galvanometerableitung, die untere wurde mit Verstärker und Siemens-Oszillograph registriert. Die besseren Frequenzeigenschaften des Oszillographen lassen auch bei geringer Verstärkung feine Muskelpotentialüberlagerungen erkennen, die in den oberen Kurven des Spulengalvanometers fehlen. Die Eichung 1 mV in **d**) zeigt die verschiedenen Frequenzeigenschaften. **a)** Berger schrieb nach Auswertung der Wellenlängen „clon. Zuckungen des M. orbicul. oculi“ (K 1976). **b)** Bergers Kurvenbezeichnung und Eintragung: „Clon. Orbicul.-Frontaliszuckungen“ (zuletzt stenographisch) (K 1985). **c)** Unkommentierte spike-wave-Entladungen (2/s) in der 16. Registrierung (K 1993). **d)** Eichungen (1 mV) für die obere Spulengalvanometer- und untere Oszillographenkurve lassen die Abstumpfungen des steilen Anstiegs durch fehlende höhere Frequenzübertragung der oberen Kurve deutlich erkennen



**Abb. 7a–d.** Bergers erste EEG-Ableitungen von Petit-mal-Anfällen mit spike-wave-Krampfwellen am 13. Nov. 1931. Bei einer 18jährigen Patientin (G.G.) mit großen und kleinen Anfällen wurde mit occipito-frontaler Ableitung in **a** zunächst ein normales EEG als Ruhekurve aufgenommen. **b1**) zeigt den Beginn einer Absence (1938 in [16]) abgebildet. In **b2**) wurde um 17.29 zunächst das Ende eines kleinen Anfalls mit Gesichtszuckungen registriert (Kurve 2102 oben links Name Epil. Datum u. Nr.). Berger machte Fragezeichen über der Kurve und schrieb dazu „clonische Zuckungen 360  $\sigma$  Ableitungen Anfall?“ **c, d**) 13 min später um 17.42 gelang die fast vollständige Aufnahme eines 26 s dauernden Anfalls mit großen 2—3/s Wellen und kleinen Spitzen (Kurve 2109). **d**) Am Ende des Anfalls erscheinen wieder langsame Alpha-Wellen mit 2 Nachentladungen großer Wellen. In Bergers Protokollen, von denen Teile in Abb. 8 illustriert sind, erwähnt er, daß die kleinen Anfälle durch Hyperventilation provoziert wurden und die Patientin automatische Bewegungen machte. EEG-Nr. K 2092—2111 (353. Untersuchung). Der in **c** fehlende Teil des Anfalls-EEG wurde 1933 in der 7. Mitteilung publiziert (Abb. 13 [8]). Siemens-Spulenlängsalvanometer-Registrierungen ohne Verstärker. Die Kurve mit Verstärker oberhalb wurde übersteuert und ist nur teilweise erkennbar

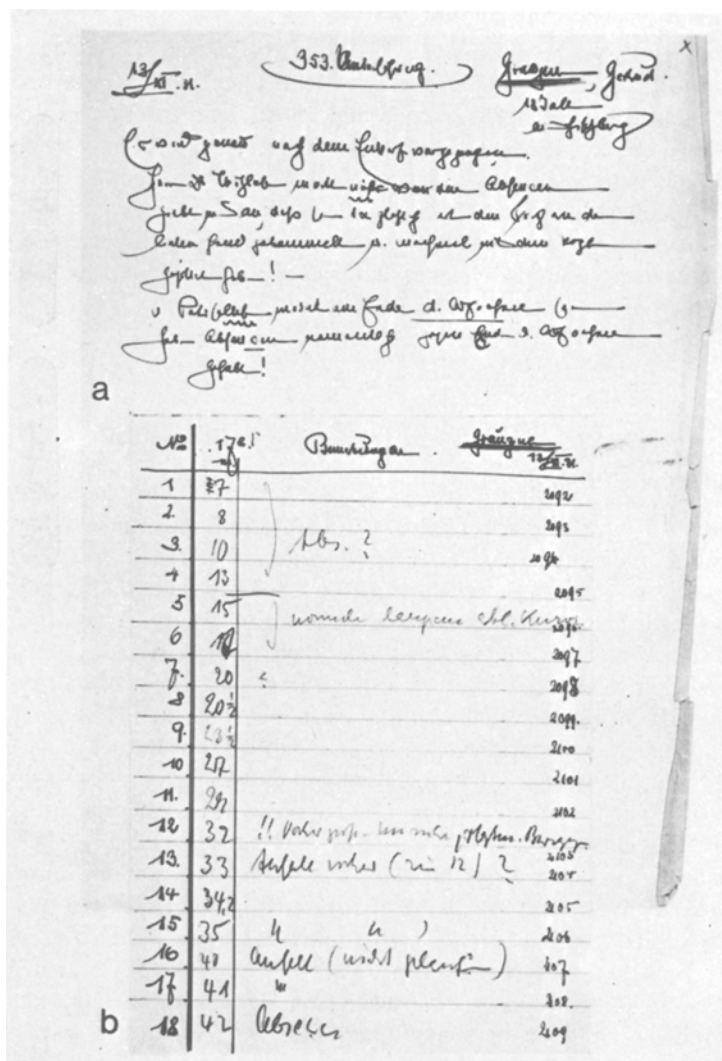


Abb. 8a und b. Bergers Protokollnotizen zu den Petit-mal-Ableitungen der Abb. 7. a) Bergers Notizen lauten: „13. XI. 31 353. Untersuchung Granzner, Gertrud 18 Jahre aus Hirschberg. Es wird genau nach dem Entwurf vorgegangen. Herr Dr. Witzleben merkte *nichts* von den Absenzen, gibt nur an, daß sie 1x plötzlich mit den Fingern der linken Hand getrommelt und manchmal mit dem Kopf gezuckt habe! — Die Patientin *selbst* meinte am *Ende der Aufnahme*, sie habe *Absenzen* namentlich gegen Ende der Aufnahmen gehabt“. b) Liste der EEG-Aufnahmen bei Absenzen (2092—2109) mit Uhrzeiten (1707—1742) zur 11. Kurve 2102 (1729—1732, Abb. 7b) schreibt der Assistent: „!! vorher große Unruhe, rhythmische Bewegungen“, zur 18. Kurve 2109 (17.42, Abb. 7c, d) „Absenzen“. Bei den folgenden Auswertungen (nicht abgebildet) notiert Berger selbst wieder seine Zweifel: „K 2102 durch clonische Zuckungen verunstaltete Kurve im abgelaufenen Anfall“ dann stenographisch: „Nicht zu verwerten“. „?? K 2109 kleiner Anfall mit clonischen Zuckungen vorher gew. Zunahme der hohen  $\beta$  W. aber nicht weiter zu verwerten“. Am Ende des eigenen Protokolls die Angabe der Patientin: „Erzählt selbst, sie habe immer Absenzen gehabt! Sie sei weg gewesen“

begleitenden Assistenten während der Ableitung nur zum Teil bemerkt, aber später nach rhythmischen automatischen Bewegungen protokolliert (Abb. 8).

Da Berger bei vielen Epileptikern vergrößerte Betawellen beobachtete und diese als charakteristisch für cerebrale Aktivierung ansah, sind in allen Protokollen vor allem die schnellen Wellen ausgemessen und erwähnt. Er hat schon damals an die Möglichkeit *pharmakologischer Beeinflussung* gedacht, da diese Patienten unter Luminal-Medikation standen. In diesen Protokollen diskutiert er die Möglichkeit, daß die langsamen großen Wellen pharmakologisch ausgelöst wurden, aber zunächst nicht, daß die schnellen Betawellen medikamentös bedingt sind, wie man heute weiß.

## Diskussion

### *Hans Berger als Forscher und Autor*

Die vorangehenden Beispiele aus der frühen EEG-Forschung Bergers sollten einige wenig bekannte und nicht publizierte Ergebnisse seiner Entdeckungsarbeit darstellen. Es kann nicht Aufgabe dieser kurzen Retrospektive sein, die Pionierleistungen Bergers für die hirnelektrische Forschung historisch zu würdigen. Zwei Arbeiten [19, 20] haben eine solche geschichtliche Darstellung bereits gegeben und Bergers eigenwillige Stellung in der Neuropsychiatrie seiner Zeit charakterisiert. Hier sei nur daran erinnert, daß die immensen methodischen Schwierigkeiten, die Berger in den ersten Jahren seiner Saitengalvanometerableitungen hatte, durch seine zentrale Ideenmotivation, die „psychische Energie“ aufzuklären, überwunden wurden. Berger hat seine merkwürdige Konzeption, psychische Energie sei der Rest aus der gesamten Stoffwechselenergie des Gehirns, wenn man die Energieleistung der elektrischen und Wärmeproduktion abziehe, nie beweisen können, und für die heutige Forschung der Informationsverarbeitung ist diese Konzeption schwer verständlich. Dennoch blieb sie ein Hauptmotiv seiner Forschung. Man darf Berger aber nicht, wie es oft geschehen ist, als elektrophysiologischen Amateur ansehen, da er von den führenden Elektrophysiologen des peripheren Nervensystems nicht ernst genommen wurde. Er hat seine EEG-Forschungen mit ungewöhnlicher methodischer Exaktheit und fast anankastischer Gewissenhaftigkeit betrieben. Unbeeindruckt von der mangelnden Resonanz hat er 7 EEG-Arbeiten veröffentlicht, bis seine Ergebnisse 1934 durch den führenden Elektrophysiologen Adrian [1] anerkannt wurden und Berger rasch weltbekannt wurde.

In einem merkwürdigen Gegensatz zu Bergers genau geplanten Ableitungsmethoden, Experimenten und Protokollen steht der *eigenwillige Stil seiner Arbeiten*, der oft als formlos bezeichnet wurde. Fast ohne Gliederung, ohne Zwischenüberschriften und ohne Zusammenfassung, nur durch einige Bilder unterbrochen, schildert Berger im Erzählerton seine Ergebnisse. Diese Befunde werden mit ihrer Deutung der Besprechung psychophysischer Korrelate der EEG-Wellen mit Spekulationen und Diskussionen anderer Autoren der tierexperimentellen, psychologischen und philosophischen Literatur fortlaufend dargestellt. Bei der Lektüre Bergers Arbeiten ist es für den Leser schwierig, das



Wesentliche herauszufinden. Daher ist Berger an der fast 5 Jahre währenden mangelnden Resonanz seiner Arbeiten nicht ganz unschuldig. Man versteht auch, daß Bumke, der damalige Hauptherausgeber unseres Archivs, oft an Bergers Arbeiten verzweifelte, da er zu wenig von der Elektrophysiologie verstand, um präzise Änderungsvorschläge zu machen.

Berger lebte sehr zurückgezogen mit präziser, auf die Minute pünktlicher Tageseinteilung, die er auch von seinen Mitarbeitern in der Klinik verlangte. Selten besuchte er Tagungen und Kongresse, so daß ihn nur wenige Fachkollegen genauer kannten und seine Untersuchungen wenig beachtet wurden. Die Verbindung zu dem einen von uns (R.J.) war vorwiegend ein Briefwechsel. Persönliche Auskünfte nach Bergers Tod 1941 verdanke ich Frau Ursula Berger und seiner Tochter Dr. Ilse Blume, geb. Berger.

### *Die Epilepsie-Befunde*

Nachdem Berger in seinen ersten 6 Mitteilungen 1929—1933 fast alle pathologischen EEG-Befunde bei verschiedenen Hirnerkrankungen beschrieben hatte, erschien es merkwürdig, daß er die auffallendsten Charakteristika im EEG von Epileptikern, die großen Krampfpotentiale, unbeachtet ließ und zunächst 1931 und 1932 nur die Verlangsamung der Hirnwellen bei diesen Kranken kurz erwähnte [4, 6]. 1928—1931 hatte er schon zahlreiche Ableitungen bei Kranken mit epileptischen Anfällen gesammelt und vergeblich versucht, das EEG beim großen Anfall abzuleiten [4]. Doch erst 1933 beschrieb er in der 7. Mitteilung [8] 1) lokalisierte epileptische EEG-Entladungen in der linken Zentralwindung vor und nach einem fokalen Anfall bei progressiver Paralyse mit klonischen Zuckungen des rechten Armes und 2) in der gleichen Mitteilung die großen generalisierten 3/s Krampfwellen beim Petit-mal, die er aus älteren Registrierungen 1930 herausuchte.

Um den historischen Beginn der hirnelektrischen Epilepsieforschung klarzustellen, haben wir im Freiburger Berger-Archiv die EEG-Kurven, die Berger in den ersten Jahren 1928—1931 bei Epileptikern abgeleitet hat, durchgesehen und fanden in diesen Kurven zahlreiche typische Formen von Krampfpotentialen 3—4 Jahre vor der genannten 7. EEG-Publikation. Berger hatte diese Registrierungen offenbar in übergewissenhafter Vorsicht wegen der Möglichkeit von Bewegungsartefakten (Abb. 4a, b) zunächst nicht in seine Arbeiten aufgenommen. In seinen Auswertungsprotokollen hat er zwar die hohen Amplituden der Potentiale als typisch für Epilepsie erwähnt (Abb. 5c), aber die charakteristischen Krampfpotentiale in den Kurven meistens mit Fragezeichen versehen (Abb. 4c, 5a, b, 6b 2).

Nachdem bisher nur eine Kurve epileptischer EEG-Formen aus Bergers frühen Registrierungen abgebildet wurde [21], sollten die vorangehenden Beispiele charakteristischer EEG-Kurven von Epilepsiepatienten und seine Protokolle zeigen, daß Berger diese Registrierungen mit gewohnter Gründlichkeit analysiert, aber mit Zurückhaltung interpretiert hat. Es erschien uns wissenschaftshistorisch interessant, diese Pionierleistungen der EEG-Forschung ein halbes Jahrhundert nach Erscheinen von Bergers erster EEG-Arbeit abzubilden und zu würdigen.

Abbildung 7 illustriert die schönen EEG-Abbildungen Bergers von 2 Absencen, die er wegen der Möglichkeit von Bewegungsartefakten 1931 zunächst als „nicht verwertbar“ bezeichnete. Die Sorgfalt und Präzision Bergers bei der Registrierung und seine Gewissenhaftigkeit der Auswertung zeigt Abb. 8 mit dem handschriftlichen Protokoll (a) und dem Zeitschema der Kurven für seinen Mitarbeiter (b). Überschrift und Ziffern rechts in 8b sind von Bergers Hand, die Eintragungen von dem Assistenten bei den EEG-Aufnahmen. Danach ist der Zeitpunkt der registrierten Absencen genau auf den 13. Nov. 1931 17.29 Uhr und 17.42 Uhr zu bestimmen. Ähnlich exakt sind alle seine Aufzeichnungen und Auswertungen. Da er jeden Gedanken sofort notierte, kann man aus Tagebüchern und Protokollen seine Überlegungen und Planungen über 40 Jahre genau verfolgen [20].

Erst in der 7. Mitteilung wagte Berger einige dieser ungewöhnlich großen EEG-Wellen als reale epileptische Hirnpotentiale zu deuten, nachdem Fischer [17] und Kornmüller [22] im Tierexperiment nach Krampfgiften ähnliche große „Krampfströme“ publiziert hatten. Zwei Jahre später beschrieben dann Gibbs, Davis und Lennox [18] beim Menschen die typischen „spike-wave“-Entladungen der epileptischen Absence. Berger hatte bei Kontrollen von Bewegungsartefakten an Gesunden schon 1928 bei Lid- und Stirnbewegungen ähnliche Kurvenformen erhalten (Abb. 4b), so daß er die Epilepsie-EEGs mit Mißtrauen betrachtete und sie mit Fragezeichen versah (Abb. 4, 5, 6).

Nach Beschreibung der zum Teil durch Bewegungsartefakte gestörten Kurven beim paralytischen fokalen Anfall schrieb Berger [8] über seine Bemühungen, das Anfallsgeschehen selbst zu registrieren:

„Es lag natürlich der Gedanke sehr nahe, daß auch bei den epileptischen Anfällen ähnliche Vorgänge sich abspielen und daß es auch da im sog. klonischen Stadium des großen Anfalls zu großen Entladungen innerhalb der motorischen Region kommt, die sich an der Ozillographenkurve nachweisen lassen müßte. Eine derartige Feststellung erscheint aber bei jedem voll entwickelten epileptischen Anfall des Menschen von vornherein aussichtslos. Die mit dem Anfall verknüpften Bewegungen, die im Anfall auftretenden zahlreichen Muskelströme, die Verschiebungen der Elektroden usw. machen eine einwandfreie Aufnahme unmöglich. Ich hatte gehofft, durch Untersuchungen von Kranken mit Rindenkrämpfen, die gar nicht selten zur Beobachtung gelangen, der Frage der Vorgänge in den motorischen Rindenzentren während des Auftretens klonischer Zuckungen näherzukommen. Jedoch sind alle diesbezüglichen Versuche immer wieder gescheitert. Es durften natürlich nur solche Leute ausgewählt werden, bei denen Facialiszuckungen oder eine Beteiligung der Augenmuskeln an den Krämpfen ausgeschlossen waren, da bei diesen Krämpfen Muskelströme zu den aufnehmenden Elektroden gelangen und so die Kurvenbilder entstellen konnten. Es blieben also nur auf Arm oder Bein beschränkte Rindenkrämpfe übrig, die nicht gerade sehr häufig sind und zweitens mir nie den Gefallen taten, nach Einführung der Nadeln während der Sitzung einen Anfall mit den gewünschten klonischen Zuckungen zu bekommen, auch wenn hyperventiliert wurde. Sie bekamen auch gelegentlich einen Anfall, an dem sich aber gerade bei dieser Aufnahme die Gesichtsmuskulatur beteiligte, so daß die erhaltenen Kurven nicht einwandfrei waren. Ich hatte, wie oben erwähnt, schon seit Jahren nach einem solchen Kranken mit vereinzelt klonischen Zuckungen, die einen paralytischen Anfall tagelang überdauern, gefahndet, wie er sich mir nun endlich darbot.

Im Hinblick auf die Beobachtung und gestützt auf die schönen Untersuchungen von Fischer über die elektrobiologische Auswirkung von Krampfgiften im Tierversuch, glaube ich nunmehr auch eine Beobachtung richtig deuten zu können, die ich schon 1930 gemacht, jedoch da ich immer wieder vielleicht mir entgangene Fehlerquellen vermutete, bisher nicht bekanntgegeben habe. Bei einem 18jährigen Mädchen, das seit dem 13. Lebensjahr an vereinzelt großen epileptischen Anfällen mit Zungenbiß und Einnässen litt, außerdem aber auch zahllose kleine

Anfälle und Absenzen hatte, habe ich gelegentlich eine längere Kurve aufgenommen, von der Abb. 13 einen kleinen Ausschnitt wiedergibt. Bei der Aufnahme lag das Mädchen mit geschlossenen Augen da, genau wie bei vorangehenden Aufnahmen. Die Atmung hatte sich plötzlich etwas verändert, und der mit mir gemeinsam die Kranke beobachtende Abteilungsarzt teilte mir mit, daß sie plötzlich mit der linken Hand auf ihrem Oberschenkel trommle, ohne daß irgendwelche anderen Bewegungen festzustellen waren. Am Ende dieser Aufnahme gab die Kranke von selbst an, sie habe soeben einen leichten Anfall gehabt. Die Galvanometerkurven zeigten plötzlich einsetzende, steil ansteigende und steil abfallende Spannungsschwankungen, die 0,34 Sek. bis 0,36 Sek. dauerten, sich regelmäßig wiederholten und nach 26 Sek. ebenso plötzlich schwanden. Ich dachte damals, daß mir und dem mitbeobachtenden Abteilungsarzt doch vielleicht Kopfbewegungen oder klonische Zuckungen im Gesicht, durch die die Nadelelektroden rhythmisch verschoben worden seien, entgangen wären, und ließ daher diese Beobachtung zunächst auf sich beruhen.“

Berger schloß seine 7. Arbeit über das EEG 1933 mit folgenden Worten:

„Es liegt nun der Gedanke sehr nahe, daß von den sich häufig wiederholenden Entladungen eine Neigung, hohe Spannungen mit jähem Abfall zu bilden, zurückbleibt. Diese starken Spannungsschwankungen sind also vielleicht eine kennzeichnende Eigentümlichkeit des E.E.G. der zu vielen Anfällen neigenden Epileptiker. Jedenfalls findet man solche E.E.G.'s bei den verschiedensten Ableitungen bei solchen Epileptikern. Das E.E.G. bringt vielleicht die vorhandene Anfallsbereitschaft des Großhirns so bildlich zum Ausdruck.“

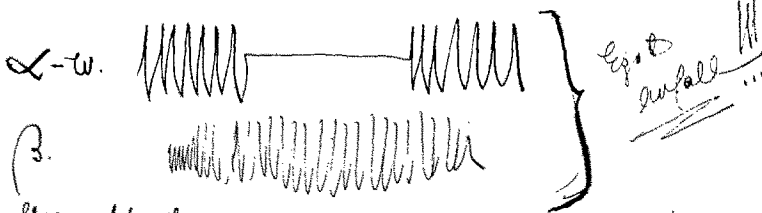
Obwohl Berger in seinen frühen Arbeiten zunächst nur wenig über das Epilepsie-EEG mitteilte, hat er sich in den Jahren 1930 und 1931 gedanklich viel mit der Epilepsie und ihren hirnelektrischen Korrelaten beschäftigt. Dies ergibt sich aus vielen Entwürfen über den Mechanismus des epileptischen Anfalls. Nachdem einer dieser schon früher abgebildet wurde (Abb. 10 in [20]), zeigen wir in Abb. 9 einen späteren Entwurf, in dem er die Mechanismen der Hemmung und Enthemmung von Alpha- und Beta-Wellen bei der Epilepsie bespricht, in Parallele zu der Vorstellung, die er für die Aufmerksamkeit und die Blockierung der Alpha-Wellen [3, 7] diskutiert hat.

Wer die alten Kurven Bergers heute mit den Augen eines EEG-Experten durchsieht, dem fällt es natürlich leichter als dem Entdecker dieser neuen Hirnphänomene, typische EEG-Formen und Charakteristika der Epilepsie zu erkennen, nachdem täglich Hunderte solcher Kurven durch seine Hand gehen. Daß Berger in den ersten Jahren mühsamer Ableitungen mit primitiven Mitteln ohne Verstärker die winzigen Rhythmen seines Saitengalvanometers richtig analysierte, war schon erstaunlich. Daß ihm dann die größeren Wellen der Epileptiker ohne Anfallssymptome zweifelhaft vorkamen, ist nur natürlich. Er kannte die Störanfälligkeit des EEG und man versteht, daß er in seiner vorsichtigen Interpretation die für Epilepsie charakteristischen steilen Wellen und großen Krampfpotentiale nicht veröffentlichte, sondern zunächst mit einem Fragezeichen versah (Abb. 4, 5). Dennoch hat Berger fast alle allgemeinen EEG-Befunde bei Hirnerkrankungen von 1929—1934 beschrieben und damit die Grundlagen der EEG-Forschung gelegt. Auch für das EEG des Gesunden konnte er nach den besseren Registrierungen mit dem Siemens-Galvanometer die Beziehungen von Aufmerksamkeit und EEG-Abflachung 1930 sicherstellen [3]. Daß ihm nach den ersten Jahren der Saitengalvanometerregistrierung die kleineren EEG-Wellen bei Sinnesreizen und Aufmerksamkeit unsicher und paradox erschienen, ist verständlich. Er hatte zunächst bei aktiver Hirntätigkeit eher das Umgekehrte, eine Vergrößerung der EEG-Wellen erwartet. Wenn Berger dann den Einfluß der Auf-

2.  $\frac{X}{X}$  31

$\alpha$ -W.

$\beta$ -W.: Siehe auch die unvollst. Cinnamylaldehyd-angabe, daß  
 h-ly ab Werten von 10-50  $\beta$ -Werten entsprechen  
 (Cinnamyl 330 oder un- $\beta$ -W. angegeben!)



aus Skizze folgt  
 $m = 100$  - Frequenz der  $\beta$ -W.

Stärke Veränderungen:

gründe Veränderungen  
 der  $\beta$ -W.

für Epst. aufall.

Veränderungen wie bezeichnet: Stärke Veränderungen ly stehend unverändert.

aus  $\beta$  = Veränderungen aus stehend

ist die  $\alpha$ -W. u. da fallend!

also die Veränderungen der  $\beta$ -W. der Prozess, von  
auf fall der  $\alpha$ -W. in sekundär.

(Leitung von an der hellen Veränderungen der  $\beta$ -W. u.  
für die Veränderungen Stärke Veränderungen)

merksamkeit als thalamisch bedingte Hemmung nicht beteiligter Hirnregionen deutete [7], so war auch dies eine gute Erklärung und eine Vorhersage für die erst viel später experimentell bewiesene subcorticale Beeinflussung der Hirnrindentätigkeit. Eine Desynchronisierung der Ruherhythmen, die Adrian [1] vorschlug, brachte dann eine einleuchtende Deutung der EEG-Abflachung durch differenzierte Tätigkeit der Hirnrinde.

Zum Schluß noch eine Bemerkung: Auch heute, 50 Jahre nach Bergers Entdeckung, sind die neurophysiologischen Mechanismen und die Strukturgrundlagen des EEG noch unbekannt. Hunderttausende von EEG-Arbeiten, die in diesem halben Jahrhundert erschienen sind, sicherten bestimmte hirnelektrische Grundlagen der Epilepsie und anderer Hirnerkrankungen, die Berger zunächst nur vermuten konnte, aber brachten noch keine physiologische Erklärung der Hirnrhythmen des EEG. Auch die Mikroelektrodenforschung der letzten 30 Jahre, die uns viele neue Einsichten in neuronale Rindenfunktionen bei Wahrnehmung und Motorik brachte, konnte diese Unkenntnis über die Natur der EEG-Wellen nicht beseitigen. Bergers Nachweis, daß das EEG in der Hirnrinde entsteht, wurde vielfach bestätigt und präzisiert, aber *welche* Cortexstrukturen die EEG-Generatoren sind, blieb offen. Die von vielen Autoren geäußerte Ansicht, daß die EEG-Wellen postsynaptischen Dendriten-Potentialen entsprechen, kann den relativ konstanten Ruherhythmus nicht erklären. Auch unsere nach den ersten Mikroelektrodenuntersuchungen seit 1953 mehrfach ausgesprochene Vermutung, daß die EEG-Wellen wahrscheinlich sowohl an Dendriten und dem Schaltzellenapparat wie an den präsynaptischen Fasern des Cortex zustandekommen und ein oszillatorisches Gleichgewicht zwischen umgekehrt gerichteten Dipolen seien, ist weiterhin eine unbewiesene Hypothese.

Bergers Vermutungen, daß die Alpha- und Beta-Wellen in verschiedenen Cortexschichten entstehen [7, 11], vom Thalamus angeregt werden [7] und daß der Alpharhythmus eine wandernde Tätigkeitswelle im Cortex sei [7], konnten nicht bestätigt, aber auch nicht klar widerlegt werden. Die allgemeine Deutung Bergers, die EEG-Wellen seien Begleiterscheinungen psychologischer Rindenvorgänge, hilft uns physiologisch nicht weiter. Daß Beziehungen zu metabolischen

---

**Abb. 9.** Bergers Spekulationen über hirnelektrische Vorgänge beim epileptischen Anfall vom Oktober 1931. Die Schrift des Notizzettels lautet: „21. X. 31 Alpha-W(ellen) Beta-W(ellen): von denen die mathemat. Curvenanalyse ergeben hat, daß sie sich aus Wellen von 10—50 sigma zusammensetzen (Mittelwerte 33 sigma von mir früher angegeben)!“

Alpha-W(ellen)

(Schema Zeichnung)

Beta-W(ellen)

Epil.

Anfall!!!

im Schema habe ich nur *eine* Frequenz herausgegriffen.

Zentrale Veränderungen: (Zeichnung von Krampfentladungen mit Betawellen)

primäre Veränderungen der Beta-W. Annahme naheliegend für epil. Anfall: *Hemmungswirkung* sich geltend machend von Beta-Vorgängen *ausgehend* auf die Alphawellen und daher fortfallend! Also die Veränderungen der Beta-Wellen das Primäre, die Ausfälle der Alphawellen das Sekundäre. Ebenso wohl an aktiv. Stelle auch eine Veränderung d. Beta-W. und so die Aufmerksamkeit Hemmung.

Vorgängen bestehen, hat schon Berger mit dem Einfluß von Medikamenten und Narkose [4, 9] wahrscheinlich gemacht, aber *welche* Stoffwechselvorgänge es sind und *wie* sie die hirnelektrischen Rhythmen verändern, weiß heute noch niemand.

## Literatur

1. Adrian, E. D., Matthews, B. H. C.: The Berger rhythm. Potential changes from the occipital lobes in man. *Brain* **57**, 356—385 (1934)
2. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. *Arch. f. Psychiatr.* **87**, 527—570 (1929)
3. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. Zweite Mitteilung. *J. Psychol. Neurol.* **40**, 160 (1930)
4. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. Dritte Mitteilung. *Arch. f. Psychiatr.* **94**, 16—60 (1931)
5. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. Vierte Mitteilung. *Arch. f. Psychiatr.* **97**, 6—26 (1932)
6. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. Fünfte Mitteilung. *Arch. f. Psychiatr.* **98**, (1932)
7. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. Sechste Mitteilung. *Arch. f. Psychiatr.* **99**, 555—574 (1933)
8. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. Siebente Mitteilung. *Arch. f. Psychiatr.* **100**, 301—320 (1933)
9. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. Achte Mitteilung. *Arch. f. Psychiatr.* **101**, 452—469 (1933)
10. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. Neunte Mitteilung. *Arch. f. Psychiatr.* **102**, 539—557 (1934)
11. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. X. Mitteilung. *Arch. f. Psychiatr.* **103**, 444—454 (1935)
12. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. XI. Mitteilung. *Arch. f. Psychiatr.* **104**, 678—689 (1936)
13. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. XII. Mitteilung. *Arch. f. Psychiatr.* **106**, 165—187 (1937)
14. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. XIII. Mitteilung. *Arch. f. Psychiatr.* **106**, 577—584 (1937)
15. Berger, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. XIV. Mitteilung. *Arch. f. Psychiatr.* **108**, 407—431 (1938)
16. Berger, H.: Das Elektrenkephalogramm des Menschen. *Nova Acta Leopoldina*, N. F. **6**, 173—309 (1938)
17. Fischer, M. H.: Elektrobiologische Auswirkung von Krampfgiften am Zentralnervensystem. *Med. Klin.* **29**, 15—19 (1933)
18. Gibbs, F. A., Davis, H., Lennox, W. G.: The electroencephalogram in epilepsy and conditions of impaired consciousness. *Arch. Neur. Psychiatr. (Chicago)* **34**, 1133—1148 (1935)
19. Gloor, P.: Hans Berger on the electroencephalogram of man. *Electroenceph. clin. Neurophysiol. Suppl.* **28**. Amsterdam, London, New York: Elsevier 1969
20. Jung, R.: Hans Berger und die Entdeckung des EEG nach seinen Tagebüchern und Protokollen. In: *Jenenser EEG-Symposium, 30 Jahre Elektroenzephalographie*, R. Werner (Hrsg.), S. 20—53. Berlin: VEB Volk und Gesundheit 1963
21. Jung, R.: Some European neuroscientists: A personal tribute. In: *The neurosciences: Paths of discovery*, F. G. Worden, J. P. Swazey, G. Adelman (eds.). Cambridge, Mass. and London, England: The MIT Press 1975
22. Kornmüller, A. E.: Die bioelektrischen Erscheinungen der Großhirnrinde. *Fortschr. Neurol. Psychiatr.* **5**, 419—441 (1933)
23. Tönnies, J. F.: Der Neurograph, ein Apparat zur Aufzeichnung bioelektrischer Vorgänge unter Ausschaltung der photographischen Kurvendarstellung. *Naturwissenschaften* **20**, 381—384 (1932)

Eingegangen am 20. Juli 1979