

Aus der Entwicklungsabteilung der Firma Elektrofrequenz
FRITZ SCHWARZER GmbH., Alfeld a. d. Leine.

Ein Elektrencephalograph mit hohen Frequenzeigenschaften und geraden Koordinaten, mit einigen Bemerkungen zur Einrichtung von EEG-Apparaten.

Von

FRITZ SCHWARZER.

Mit 7 Textabbildungen.

(Eingegangen am 15. März 1949.)

Einleitung.

Obwohl 20 Jahre seit dem ersten Nachweis hirnelektrischer Ströme beim Menschen durch HANS BERGER vergangen sind, ist die Herstellung brauchbarer Elektrencephalographen immer noch nicht befriedigend. Vor allem ist in Deutschland, dem Ursprungsland des EEG, bisher noch keine solche Apparatur serienmäßig hergestellt worden, obwohl bei uns die ersten Entwicklungen der direkt sichtbaren Tintenschreibung für das EEG durch J. F. TÖNNIES⁹ 1932 im Zusammenhang mit KORNMÜLLERS EEG-Untersuchungen durchgeführt wurden. Auch auf anderen technischen Gebieten ist ein solch langer Zeitraum zwischen der physikalischen Entwicklung und der Normalisierung praktisch brauchbarer Geräte vergangen. Der Arzt ist sich häufig nicht der Schwierigkeiten einer solchen Entwicklung bewußt. Gerade beim EEG ist es aber notwendig, daß jeder, der sich mit dieser Technik befaßt, auch die wichtigsten technischen Grundprobleme kennt, um die zahlreichen Fehlerquellen ausschalten zu können.

Die Entwicklung ist auch jetzt noch im Fluß. Serienmäßig hergestellte Tintenschreiber werden bisher nur in Amerika, England, Frankreich und Dänemark angefertigt. Der Tintenschreiber bietet neben manchen Vorteilen für die Registrierung auch zahlreiche Nachteile, insbesondere mangelnde Synchronisierung der Schreiber, niedrige Frequenzeigenschaften, meist auch fehlende lineare Aussteuerung mit Bogenschreibung. Diese Nachteile sind bei dem im folgenden beschriebenen Apparat vermieden worden.

Der Zweck unserer Darstellung ist ein zweifacher. Neben der Beschreibung des Apparates und seiner Arbeitsweise soll auch die Denkwegsweise des Technikers vermittelt werden, um die Zusammenarbeit

mit der Medizin zu fördern. Aus diesem Grunde werden zunächst Einzelheiten besprochen, die den Arzt meistens nicht direkt interessieren, die aber von ihm berücksichtigt werden müssen.

Bisher sind viele Probleme meist nur in einmalig hergestellten Apparaten gelöst worden, die für eine Serienanfertigung nicht ausreichen. In dem folgenden Überblick soll im einzelnen besprochen werden, welche Mängel den bisherigen Apparaten anhaften. Manches mag bereits bei den im Selbstbau hergestellten Apparaten behoben sein, ist aber noch zu wenig bekannt.

1. Registriereinrichtung.

Da eine optisch-fotografische Registrierung⁶, wie sie beim EKG üblich ist, keine gute laufende Beobachtung erlaubt, und auch für die langen EEG-Kurven zu kostspielig wird, ist man für die EEG-Registrierungen auf Tintenschreiber übergegangen, wie sie TÖNNIES 1932/33 zuerst in brauchbarer Weise entwickelt hat^{9,10}. Die späteren Apparate des Auslandes von GARCEAU u. DAVIS³, GRASS⁵, BUCHTHAL u. KAISER¹ u. a.⁴, die heute am verbreitetsten sind, beruhen auf diesem, früher schon im Siemens-Tintenschreibergerät („Undulator“ für Kabeltelegraphie) entwickelten deutschen Verfahren. Ein vorangehender Schweizer Versuch für das EKG von DUCHOSAL und LUTHY² hatte sich nicht durchsetzen können. Die technischen Eigenschaften der heutigen Tintenschreiber-Registriergeräte sind im wesentlichen nicht über die ersten Apparate hinausgekommen, wenn auch eine Reihe kleiner Verbesserungen durchgeführt wurde.

Die *Nachteile* dieses Verfahrens bestehen vor allem im leichten Verstopfen der Tintenkanülen, das eine in Gang befindliche Registrierung unterbrechen kann, in der Kurzschlußgefahr für die Spulen durch Herausspritzen von Tinte und in den mangelhaften Frequenzeigenschaften. Ferner ist die Dämpfung und damit auch der Frequenzgang des Schreibers sehr vom Druck der nicht federnden Schreiber auf dem Papier abhängig. Der lineare Frequenzbereich ist sehr gering, er liegt meistens unter 100 Hz. Zwar wird allgemein angenommen, daß dieser Frequenzbereich für das EEG genügt. Doch gilt dies nur für die wichtigsten Grundfrequenzen, nicht dagegen für die Oberschwingungen, welche die Feinheiten und genaue Form der einzelnen Kurven bedingen. Sehr kurze, rasche Abläufe und Spitzenpotentiale haben jedenfalls sehr hohe Frequenzkomponenten und werden daher nur verzerrt wiedergegeben. Als *obere Frequenzgrenze* darf man wohl 150—200 Hz (Hz = Schwingung je Sekunde) als genügend für das EEG ansehen. Die *untere Frequenzgrenze* kann mit 1 Hz angenommen werden. Auch für das EKG dürfte dieser Bereich genügen, wenn auch im unteren Bereich für die genaue Ausschreibung

des S-T-Stücks und der T-Welle strengere Forderungen gestellt werden müssen. Für die untere Frequenzgrenze sind vor allem die Eigenschaften des Verstärkers, insbesondere dessen Zeitkonstante verantwortlich. Für die obere Frequenzgrenze ist der Schreibermechanismus und dessen Trägheit entscheidend.

Bei einem durch eine elektromagnetische Antriebskraft in Schwingung versetzten Mechanismus kann Proportionalität zwischen antreibender Kraft und ausgeführter Bewegung nur so lange vorausgesetzt werden, als die Frequenz des Vorganges nicht in unmittelbare Nähe der Eigenschwingung des Systems und darüber gelangt. Es ist dabei gleichgültig, ob es sich um eine Sinusschwingung oder eine Oberschwingung, die in einem Schwingungsgemisch bzw. einer unregelmäßigen Schwingung enthalten ist, handelt.

Unter der Eigenschwingung des Systems ist bekanntlich diejenige Schwingungsfrequenz zu verstehen, in der dasselbe (ähnlich wie ein Pendel) bei einmaligem Anstoßen ausschwingt. Praktisch bedeutet dies, daß ein Schreibmechanismus nur soweit die ihm zugeführten elektrischen Impulse formgetreu schreiben kann, als sie in ihrer Frequenz *unterhalb der Eigenfrequenz* des schwingenden Teils des Schreibsystems liegen. In der einschlägigen Literatur wird bisher von dem Gesichtspunkt ausgegangen, daß eine innerhalb des wiederzugebenden Bereiches liegende Eigenfrequenz des Systems als Tatsache hingenommen werden muß. Dies war nämlich bei den genannten Tintenschreibern der Fall. Infolgedessen wurde nach einem Weg gesucht, die Dämpfungs- und Resonanzeigenschaften des Schreibers so einzurichten, daß für den gesamten benötigten Frequenzbereich eine Art Pseudoexaktheit der Wiedergabetreue erreicht war. Es bildete sich die Gepflogenheit, den Dämpfungsgrad durch ein Sollvorhandensein des sog. Überschleuderns von 5–10% der Auslenkamplitude bei Eichimpulsen (empirisch aus der Erfahrung der Beobachtung ermittelt) als geeignetes Kriterium für die erwünschten Eigenschaften festzulegen. Es braucht hier nicht untersucht zu werden, inwieweit diese Handhabung eindeutig ist, um zu befriedigenden Definitionen zu gelangen. Jedenfalls muß von technischer Seite die Berechtigung dieser Handhabung so lange anerkannt werden, als die Technik nicht in der Lage ist, auf physikalischer Basis einwandfreie Verhältnisse bezüglich der linearen Wiedergabe im erforderlichen Frequenzbereich zu schaffen.

Dennoch handelt es sich um eine bedenkliche Behelfsmaßnahme. Es entsteht eine *amplitudenmäßige Verzerrung*, für die im wesentlichen zwei physikalische Faktoren ausschlaggebend sind. In der Nähe der Eigenfrequenz wachsen die Amplituden und bei aus mehreren Frequenzen zusammengesetzten Kurvenzügen werden augenfällige Verzerrungen hervorgerufen. Dies ist gegenüber der prozentualen Anhebung etwa einer Sinusamplitude der weit störendere Faktor, da absolute Größenänderungen weniger auffällig sind als solche, bei denen dem Auge eine Vergleichsmöglichkeit geboten wird. Zum zweiten werden Frequenzen bis zur Eigenfrequenz des Systems (wenn in der Betrachtung die erwähnte Anhebung der Eigenfrequenz als separate Erscheinung einmal unberücksichtigt bleibt) amplitudenproportional geschrieben, wohingegen oberhalb der Eigenfrequenz mit Proportionalität der Amplitudengeschwindigkeit zu rechnen ist. Konkreter ausgedrückt bedeutet dies, daß die Aufzeichnungsamplitude bis in die Nähe der Eigenfrequenz proportional ist, dann in der Umgebung der Eigenfrequenz eine Anhebung entsprechend dem Dämpfungszustand erfährt und danach bei höheren

Frequenzen stetig an Amplitude verliert. Es werden demnach die Schwingungen zunächst unterhalb der Eigenfrequenz naturgetreu wiedergegeben, dann folgt ein Gebiet der unnatürlichen Vergrößerung und darauf ein solches der unnatürlichen Verkleinerung (vergleiche die Frequenzkurve von Abb. 2). In den letztgenannten beiden Gebieten wirken also die Verfälschungen durch umgekehrte Vorzeichen sich gegenseitig verdoppelnd aus. Neben diesen amplitudenmäßigen Fehlern treten aber auch noch erhebliche *Phasenfehler* auf. Beim Durchlaufen der Resonanzfrequenz tritt eine mehrmalige Drehung der Phasenlage ein, deren Werte erheblich sein können. Abgesehen davon, daß auch hierbei sich die Fehler durch relative Betrachtung des Auges stark bemerkbar machen, können auch bei synchronem Schreiben mit mehreren Systemen, die nicht völlig exakt die gleiche Eigenfrequenz haben, neben absoluten Phasenfehlern auch solche entstehen, die sich relativ von einer zur anderen Kurve bemerkbar machen. Damit werden alle Bemühungen um die Sicherstellung einer guten zeitlichen Koinzidenz oder, wie es häufig bezeichnet wird, Synchronisierung der Aufzeichnungen für die höheren Frequenzen illusorisch. Solche Fehler werden besonders bemerkbar, wenn höhere Frequenzen mit großer Papiergeschwindigkeit geschrieben werden. Um die Bedeutung dieser Erscheinung zu demonstrieren, sei nur das Beispiel erwähnt, daß schnelle Spitzenpotentiale, deren Frequenzen in der unmittelbaren Umgebung der Eigenfrequenz liegen, und die bei hoher Papiergeschwindigkeit auf zeitliche Koinzidenz untersucht werden sollen, durch die genannten Phasenfehler trotz im Objekt vorhandener guter Übereinstimmung mit ins Auge fallenden zeitlichen Verschiebungen relativ zueinander verzeichnet werden.

Die dargelegten Gesetzmäßigkeiten lassen es von technischer Seite unbedingt ratsam erscheinen, die Eigenfrequenz der Registriersysteme außerhalb des wiederzugebenden Frequenzbereiches zu legen.

Da eine Verlegung der Eigenfrequenz *unter* den Wiedergabebereich zu viel technische Schwierigkeit macht, müssen Wege gefunden werden, um *die Eigenfrequenz des Systems an die obere Grenze des EEG-Frequenzbereiches, nämlich auf etwa 200 Hz zu legen*. Dies hat auch den Vorteil, daß der Grad der Dämpfung des Systems innerhalb dieses Frequenzbereiches keine hervorragende Rolle mehr spielt. Lediglich die üblichen Eichimpulse, die durch einen Gleichspannungsstoß erzeugt werden und daher in ihrer Amplitudensteilheit über dem EEG-Frequenzbereich (dort wiederum je nach der Ausgestaltung der Frequenzkurve im Verstärker mehr oder weniger hoch) liegen, könnten durch ein so dimensioniertes Registriersystem verfälscht, d. h. je nach dem Grad der Dämpfung gekrümmt oder mit stärkerem oder geringerem Überschleudern gezeichnet werden. In diesem Falle aber ist die Form des Eichimpulses kein Kriterium mehr für die Wiedergabetreue der EEG-Frequenzen. Deshalb sollte im Idealfall der Eichimpuls in seiner Anstiegssteilheit (Frequenz) derjenigen der höchsten im EEG vorkommenden Frequenz entsprechen, um aus ihm weiterhin die Güte bzw. Eignung der Registriersysteme erkennen zu können. Da der Eichimpuls auch nahezu alle übrigen Eigenschaften des Systems zu analysieren gestattet, wäre damit eine komplette Überprüfungsmöglichkeit der Registriergüte gegeben. Eine solche Ausgestaltung des Eichimpulses

bringt jedoch eine erhebliche Komplizierung und einen Aufwand in der Eicheinrichtung mit sich, der wahrscheinlich durch die Erreichung des genannten Zieles nicht gerechtfertigt wird.

Genau wie im Falle des EEG gilt auch für das EKG die obige Forderung, daß sämtliche dort vorkommenden Frequenzen von einem Registriersystem, dessen Eigenfrequenz bei 200 Hz liegt, amplitudengetreu registriert werden, mit anderen Worten: Bei gleicher Steuerleistung werden alle Amplituden gleich groß geschrieben, gleichgültig, ob es sich um eine R- oder S-Zacke (relativ hohe Frequenz) bzw. um eine T- oder Q-Zacke (niedrige Frequenz) handelt. Dies sei ausdrücklich betont, da häufig die Behauptung angetroffen wird, daß die große Masse mechanisch schwingender Systeme (verglichen mit der des kleinen Spiegelchens bei optischer Registrierung) zu träge sein müsse, um die hohen Frequenzen wiederzugeben. Diese Behauptung wurde bestärkt durch die Erfahrungen mit den bisher üblichen Registriersystemen, deren Eigenschwingung gewöhnlich bei 60 bis 80 Hz liegt. Bei Registrierungen mit diesen Systemen werden tatsächlich schnelle Spitzenpotentiale (im EEG) sowie auch Aufspaltungen im EKG nicht mitgezeichnet oder nur schwach angedeutet: ein praktisches Beispiel für die grundsätzliche Unterschiedlichkeit der Aufzeichnung je nach der Resonanzlage der Apparatur.

Wie sich weiter oben ergab, ist für korrekte *Mehrfachregistrierung* auch die Sicherstellung einer guten *zeitlichen Koinzidenz* von großer Bedeutung. Um sie zu erreichen, ist es erforderlich, daß der der Zeitachse zugeordnete geometrische Ort des Registrierpunktes für mehrere Systeme gut übereinstimmt und auch für die Dauer so sichergestellt ist, daß er nicht durch irgendwelche mechanische Unzulänglichkeiten verschoben werden kann. Dies ist bei den bisherigen Anwendungen häufig nicht genau der Fall.

Oftmals ist die Schreibarmlänge nicht präzise übereinstimmend. Auch ungleichmäßiger Druck, der etwa dazu führt, daß der eine Schreibarm mehr durchgebogen ist als der andere, sowie geringfügige Verbiegungen des Schreibzeigers, die leicht im praktischen Betrieb zustande kommen können, sind Faktoren, die die zeitliche Koinzidenz stören können. In engem Zusammenhang hiermit steht das Problem der linearen Schrift im Gegensatz zu der bisher fast ausschließlich angewandten Bogenschrift. Bekanntlich erschwert die Bogenschrift die Auswertung von EEG-Kurven nicht unerheblich, da Symmetriefragen eine große Rolle spielen. Bei der Bogenschrift muß in der Vorstellung jeweils erst die gebogene Impulskoordinate in eine lineare umgedacht werden. Es kommt dabei schließlich auf ein Schätzen heraus, was leicht zu Fehlern führen kann.

Von TÖNNIES^{10, 11} wurde zur Umgehung der Bogenschrift eine Anordnung gebaut, bei der die Schreibarmachse in die Papierlaufrichtung zu liegen kam. Die Schreibkanüle war dabei an der Stirnfläche angebracht. Um die radiale Bewegung der Kanülspitze auszugleichen, wurde das Papier so geführt, daß es eine dem Schreibarmradius entsprechende Durchbeulung erfuhr. In der Blickrichtung senkrecht auf das Papier ergab sich somit eine lineare Bewegung des Schreibarmes. Die Schreibarme waren dabei so starr ausgeführt, daß auch kleine Bewegungen durch Reibung am Papier in der Papierbewegungsrichtung vermieden wurden. Wäre es bei dieser Anordnung möglich, dem Schreibarm eine gewisse Reibung zuzumuten, so hätte durch Anfedern sämtlicher Schreibarme an eine ihnen gegenüber angebrachte gerade Kante auch guter Synchronismus erzielt werden können.

Zum Komplex der Registriereinrichtung ist schließlich noch die Frage des *Papierantriebes* zu erwähnen, der bekanntlich elektromotorisch erfolgt. Die Meinungen hierüber sind insofern geteilt, als auf der einen Seite eine sehr gute Konstanz und Genauigkeit bezüglich der Papiergeschwindigkeit gefordert wird, während auf der anderen Seite häufig der Wunsch besteht, die Papiergeschwindigkeit kontinuierlich verändern zu können. Beide Wünsche gleichzeitig zu erfüllen, ist nicht ganz einfach.

Unter den üblichen Antriebsmotoren kommt für besonders hohe Konstanz nur der Synchronmotor in Frage. Dessen Umdrehungszahl ist aber nicht veränderbar, so daß eine stetige Regelung nicht möglich ist. Für veränderbare Geschwindigkeit kommt ein Kollektormotor mit in Serie geschaltetem Regelwiderstand in Frage. In leichter Ausführung, wie sie für den Elektrencephalographen benötigt wird, sind solche Motore nur in Hauptstromschaltung erhältlich, bei welcher sie aber, insbesondere im hinuntergeregelten Zustand, sehr instabil in der Tourenzahl sind. Selbst Nebenschlußmotoren mit beregeltem Feld dürften aber noch nicht einmal für die erforderliche Konstanz ausreichend sein. Eine weitere, bereits angewandte Möglichkeit ist die Verwendung eines Synchronmotors mit einem nachgeschalteten kontinuierlich verstellbaren Friktionsgetriebe⁶. Bei Verwendung eines solchen dürften die erforderlichen Konstanzwerte einzuhalten sein, wenngleich dieser Weg recht kostspielig ist, wenn die guten Eigenschaften auf die Dauer erhaltenbleiben sollen.

Es ist nicht die Aufgabe der Technik, zur Frage konstante oder stetig regelbare Geschwindigkeit selbst Stellung zu nehmen, vielmehr sollte versucht werden, wenn möglich beiden Wünschen, also sowohl der Erzielung der hinreichenden Konstanz als auch der kontinuierlichen Einstellbarkeit gerecht zu werden. Während für die klinische Elektrencephalographie nämlich zwei auswechselbare Geschwindigkeiten von 33 und 100 mm/sec als ausreichend bezeichnet werden (dies ist durch ein umschaltbares Zahnradgetriebe unter Verwendung eines Synchronmotors ohne weiteres zu erreichen), wird von verschiedenen Seiten, insbesondere für die wissenschaftliche Arbeit, eine Einstellbarkeit auf beliebige Geschwindigkeit unter Zuhilfenahme einer Zeitmarkierung als wesentlicher Vorteil empfunden. Es kommt hinzu, daß ein Elektrencephalograph auch noch für verschiedene andere Zwecke, z. B. auch, wie schon erwähnt, zur Aufnahme von EKG verwendet wird. Gerade hierfür kann es notwendig sein, andere Geschwindigkeiten als die beim EEG üblichen einzustellen. So scheint beispielsweise bei EKG-Aufnahmen die Einstellung von 25, 30, 40, in Amerika auch teilweise 50 mm und dazu als Zeitlupengeschwindigkeit 100—200 mm erwünscht. Es ist zwar möglich, alle diese Wünsche durch Anordnung einer entsprechenden Anzahl von Stufen zu erfüllen⁶, doch ist die Anordnung kostspielig. Es muß noch erwähnt werden, daß die Verwendung eines Synchronmotors, der nicht mit dem erwähnten, stetig verstellbaren Friktionsgetriebe ausgerüstet ist, in der Tourenzahl von der Netzfrequenz gesteuert ist und gezwungenermaßen dann bezüglich des Absolutwertes Fehlgeschwindigkeiten des Papierantriebes zur Folge hat, wenn die Netzfrequenz vom Sollwert abweicht. Solche Abweichungen sind aber, insbesondere in Deutschland, infolge der häufigen Überlastung der Netze für absehbare Zeit noch ziemlich hoch anzusetzen. Sie betragen sehr häufig bis zu 8, teilweise sogar über 10%. Solche Fehlgeschwindigkeiten sind als zu groß zu bezeichnen und sind in der geschilderten Anordnung nicht zu korrigieren. Der maximal zulässige Fehler dürfte mit 3—5% anzusetzen sein.

2. Verstärkereinheiten.

Die Verstärkerseite der bisher bekannten Apparaturen, kann im Rahmen der derzeitigen Bedürfnisse als prinzipiell gelöst angesehen werden. Seit MATTHEWS⁸ werden als Vorverstärker Gegentaktschaltungen und seit TÖNNIES¹² Differentialverstärker mit erdungsunabhängigen Eingängen verwendet. Die vorhandenen Probleme gehen sonst kaum über den Rahmen des nach dem heutigen Stande in der Niederfrequenztechnik Bekannten hinaus. Mannigfaltige Erfahrungen aus den Gebieten der niederfrequenten Meßtechnik, der Funk- und Funknavigationstechnik sowie der Infrarotsignaltechnik konnten zu Rate gezogen werden. Im Hinblick auf die hohe Verstärkungsziffer und Kleinheit der Eingangsspannung mit der größenordnungsmäßigen Annäherung an das Grundrauschen sowie die Miterfassung tiefster Frequenzen, sind daher nur systematische und fabrikatorisch-organisatorische Fragen zu lösen. Einzelteile dürfen nicht nur in einzelnen Exemplaren einer Fabrikationsserie ausgesucht werden, sondern es müssen sämtliche technischen Daten auf Toleranzzulässigkeit, auch für den ungünstigsten Fall, durchgearbeitet und dimensioniert sein. Abgleichmöglichkeiten müssen kleine Verschiedenheiten von Röhren auszugleichen erlauben. Derartige Probleme sind bei einem Gerät, das über 40 Röhren enthält, in Fülle vorhanden und bedürfen sorgfältigster Behandlung. Ähnlich verhält es sich bei den Netzspeisungsgeräten der Verstärker. Hier tritt neben die ebenfalls erforderliche sorgfältige Bemessung und toleranzmäßige Auslegung noch das Problem der Spannungsstabilisierung bei Netzschwankungen. Der völlige Verzicht auf Anodenbatterie und Akkumulator müßte durch vermehrten Aufwand zu teuer erkaufte werden. Ihre Benutzung jedoch sollte auf so wenig wie möglich Röhren eingeschränkt werden, damit nicht infolge großen Stromverbrauches eine häufige Auswechslung erforderlich ist. Dies bedingt naturgemäß die Einschaltung von Stabilisierungseinrichtungen, die innerhalb des Netzteiles angeordnet werden müssen.

3. Räumliche Anordnung.

Die Praxis der Aufnahme von EEG zeigt, daß es erforderlich ist, vom Patienten jegliche Ablenkung in dem ihn umgebenden Raum fernzuhalten. Besonders wenn der Einfluß künstlicher Reize untersucht wird, müssen zusätzliche ungewollte Reizwirkungen vermieden werden, die bei der Auswertung nicht mehr zu unterscheiden sind. Da die Verbindungsschnüre zwischen Patientenelektroden und Gerät zur Verringerung der Störanfälligkeit kurz sein müssen, ist eine *Trennung von Vorverstärker und Registriergerät* zweckmäßig. Verschiedentlich wird deshalb der Patient in einem separaten Raum plaziert, der durch eine dünne Wand von dem eigentlichen Aufnahmeraum getrennt wird. In

der Nähe des Kopfes des Patienten befindet sich dann lediglich ein Beobachtungsfenster, während der Patientenraum durch eine etwas abseits gelegene Tür zugänglich ist. Dieses Verfahren dürfte nicht restlos befriedigen. Es scheint erwünscht, den Patienten vom Registriergerät zu entfernen, ohne durch räumliche Trennung wieder Beobachtungserschwerung und mangelnden Kontakt mit in Kauf nehmen zu müssen.

Die Trennung von Vorverstärker und Registriergerät ist auch aus einem anderen Grunde erwünscht. Bei der außerordentlich hohen Verstärkung, die bei der Elektrencephalographie angewendet werden muß, sind die ersten Vorverstärkerstufen der verschiedenen Kanäle sehr empfindlich gegen Raumstörungen von elektrischen Feldern, sowie auch gegen Erschütterungen. In einem gedrängten Zusammenbau, der an sich für jedes technisch-medizinische Gerät erwünscht ist, damit die Apparatur nicht zu viel Platz einnimmt, ergeben sich Schwierigkeiten bezüglich der Einstreuung von Störspannungen in die ersten Stufen aus dem verhältnismäßig nahe liegenden Netzanschlußtransformatoren und anderen Störfeldern erzeugenden Organen. Während solche Störquellen im Einzelfall durch entsprechende individuelle Maßnahmen ausgeschaltet werden können, sind sie bei einer Serienfabrikation unter Berücksichtigung der hier immer auftretenden Toleranzen schwierig zu beherrschen. Weiterhin wird der Benutzer geneigt sein, ein schrankartiges Gerät mit der Längsseite an eine Wand zu stellen. Die häufig an den Wänden verlaufenden elektrischen Leitungen können ebenfalls auf die sich dann nahe der Wand befindlichen Vorstufen Einwirkungen ausüben, die sich in Wechselstromeinstreuungen auf die Registrierung auswirken. Diesen Gesichtspunkten gegenüber ist eine Anordnung ausfindig zu machen, die es ermöglicht, solchen Störfeldern auszuweichen.

Es ist ferner noch die Frage von Interesse, ob es zweckmäßiger ist, das Hauptgerät in *Schreibtischform* oder ähnlich einem *Stehpult* auszubilden. Zunächst besteht die auch vielfach angewendete Schreibtischform. Der Bedienende sitzt in bequemer Haltung wie bei der Schreibearbeit davor und hat hinter dem auf der Tischplatte ablaufenden Papierstreifen ein niedriges schalttafelartiges Paneel, auf dem sämtliche Einstellhandhaben bequem zugänglich erreichbar sind. Doch wird der mit dem Gerät registrierende Kliniker, insbesondere aber der wissenschaftlich Arbeitende, so oft gezwungen sein, am Untersuchungsobjekt selbst oder an zusätzlichen Geräten sich zu beschäftigen, daß er kaum längere Zeit am Bedienungsplatz bleibt. Da ein Schreibtischgerät in stehender Haltung schlecht zu bedienen ist, wäre daher ein erhöhtes Pult, vor dem man stehend arbeiten und seinen Platz leicht wechseln kann, vorzuziehen. Mit einem hohen Hocker kann man auch daran sitzen.

4. Allgemeiner Aufbau.

Auch der allgemeine Aufbau des Gerätes ist keinesfalls von untergeordneter Bedeutung. Es darf von technischer Seite nicht vergessen werden, daß nicht der Apparat selbst interessiert, sondern daß er nur Mittel zum Zweck der durchzuführenden Untersuchung ist. Seine Handhabung soll daher den Arbeitenden möglichst wenig von seiner geistigen Hauptarbeit ablenken. Die Elektrencephalographie nimmt im diagnostischen Sektor, in dem meist an sich schon die Beanspruchung der Aufmerksamkeit des Untersuchenden eine weit größere ist als im therapeutischen Betrieb mit technischen Geräten, eine Sonderstellung ein. Deshalb muß dafür gesorgt werden, daß trotz der Kompliziertheit der Vorgänge die

Apparatur in ihrer Bedienung so einfach, so anspruchslos, so übersichtlich und so praktisch wie möglich ist. Daß dabei die äußere Ausführung dem sachlichen Wert des Gerätes angepaßt sein und die mechanische Stabilität und Gedicgenheit der konstruktiven Ausführung entsprechend gehalten sein soll, bedarf der Erwähnung, da die meisten bisherigen Geräte in dieser Hinsicht zu wünschen übriglassen.

Der neue Elektrencephalograph.

Nachfolgend soll eine nach den besprochenen Richtlinien aufgebaute und bereits fabrikatorisch hergestellte Apparatur beschrieben werden, bei deren Entwicklung die Erfahrungen auf dem Gebiete der experimentellen und der klinischen Elektrencephalographie von A. E. KORN-MÜLLER und W. NOELL in intensiver Zusammenarbeit zur Verfügung standen. Aus der obigen Aufgabenstellung ist zu erkennen, daß Verbesserungsbedürftigkeit im wesentlichen im Registriermechanismus sowohl methodisch als auch konstruktiv vorliegt. Bezüglich der Registriereinrichtung ist eine Lösung gefunden worden, die von dem Bisherigen grundsätzlich abweicht und dazu geeignet scheint, die eingehend behandelten Mängel auszuschalten.

1. Registrierverfahren.

Das neue Verfahren, bei dem eine trockene, bleistiftähnliche Schrift erzeugt wird, verwendet neben dem eigentlichen Registrierstreifen aus gewöhnlichem schreibpapierähnlichem Material ein *Kohlepapier*, ähnlich dem für Durchschriften bei Schreibmaschinen benutzten. Das Kohlepapier wird dabei gegenläufig zum Registrierpapier an letzterem Schicht an Schicht vorbeigeführt, wobei an dem zu beschreibenden Punkt beide Papiere leicht aneinandergedrückt werden. Durch die gegenseitige Reibung entsteht bei verhältnismäßig sehr geringem Andruck eine Schwärzung, die durch die Bewegung eine Linie ergibt. Wird nun der geometrische Ort des Andruckpunktes quer zur Papierrichtung verschoben, so wird die hinterlassene Linie auf dem Papier entsprechende Bewegungen ausführen. Zur besseren Erläuterung ist in der Abb. 1 eine schematische Darstellung der Anordnung wiedergegeben, aus der auch zu erkennen ist, wie auf einfache Weise die *Bogenschrift vermieden und gleichzeitig absolute zeitliche Koinzidenz hergestellt wird*. Von einer Papierspule läuft das Registrierpapier in der Pfeilrichtung ab und wird mittels Umlenkrollé über eine feste Schneide gezogen, um dann von der Antriebswelle, die sich in der Pfeilrichtung dreht, und an die es mittels einer Andruckfeder (oder auch Rolle) angepreßt wird, frei abzulaufen. Das Kohlepapier kommt, ebenfalls von einer Rolle ablaufend, von der entgegengesetzten (in der Abbildung linken) Seite und wird ebenfalls durch eine Antriebsrolle in der Pfeilrichtung transportiert. Die Anordnung wird so getroffen, daß es gerade ohne merkbliche

Berührung unter der festen Schneide dem Registrierpapier gegenüber steht. Unterhalb des Farbpapieres ist das elektrisch angetriebene Registriersystem (Meßsystem) schematisch angedeutet, dessen Schreibarm mit leichtem Andruck das Blaupapier an das an der Schneidenkante scharf gewinkelte Registrierpapier andrückt. Es leuchtet ein, daß drehende Bewegungen des Schreibarmes um die Achse des Meßsystems entsprechende Bewegungen des Andruckpunktes und damit der Schriftlinie zur Folge haben. Dabei ist dafür gesorgt, daß der von den beiden äußersten Stellungen des Schreibarmes eingeschlossene Winkel klein bleibt, so daß bei den Auslenkungen ent-

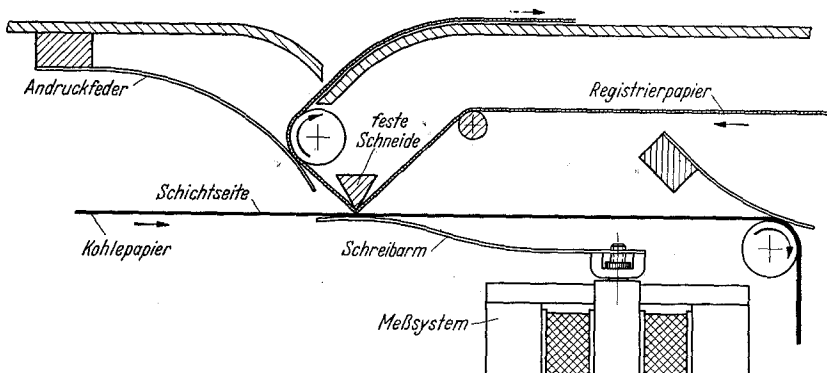


Abb. 1. Schematische Darstellung des Registrierverfahrens. Die Schreibarme drücken das durchlaufende Kohlepapier gegen eine gemeinsame Schneide, so daß senkrechte Koordinaten und absolute Synchronisierung erreicht wird.

stehende Tangensfehler entsprechend klein bleiben und durch entgegengesetzte Eigenschaften des elektromagnetischen Systems ausgeglichen werden. Ebenso dürfte einleuchten, daß auf diese Weise die Bogenschrift ausgeschaltet wird, da sich der Schnittpunkt der Schriftkante mit dem Schreibarm als bestimmender geometrischer Ort stets auf einer geradlinigen Koordinate bewegt. Ebenso ergibt sich ohne weiteres, daß, wenn die Schreibkante so lang gestaltet wird, daß mehrere Systeme nebeneinander angeordnet werden können, absolute zeitliche Koinzidenz zwischen den verschiedenen Schriftzügen vorhanden sein muß, da wiederum der eine geometrische Ort aller Schriftpunkte durch die mit Sicherheit als Gerade anzunehmende Schneide gegeben ist. Bei der praktischen Ausführung wird das Farbpapier nur mit einem Bruchteil der Ablaufgeschwindigkeit des Registrierpapieres bewegt, so daß der Verbrauch nur sehr gering ist. Bei entsprechender Bemessung der Scharfkantigkeit in der festen Schneide und am Schreibarm und bei Verwendung günstigster Papiersorten ist es möglich, außerordentlich dünne Linienführungen zu erzielen. Aus den Abbildungen, insbesondere denen in natürlicher Größe, wird die Güte der Registrierschrift in

der als zweckmäßig erkannten Linienzugbreite ersichtlich. Der einmal richtig eingestellte Andruck des Schreibarmes ist von der Papierstärke unabhängig, da die große Elastizität des flachen Stahlfederarmes Unregelmäßigkeiten ausgleicht. Die Oberflächengüte des Registrierpapieres ist verhältnismäßig unkritisch, da ein Verfließen nicht möglich ist.

Der massearme Schreibarm erleichtert die Erreichung der weiter oben geforderten Eigenfrequenz von 200 Hz wesentlich. Das übrige ist eine Bemessungsfrage innerhalb des elektromagnetischen Systems.

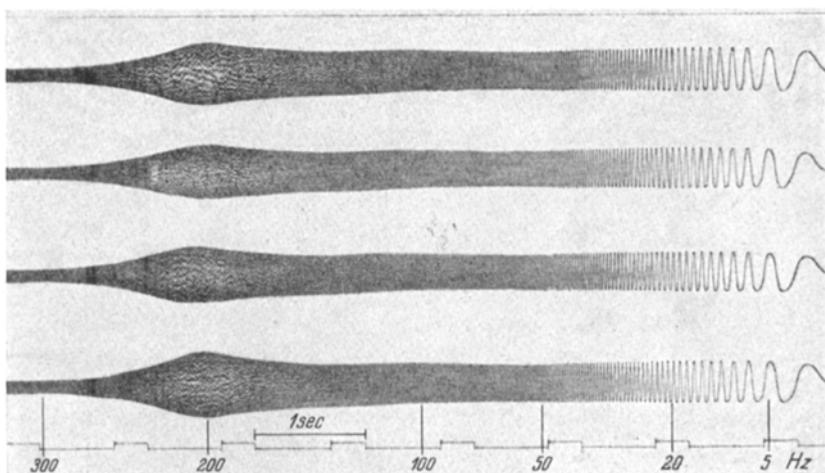


Abb. 2. Frequenzgang bei von 300—5 Hz gleitender Frequenz. Alle 4 Kanäle eingangsseitig parallel geschaltet. Die Abbildung zeigt den praktisch linearen Frequenzgang bis fast 200 Hz.

Durch sorgfältige Dimensionierung der bewegten Massen der Wirkkräfte und der Rückstellkräfte konnte in einer umfangreichen Entwicklungsarbeit eine *Eigenfrequenz von 200 Hz* tatsächlich erreicht werden. In der *Frequenzkurve* der Abb. 2 ist dies ersichtlich. Sie stellt eine Registrierung von vier Systemen, die parallelgeschaltet und nebeneinander angeordnet wurden, dar. Die Aufnahme erfolgt derart, daß bei konstant laufendem Papier die Steuerfrequenz stetig erhöht wurde („gleitende Frequenzkurve“). Die entsprechenden Werte des Frequenzgenerators sind unterhalb der Kurve vermerkt. Um die Frequenzkurve in üblicher graphischer Darstellung zu erhalten, bedarf es nur der Betrachtung der umhüllenden Kurve der Registrierungen. Von der Anfangsfrequenz 300 Hz an erfolgt ein stetiger Anstieg, entsprechend den früheren theoretischen Erwägungen. *Bei 200 Hz kommt ein zusätzlicher Resonanzanstieg hinzu, nach dessen Abklingen die Kurve von 180 bis 5 Hz annähernd gleiche Breite beibehält.* Die Kurve ist bei 5 Hz abgebrochen. Es sei deshalb gesagt, daß die Linearität natürlich bis 0 Hz

herunter erhalten bleibt, d. h., auch Gleichstromimpulse werden amplitudenlinear wiedergegeben. Im ganzen ergibt sich also der auch theoretische zu erwartende Verlauf der Frequenzkurve. Gleichzeitig ist das Bild geeignet, die Schriftgüte da zu erkennen, wo die Linienführung sehr dicht wird. Besonders gut kann hieran beurteilt werden, wie günstig sich die Feinheit der Schriftenzüge auswirkt. Im ganzen läßt

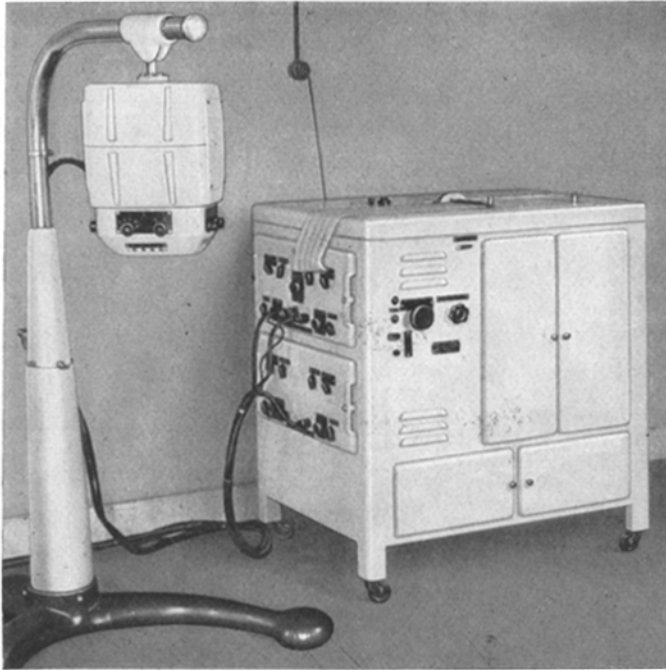


Abb. 3. Ansicht des kompletten Elektrencephalographen. Links Vorverstärker, rechts Endverstärker mit Schreibsystem.

die Einfachheit der Anordnung erkennen, daß die anfangs aufgeführten Störungsmöglichkeiten des bisherigen Verfahrens ausgeschlossen sind. Das Registersystem, das nicht mit einer an sich stets sehr empfindlichen beweglichen Spule arbeitet, sondern nur mit beweglichen Eisenteilen, ist so hoch überlastbar, daß eine Schädigung ausgeschlossen ist. Seine technische Ausführung besitzt industriemäßige Stabilität. Ebenso entfallen die oben geschilderten handhabungsmäßigen Belästigungen des Benutzenden.

2. Das gesamte Gerät.

In Abb. 3 ist das gesamte EEG-Gerät im Foto gezeigt. Es ist aus der Abbildung zu erkennen, daß zunächst grundsätzlich eine *Aufteilung in*

zwei Einheiten vorgenommen wird, nämlich in ein schrankartiges *Hauptgerät* und ein *Vorverstärkergerät* an einem Galgen hängend, wobei die beiden Einheiten durch Kabel miteinander verbunden sind. Dies ermöglicht in gewissen Grenzen nach Belieben die Entfernung des Untersuchungsobjektes (bei wissenschaftlichen Untersuchungen kann es auch ein auf einem Tisch unter den Galgen geschobenes kleineres Objekt sein) vom Untersuchenden den praktischen Erfordernissen durch entsprechende Aufstellung anzupassen. Ebenso ergibt sich die Möglichkeit, ohne den Aufstellungsort des Hauptgerätes zu ändern, den etwa unter dem Galgen meist in bequemer Haltung auf einem Lehnstuhl platzierten Patienten von örtlich bedingten Störungen freizuhalten. Die Anbringung der Vorverstärker über dem Kopf des zu Untersuchenden gestattet die Verwendung kurzer Verbindungsschnüre und eine saubere Führung der Schnüre. Der Galgen ist in der Höhe verstellbar. Der zu Untersuchende kann, dem Arzt den Rücken zuwendend, ihm frontal gegenüber sitzen oder in beliebiger anderer Stellung platziert werden. Das Hauptgerät besitzt eine Höhe von 1 m. Der Bedienende kann bequem davor stehen und dabei in senkrechtem Aufblick den ablaufenden Papierstreifen betrachten. Außer dem vom ablaufenden Papierstreifen eingenommenen Platz steht ihm die gesamte Tischplatte zu Ablagezwecken zur Verfügung. Während er sich mit der rechten Hand Notizen machen kann, erfolgt die Betätigung der während des Betriebes zu bedienenden Handhaben, wie Papierlauf, Empfindlichkeitsperrung und ähnliches mit der linken Hand an der ihm zugekehrten Seite. Auf der linken, in der Abbildung sichtbaren Seite befinden sich alle diejenigen Einstellmittel, die zum eigentlichen Verstärkungs- und Eichvorgang gehören. Die Einstellmittel, die zur beliebigen Vertauschung von Elektroden und Verstärkeranschlüssen dienen, sind in einem Schaltkasten unterhalb des Vorverstärkers am Galgen angeordnet, der auch die Anschlußbuchsen für die Verbindungsschnüre zum Patienten enthält.

3. Elektrische und technische Einzelheiten.

Das Gerät ist mit je vier selbständig arbeitenden Kanälen, bestehend aus Vorverstärker, Hauptverstärker und Registriersystem ausgerüstet. Gemeinsam sind die Netzteile und die Papiervorschubeinrichtungen. Der Verstärkungsfaktor der Kanäle ist so bemessen, daß bei Einstellung größter Empfindlichkeit für 12 mm Schriftgröße 20 μ V Eingangsspannung benötigt werden. Die Verstärkung ist derart einstellbar, daß sie bis auf 1 mV für 10 mm heruntergeregelt werden kann. Dadurch wird es möglich, auch EKG-Aufnahmen mit dem Gerät durchzuführen. In diesem Falle können, der Kanalzahl entsprechend, vier Ableitungen gleichzeitig geschrieben werden. So etwa die drei klassischen

Ableitungen mit zusätzlich einer Thoraxableitung oder einer Herzschaal- oder Pulsschlagtaufzeichnung. Die obere Frequenzgrenze ist einstellbar für 2000, 200, 30 und 15 Hz. Die *untere Frequenzgrenze der Verstärker* beträgt 0,35 Hz, entsprechend einer Zeitkonstante von 1 Sek. Auch hier ist eine Umschaltung vorgesehen für eine Grenzfrequenz von 1,7 und 7 Hz. Die Einstellung der *oberen Frequenzgrenze für 2000 Hz* wurde vorgesehen, um an für diesen Zweck angebrachten Ausgangsklemmen Elektronenstrahloszillographen zur Beobachtung oder fotografischen Aufnahme dieses Frequenzbandes auf dem Leuchtschirm anschalten zu können. Mit Hilfe einer eingebauten Eich Taste können Impulse nach Belieben auf den Vorverstärker oder auch auf den Hauptverstärker gegeben werden. Hierzu ist ein besonderer Umschalter am Hauptgerät vorgesehen, der automatisch die Amplitude der Eichimpulse, entsprechend dem Verstärkungsunterschied, einstellt. Die vorhandenen Verstärker und Netzanschlußeinheiten sind auf herausziehbaren Gestellen aufgebaut, deren Frontplatten die Einstellhandhaben tragen (s. linke Seite des Hauptgerätes in der Abb. 3). Sie sind durch Herausziehen leicht für eventuelle Nachprüfungen zugänglich. Ein mitgeliefertes Tastinstrument, das innerhalb der Verstärker und Netzanschlußeinheiten an einer großen Anzahl von Prüfkontakten angesetzt werden kann, gibt Aufschluß über den Zustand von Röhren und Schaltteilen. Die Anschaltung des Patienten erfolgt über einen Differentialverstärker, wie das bisher auch üblich war¹². Er besitzt eine Schaltung, in der ein Mischprinzip, ähnlich dem bei Überlagerungsempfängern der Funktechnik üblichen, angewendet wird. Die Schaltung (Entstörung von parasitär auf den Eingang gelangenden Fremdspannungen) hat den Vorteil, einregelbar zu sein. Es kann daher auch bei Alterung der Röhren stets wieder das Optimum eingestellt werden. Zu diesem Zweck sind im Verstärker je Kanal eine Einstellhandhabe vorgesehen. Die Nachprüfung bzw. Korrektur geschieht dabei durch folgende einfache Einrichtung:

Die Ableitungsumschalter, die auch eine Stellung „Eichen“ einschließen, besitzen zusätzlich eine Stellung „Kompensieren“. In dieser Schaltstellung werden die bipolaren Eingänge parallel und an den Eichimpuls angeschaltet. Betätigt man nun die Eich Taste, so wird der Eichimpuls bipolar zugeführt. Das Kriterium für die Güte der Kompensation wird dann gegeben durch die verbleibende Restaufzeichnung auf dem Registrierstreifen. Je kleiner der aufgezeichnete Restimpuls wird, um so größer ist die Güte der Störspernung. Bei dieser Prüfung wird mittels eines vorhandenen Umschalters der Eichimpuls auf etwa 1000 μV erhöht. Diese Anordnung gestattet es auch, die Kompensationstiefe sofort in Zahlen abzulesen. War die Empfindlichkeitseinstellung des Gerätes so gewählt, daß bei einem Impuls von 20 μV eine Impulsaufzeichnung von plus-minus 6 mm entsteht, und wird bei derselben Einstellung bei der Kompensationsprüfung mit einem Eichimpuls von 1000 μV auf dem Registrierstreifen eine gleich große Auslenkung aufgezeichnet, so bedeutet dies ein Verhältnis der Nutz- zur Störampplitude von

1 : 50. Bei sorgfältiger Einstellung kann in der Praxis ein Verhältnis von 1 : 500 leicht erreicht werden. Die Auslenkungen der Kompensationsstellung werden dann nur noch etwa plus-minus 0,6 mm hoch.

Die genannten Schalter für „Eichung“ und „Kompensation“ besitzen vier weitere Stellungen, durch die die Röhreneingänge der einzelnen Kanäle jeweils auf eine Ableitung geschaltet werden und dergleichen mehr. Ein weiterer, vorgesehener Schalter gestattet die abwechselnde Benutzung bipolarer und unipolarer Ableitungen. Die genannten Schalteinrichtungen sind in einem Schaltkasten vereinigt, der unterhalb der Vorverstärker an diese angebaut ist. An ihm befinden sich auch die Buchsen zum Einstöpseln der Verbindungsschnüre für die Elektroden am Patienten.

An weiteren zusätzlichen Einrichtungen ist zu erwähnen eine *Zeitmarkierung*, die auf Impulse von 0,1, 0,2 und 1,0 Sek. einstellbar ist und eine *Reizmarkierung*. Der *Papiertransport* wird durch einen eingebauten Repulsionsmotor bewerkstelligt, der durch eine Bürstenverstellereinrichtung eine beliebige kontinuierliche Papierlaufgeschwindigkeit in zwei Stufen zwischen 10 und 60 mm/sec und 50—200 mm/sec zu erzielen gestattet. Die Konstanz dieses Spezialmotors ist außerordentlich groß, da er ein für alle Geschwindigkeiten annähernd gleichbleibendes Drehmoment besitzt. Dies bedeutet, daß er das Papier stets mit der gleichen Kraft vorwärts treibt, gleichgültig, ob bei schnellem oder langsamem Papierlauf.

4. Praktische Arbeitsergebnisse.

In den Abb. 4—7 sind Abschnitte von Registrierstreifen wiedergegeben, die mit dem geschilderten Gerät aufgenommen wurden. Die Abb. 2, 5 und 6 zeigen die Kurven fotografisch möglichst naturgetreu. Die übrigen sind nach Fotokopien im Schwarz-Weißdruck hergestellt. Zu diesem Zweck wurden die Originale kontrastreich fotokopiert (nicht etwa in einem besonderen Verfahren, sondern lediglich unter genauer Beachtung der geeignetesten Belichtungszeiten) und daraufhin in üblicher Weise klischiert. Die Frequenzkurve in Abb. 2 wurde bereits besprochen.

Abb. 4a zeigt die üblichen *Eichimpulse* bei normaler Papiergeschwindigkeit (33 mm/sec) und bei volleingestellter Empfindlichkeit des Gerätes. Der Eichimpuls beträgt dabei $20 \mu\text{V}$. Die Abbildung ist besonders interessant für die Beobachtung des *Rauschpegels* des gesamten Gerätes, sowie auch der Schreibgüte der Systeme. Dabei ist zu beachten, daß bezüglich der Rauschwerte die gestochenen feine Linienführung zu der Neigung führt, die Beurteilung eher zu ungünstig als etwa zu günstig, bezogen auf die Tintenschrift, ausfallen zu lassen. Bezüglich der Systemgüte ist zu erkennen, daß sowohl die Steilheit der Anstiegslinie als auch die an ihren Enden befindlichen spitzen Ecken auf die besonderen

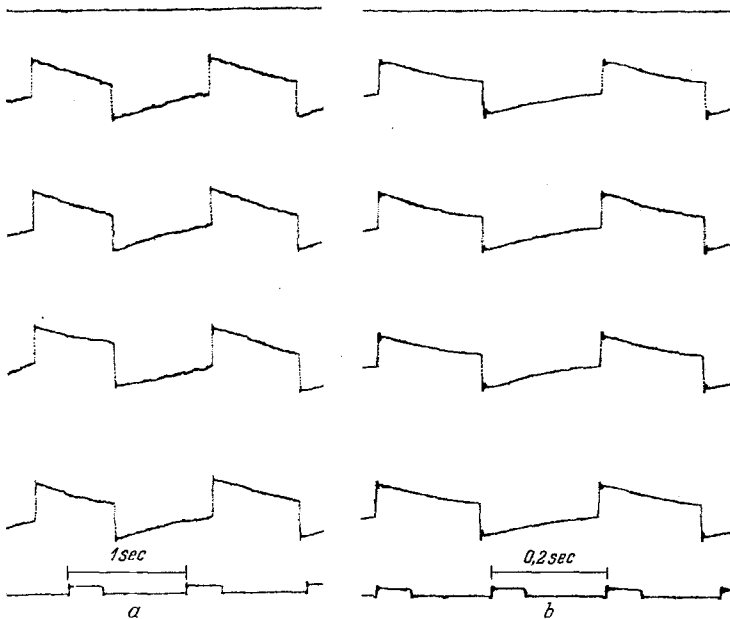


Abb. 4 a u. b. Eichkurven des Apparates. Derselbe Eichimpuls wird über die Verstärker auf alle 4 Schreiber gegeben: a Hohe Empfindlichkeit, Eichimpulse von $20 \mu\text{V}$. Zeitkonstante $0,5 \text{ Sek.}$, Zeitmarkierung 1 Sek. . Die leichte Asymmetrie der Kurve 3 ist dadurch bedingt, daß ein Auspendeln der Endstufe durch einen vorher eingetretenen Störimpuls eintrat. Aus dem kurzen, wiedergegebenen Stück ist diese Ursache nicht zu erkennen. b Verringerte Empfindlichkeit, Eichung $50 \mu\text{V}$ und erhöhte Papiergeschwindigkeit von 115 mm/sec , Zeitkonstante $0,2 \text{ Sek.}$, Zeitmarkierung $0,2 \text{ Sek.}$

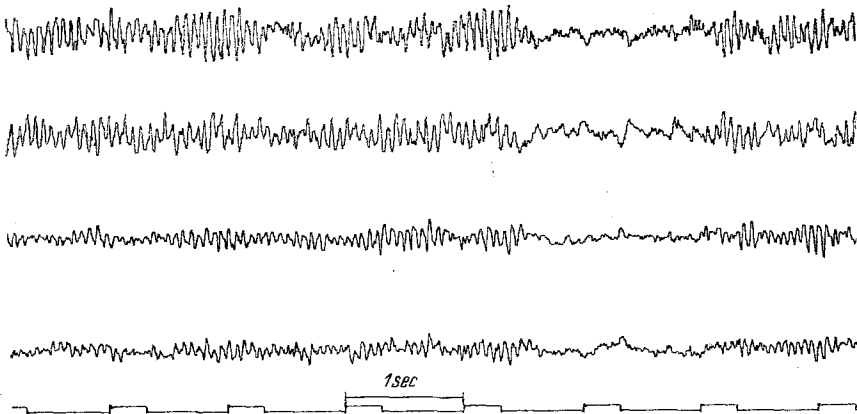


Abb. 5. EEG mit 4 verschiedenen Ableitungen (occipital, parietal, präzentral und frontal). Zeitmarkierung 1 Sek.

Frequenzeigenschaften hinweisen. Auch aus den Rauschfrequenzen kann auf ihre Frequenzeigenschaften geschlossen werden. Für die

Systembeurteilung noch geeigneter ist vielleicht das Kurvenbild in Abb. 4b. Durch die dort angewendete große Papiergeschwindigkeit (115 mm/sec) werden die einzelnen Vorgänge zeitlupenartig auseinandergezogen. Deutlich wenn auch — der Eigenfrequenz entsprechend — in der Zeitachse zusammengedrängt, ist hier der Einschwingungsvorgang zu erkennen. Auch am Fußpunkt der Anstiegslinien sind noch keine Ver-

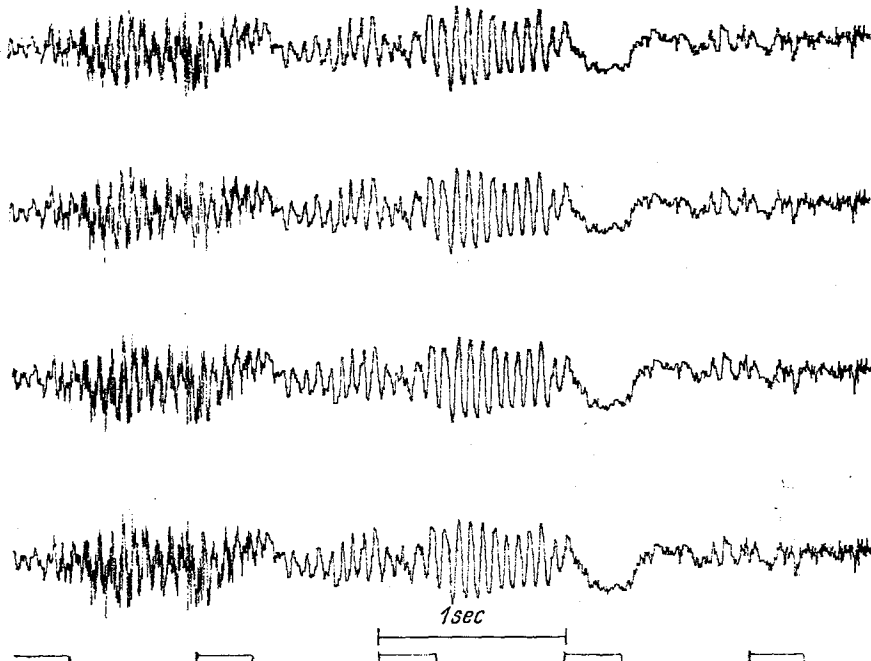


Abb. 6. EEG. 4 Kanäle eingangsseitig parallel geschaltet an eine Occipitalableitung. Zeitmarkierung 1 Sek.

rundungen zu erkennen. Ebenso ist die Linienführung der An- und Abstiege steil und völlig klar und deutlich.

Abb. 5 zeigt ein EEG mit vier verschiedenen Ableitungen, wie es der üblichen praktischen Arbeit entspricht. Es handelt sich dabei um vier unipolare Ableitungen, die in der Reihenfolge occipital beginnend bis hochfrontal endend in annähernd gleichen Abständen angesetzt wurden. Auf der rechten Seite der Abbildung sind die Augen zeitweise geöffnet. Aus der Zeitmarkierung von 1 Sek. am unteren Rande wird die Papiergeschwindigkeit mit etwas über 30 mm je Sekunde ausgemessen. Die oberhalb der ersten Ableitung sichtbare gerade Linie stellt die Reizmarkierung dar, die durch Drücken der Reizmarkentaste ähnliche

Auslenkungen, wie sie bei der Zeitmarkierung entstehen, aufweist. In Abb. 6 sind alle vier Kanäle parallel an ein und dieselbe EEG-Ableitung geschaltet. Zweck dieser Maßnahme ist es, eine Vergleichsmöglichkeit der vier Kanäle untereinander zu geben. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, durch Anlegen eines Fadenlineals unter Verwendung einer Meßlupe, die Güte der Synchronisierung zu prüfen. Der Vorgang beginnt deshalb mit absichtlich erzeugten, den α -Wellen überlagerten Muskelaktionsströmen (hohe Frequenzen). Anschließend folgen ausgeprägte α -Wellen. Für die Bewertung des Frequenzganges interessant

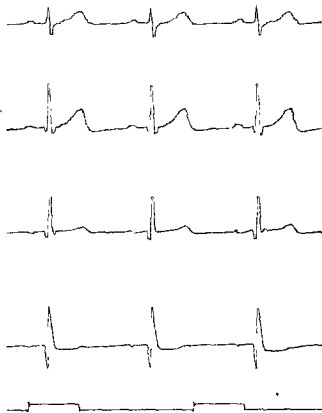


Abb. 7. EKG. Ableitung I, II, III und IV (Thoraxableitung). Zeitmarkierung 1 Sek. Bei der Registrierung des EKGs wurde eine zu kurze Zeitkonstante von 0,5 Sek. angewandt. Sie führt, insbesondere bei der T-Welle erkennbar, zu einer leichten biphasischen Verzerrung, die durch höhere Zeitkonstante von 1 Sek. vermeidbar ist.

ist auch die anschließende sehr träge Welle (durch Öffnen der Augen bedingt), dann das übliche Fehlen der α -Wellen, bis am Schluß durch Augenschließen wieder α -Wellen vorhanden sind. Die Abbildung zeigt also Wellen aus allen Gebieten des EEG-Frequenzbereiches.

Wie bereits erwähnt, können mit dem EEG-Gerät auch EKG aufgenommen werden. Dabei können die vier Kanäle vollkommen beliebig und selbständig den wo auch immer gewünschten Ableitungspunkten zugeordnet werden. Es besteht also die Möglichkeit, jeweils vier Ableitungen gleichzeitig zu registrieren, was bekanntlich für Belastungs-EKG von besonderer Bedeutung ist. In Abb. 7 ist eine derartige EKG-Aufnahme wiedergegeben. Neben den drei klassischen Ableitungen ist als vierte eine Thoraxableitung angeschaltet. In derselben Weise

können aber auch etwa vier Thoraxpunkte angesetzt werden oder auf einzelne Kanäle mittels eines besonderen Abtastkopfes Herzton- oder Pulsschlag registriert werden.

Bei genauer Betrachtung ist aus der Abbildung zu erkennen, daß von Periode zu Periode kleine Abweichungen in den einzelnen Zacken erkennbar sind (siehe insbesondere Q- und S-Zacke). Die Ableitung 2, an der dies am deutlichsten erkennbar ist, wurde deshalb zur Kontrolle auf einem zweiten Gerät gleichzeitig in Parallelschaltung auf allen vier Kanälen aufgezeichnet. Da die Verschiedenheit bei sämtlichen Registrierungen gleichmäßig erschienen, war, wie schon früher häufig nachgewiesen, darauf zu schließen, daß die Unregelmäßigkeiten nicht auf die Apparatur, sondern auf den Patienten zurückzuführen sind. In einem gleichzeitig aufgenommenen EKG mittels fotografisch arbeitendem Spiegelgerät waren die Verschiedenheiten, infolge der stark verbreiterten Null-Linie, kaum zu erkennen. Dagegen sind sie bei Verwendung fotografisch arbeitender EKG-Geräte, die mit Elektronenstrahlröhren ausgerüstet sind, ebenfalls deutlich vorhanden.

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß inzwischen auch mit dem neuen Registrierverfahren arbeitende Elektrokardiographen mit Vierfachregistrierung und mit Einfachregistrierung serienmäßig hergestellt werden.

Zusammenfassung.

1. Nach kurzem Eingehen auf die Entwicklung der EEG-Apparatur werden die wesentlichen Probleme diskutiert, die für einen Elektrencephalographen nach dem heutigen Stande berücksichtigt werden sollten. Die noch vorhandenen Schwierigkeiten betreffen im wesentlichen das Registrierverfahren, dessen Frequenzeigenschaften und Synchronisierung.

2. Es wird ein neues Registrierverfahren mit sofort sichtbarer Direkt-schreibung mitgeteilt und seine Abweichungen und Fortschritte gegenüber dem bisher Bekannten besprochen. Vorzüge der Apparatur sind: Trockene bleistiftartige Schrift in linearen Koordinaten, linearer Frequenzgang der Schreiber bis nahezu 200 Hz. Durch besonders stabile Konstruktion des Schreiborgans sind Beschädigungen, auch bei falscher oder unvorsichtiger Handhabung, praktisch ausgeschaltet.

3. An Beispielen von Frequenzkurven, Eichkurven, EEG- und EKG-Aufnahmen wird die Leistungsfähigkeit des Apparates diskutiert.

Literatur.

- ¹ BUCHTHAL, F., u. E. KAISER: Acta psychiatr. (Dän.) 8, 389 (1943). — ² DUCHOSAL, P., u. R. LUTHI: Arch. Mal. Coeur etc. 22, 806 (1929). — ³ GARCEAU, E. L., and H. DAVIS: Arch. Neur. (Am.) 34, 1292 (1935). — ⁴ GEMELLI, A., e C. TRABATTONI: Arch. Psicol. ecc. 3, 349 (1942). — ⁵ GRASS, A. M.: Manual of Electroencephalography. Boston 1943. — ⁶ JUNG, R.: Z. Neur. 165, 374 (1939). — ⁷ KORNMÜLLER, A. E.: Klinische Elektrencephalographie. München: J. F. Lehmann 1944. — ⁸ MATTHEWS, B. H. C.: J. Physiol. (Brit.) 81, 28 P (1934). — ⁹ TÖNNIES, J. F.: Naturw. 20, 381 (1932). — ¹⁰ TÖNNIES, J. F.: Dtsch. Z. Nervenhk. 130, 60 (1933). — ¹¹ TÖNNIES, J. F.: Wechselstrom-Netzanschlußverstärker mit hoher zeitlicher Konstanz. Diss. Berlin 1936. — ¹² TÖNNIES, J. F.: Rev. scient. Instr. 9, 95 (1938). — ¹³ TÖNNIES, J. F., u. A. E. KORNMÜLLER: Dtsch. Z. Nervenhk. 130, 166 (1933).

Ing. FRITZ SCHWARZER, Elektrofrequenz, (20a) Alfeld (Leine), Hochhaus.

- - - - -