(Aus dem physikalischen Kabinett des Bottroper Gymnasiums.)

Ein neues Verfahren der Reihenbildaufnahme der Augenbewegungen.

Von

Dr. phil. **L. Kunz**, Oberlehrer, u. Dr. med. **J. Ohm**, Augenarzt in Bottrop i. W.
(Mit Unterstützung der rheinischen Gesellschaft für wissenschaftliche Forschung
in Bonn.)

Mit 30 Textfiguren und 1 Tafel.

1. Geschichtliches.

Motorische Erscheinungen lassen sich in befriedigender Weise nur durch motorische Methoden untersuchen. Ihrer Verwendung am menschlichen Auge*) steht die Schwierigkeit der Übertragung hinderlich im Wege.

Orschansky**)³) bedient sich einer auf das Auge gedrückten Schale, die einen die Übertragung vermittelnden Stift trägt, oder eines Spiegels zur photographischen Aufzeichnung.

Wojatschek**)⁴) legt den Spiegel, der das von einer Nernstlampe ausgesandte Licht auf eine mit lichtempfindlichem Papier versehene Trommel wirft, auf das geschlossene Auge.

Einfacher und in ihren Ergebnissen erfolgreicher sind die Verfahren von Buys⁵) und Ohm⁶).

Buys verwendet eine gegen das geschlossene Lid gedrückte, mit einer Gummihaut überspannte Kapsel, deren Bewegungen durch Luftverschiebung in einem dünnen Schlauch auf eine Mareysche Vorrichtung übertragen werden.

Ohm befestigt frontal gestellte Hebel verschiedener Länge mittels Heftpflaster und Zwirnsfaden am Oberlid und läßt so die Bewegungen der Lider und der Augen unmittelbar auf das berußte Papier des Kymographions schreiben.

*) Bei Tieren ist es verhältnismäßig einfach, die freigelegten Muskeln mit Hebeln zu verbinden, wie Bartels¹) in seinen klassischen Untersuchungen über Ohrnystagmus gezeigt hat.

**) Nach Coppez²).

Beide Methoden sind auch binokulär anwendbar, haben ihre praktische Brauchbarkeit hinreichend bewiesen und ergänzen einander. Während das Verfahren von Buys sich hauptsächlich für das labyrinthäre Zittern eignet, paßt das von Ohm in erster Linie für das Augenzittern der Bergeleute, dessen Erforschung dadurch auf eine sichere experimentelle Grundlage gestellt ist⁷⁾. Letzteres gewährt schnell und einfach Aufklärung über die Dauer, den Ausschlag bis herab auf $\frac{1}{40}$ mm und den Ablauf der Zuckungen, versagt aber bei der Feststellung der Zuckungsbahn. Diese Lücke muß durch die Kinematographie ausgefüllt werden, die besonders dann unersetzlich ist, wenn die Zuckungen auf beiden Augen verschieden sind, wie es besonders bei dem Augenzittern der Bergeleute mit seinem ausgeprägt dissoziierten Charakter der Fall ist. Als erster hat Coppez²⁾ 1910 der Société française d'Ophtalmologie einige Films mit den Hauptarten des Nystagmus vorgeführt.

Pinaroli⁸⁾ suchte 1912 das Verfahren zu verbessern, indem er auf der Haut in der Nähe des äußeren Lidwinkels mittels eines Dermo-graphen eine Marke anbrachte, auf die Photographie ein Transparent mit qmm-Teilung legte und darin den jedesmaligen Stand des unteren Hornhautrandes eintrug, woraus er dann die Nystagmusbahn ableitete.

Coppez²⁾ betont die Fehler dieser Methode, nämlich ihre Langsamkeit — nur 12 Aufnahmen in der Sekunde —, ihre Unzulänglichkeit bei Rollung der Hornhaut und ihre Kostspieligkeit und sucht den Wert der Kinematographie eigentlich nur in didaktischer Hinsicht, d. h. in der Möglichkeit, die verschiedenen Arten des Nystagmus vorführen zu können.

Mehr Erfolg hatte Abrahams⁹⁾, der sich als Untersuchungsgegenstand den labyrinthären Nachnystagmus wählte. Er fixiert den Kopf zwecks schneller Einstellung nach der Drehung mittels einer Maske, photographiert zugleich mit dem Auge ein Fadenkreuz und mißt in der Photographie mittels eines Schlittenapparates am Mikroskop die Entfernung des Fadenkreuzes vom inneren Rand der Regenbogenhaut unter Beschränkung auf den wagerechten Nystagmus des rechten Auges. In einigen Fällen legte er einen dünnen Fremdkörper auf die cocainisierte Bindehaut, ohne darin aber einen Vorteil gegenüber dem ersten Verfahren zu finden. Die Zeit bestimmt er später durch Photographieren des kleinen Uhrzeigers, indem er den Motor durch elektrischen Antrieb in gleicher Schnelligkeit laufen läßt. Er macht 25—30 Aufnahmen in der Sekunde und erreicht eine Genauigkeitsgrenze von 0,05 mm.

Auf diese Weise ermittelte er beim Nachnystagmus die Häufigkeit der Zuckungen (4 in 1 Sekunde), die konstant bleibt, auch wenn Aus-

schlag allmählich abnimmt, das zeitliche Verhältnis der Phasen (3 : 5), die Schnelligkeit der Bewegung in den einzelnen Teilen des Weges, die unregelmäßig ist, und den Ausschlag (2,6—0,05 mm).

Der Bergmannsnystagmus entging seinen Bemühungen wegen seiner Kleinheit und Schnelligkeit.

Abrahams bemerkt zum Schluß, daß die mit der Analyse der Bilder eines Falles verbundene große Mühe umfangreiche Untersuchungen ausschließt.

Ohne Kenntnis der erwähnten Bestrebungen legte Ohm am 9. Febr. 1913 der Versammlung rhein.-westfäl. Augenärzte in Düsseldorf einige Films von Augenzittern der Bergleute vor¹⁰⁾. Diese mit einem gewöhnlichen kinematographischen Apparat aufgenommenen Bilder befriedigten jedoch nicht, weshalb in gemeinsamer Arbeit mit dem Physiker eine neue Lösung gesucht wurde.

Es schien uns eine reizvolle nervenphysiologische Aufgabe, die Zuckungsbahn gewissermaßen mikroskopisch festzulegen. Die Hauptschwierigkeiten, die der Verwertung der Reihenbildaufnahme des Augenzitterns der Bergleute entgegenstehen, sind: 1. der Mangel eines scharf begrenzten, für die Messung verwertbaren Punktes am Auge; 2. die Kleinheit des Ausschlags, 3. die Störung durch Lidzuckungen. Nach mühevollen, sich über fast 2 $\frac{1}{2}$ Jahre erstreckenden, kostspieligen und an Mißerfolgen reichen Vorarbeiten gelangten wir zur Ausarbeitung eines neuen Verfahrens der Reihenbildaufnahmen.

2. Der Apparat.

Ohm hatte sich bei seinen ersten Versuchen eines Aufnahmeapparates bedient, wie er für die Herstellung von Vorführungsfilmen üblich ist. Der Träger der photographischen Schicht wird in diesen Apparaten bekanntlich ruckweise weiterbewegt und der Verschuß des Aufnahmeobjektivs wird für jede Einzelaufnahme eine gewisse, wenn auch kurze Zeit lang geöffnet, während gleichzeitig der Film stillsteht. Da sich der Gegenstand der Aufnahme in dieser Belichtungszeit weiterbewegt, so ergibt sich eine Unschärfe des Bildes, die sogar schon bei Vorführungen zur Betrachtung mit unbewaffnetem Auge lästig sein kann. Für den oben angegebenen Zweck ist es nun erforderlich, die einzelnen Bilder bei einer etwa zehnfachen Vergrößerung unter dem Mikroskop auszumessen; es war daher von vornherein zu erwarten, daß die erwähnte Unschärfe störend sein müßte. Tatsächlich waren auch die mit einem Apparat der erwähnten Art hergestellten Aufnahmen für Ausmessungen unbrauchbar. Nun bietet der Entladungsfunkle einer Leydener Flasche wegen seiner Lichtstärke und (bei passender Versuchsanordnung) sehr kurzen Dauer die Möglichkeit, scharfe Aufnahmen selbst schnell bewegter Objekte zu machen. Dieser Gedanke ist schon

vor einem halben Jahrhundert von Töpler und später insbesondere von Ernst Mach in glücklicher Weise für Einzelaufnahmen, z. B. fliegender Geschosse, ausgeführt worden. Es ist im folgenden unsere Aufgabe, darzulegen, wie wir für unseren besonderen Zweck diesen Grundgedanken benutzt haben. Da wir aus verschiedenen Gründen, die zu einem nicht geringen Teil in der Ungunst der Kriegszeit liegen, uns hier kurz fassen müssen, so sei in bezug auf den elektrischen Teil unserer Apparatur hingewiesen auf die mittlerweile erschienene ausgezeichnete Schrift über Methoden der Momentphotographie von Bruno Glatzel¹¹⁾.

Funkenerzeugung. Die Funken werden mit Hilfe von Wechselstrom erzeugt, der einem Netz von 170 Volt Spannung und einer Frequenz von 50 Perioden oder 100 Polwechseln in der Sekunde entnommen wird. Das Prinzip der Funkenerzeugung soll mit einfachen Worten

Fig. 1.

erläutert werden an Hand der Fig. 1, die einen sogenannten Resonanztransformator schematisch darstellt. Diese Transformatoren haben den Zweck, Kapazitäten (Leydener Flaschen) immer wieder von neuem aufzuladen. Es bedeuten P und S je eine Drahtspule, C eine Leydener Flasche, F die Elektroden einer Funkenstrecke. Legt man an die Enden der Spule P eine Wechselspannung, so wird an den Enden der Spule S , also an den Belegungen der Leydener Flasche C oder, was auf dasselbe hinauskommt, an den Elektroden der Funkenstrecke F

eine Wechselhochspannung erzeugt. Die Wechselstrommaschine und die Spule P einerseits sowie die Spule S und die Kapazität C andererseits bilden hierbei je ein schwingungsfähiges System im elektrischen Sinne. Der Energiegehalt des ersten (primären) Kreises wird nun auf den zweiten (sekundären) Kreis etwa nach Art des folgenden mechanischen Vorganges übertragen. Man denke sich irgend zwei Massen (z. B. Einkilogramm-Gewichtsteine) an gleichlangen (sagen wir 3 m langen) Fäden nebeneinander aufgehängt, so daß beide Pendel frei schwingen können. Gibt man der einen Masse einen Stoß, so haben die so erzeugten Schwingungen auf das andere „schwingungsfähige System“ zunächst keinen Einfluß. Nun mögen die beiden Fäden etwa in ihrer Mitte durch einen dritten Faden verbunden sein, und zwar soll dieser Faden durch ein mehr oder weniger großes Gewicht, das in seiner Mitte angeknüpft sei, gespannt sein. Man sagt jetzt, die beiden schwingungsfähigen Systeme seien gekoppelt. Stößt man das erste Gewicht wieder an, so überträgt sich die ihm mitgeteilte Energie auf das andere Pendelgewicht, und zwar um so schneller, je enger die Kopplung ist, d. h. je stärker der Verbindungsfaden gespannt wurde. Nach einigen Schwingungen ist das angestoßene Gewicht ganz in Ruhe, während das zweite mit der ursprünglichen Ampli-

tude des ersten schwingt (der Vorgang kehrt sich dann um, indem die Schwingungsenergie des zweiten Pendels sich auf das erste zurücküberträgt, was aber hier nicht von Belang ist). Die Energie des ersten Pendels wird aber nur dann auf das zweite übertragen, wenn die Schwingungsdauer beider Pendel übereinstimmt, was bei unserer Annahme wegen der gleichen Pendellänge der Fall ist. Die beiden gekoppelten schwingungsfähigen Systeme sind, wie man sagt, in Resonanz. Bei einem Resonanztransformator wird die Kopplung dadurch bewirkt, daß die

Fig. 2.

Fig. 3.

vom ersten Stromkreise erzeugten magnetischen Kraftlinien teilweise durch die von der zweiten Spule gebildete Röhre hindurchgehen. Die Kopplung wird enger, je mehr Kraftlinien diesen Weg nehmen, was dadurch erreicht wird, daß die magnetische Streuung durch Eisenkerne vermindert wird. Diese Eisenkerne, denen man die Gestalt von Winkelhaken gibt, die zu zweien ein Rechteck bilden, sind in Fig. 1 der Einfachheit halber nicht gezeichnet, aber in den Fig. 2 und 3 in Form von punktierten Rechtecken angedeutet. Je enger die Fuge (die „Luft“) zwischen den Winkelhaken ist, um so enger ist auch die Kopplung. Die Fugenbreite wird durch zwischengelegte feste Pappe (Preßspahn) auf eine passende Größe gebracht. Der primäre Kreis führt nun 50 ganze (Periodenzahl oder Frequenz) oder 100 halbe (Wechselzahl des Netz-

stromes) Schwingungen in der Sekunde aus. Damit der sekundäre Kreis mit ihm in Resonanz steht, muß seine Eigenschwingungszahl dieselbe sein. Diese Zahl hängt ab von der Größe der im sekundären Kreise befindlichen Kapazität C und der „Selbstinduktion“ dieses Kreises. Nehmen wir an, diese beiden Größen seien richtig gewählt, also Resonanz der beiden Kreise sei hergestellt, so wird bei jeder Schwingung des primären Kreises Energie an den zweiten Kreis abgegeben werden und, da die abgegebene Energie des primären Kreises durch die Wechselstrommaschine immer von neuem nachgeliefert wird (in unserem mechanischen Bilde annahmeweise: da das erste Gewicht im Takte immer von neuem einen Stoß erhält), so schaukelt sich die Spannung an den Elektroden der Funkenstrecke immer höher, bis sie so groß wird, daß sie imstande ist, die Luft zu durchschlagen. Der auf diese Weise erzeugte Funke hat sehr kurze Dauer; sie kann als unendlich klein angesprochen werden. Bei Transformatoren, bei denen das Prinzip der Resonanz nicht angewendet wird, arten die Funken zu einem Lichtbogen aus, der für Zwecke der Aufnahme von Reihenbildern natürlich unbrauchbar ist. — Wäre die Wechselzahl des Netzes vollständig unveränderlich, so würde es genügen, um Resonanz zu erzielen, den sekundären Schwingungskreis ein für allemal abzustimmen durch passende Wahl seiner Kapazität und seiner unter anderem von der Luft zwischen den beiden Eisenkernen abhängigen Selbstinduktion. Die Frequenz des Netzstromes unterliegt aber kleinen Schwankungen, die in der nicht ganz gleichmäßigen Umlaufgeschwindigkeit des Wechselstromerzeugers ihren Grund haben. Um diese Schwankungen ausgleichen zu können, ist eine Einrichtung getroffen, die eine Änderung der Selbstinduktion im Sekundärkreise vorzunehmen gestattet. Ein kleiner Teil der primären Spule, der in Fig. 3 mit P' bezeichnet ist, ist nämlich mit der sekundären Spule auf demselben Eisenkern aufgebracht und kann je nach Bedarf mit Hilfe des Drehumschalters D ganz oder teilweise eingeschaltet werden; außerdem kann die Stromrichtung in dieser Hilfsspule durch den Polwender W umgekehrt werden. In der einen Stellung des Polwenders wird der Strom der Hilfsspule im Kern der sekundären Spule einen magnetischen Fluß erzeugen, der mit dem von der Spule P erzeugten gleichgerichtet ist, der aber, weil P' mit S auf demselben Eisenkern aufgebracht ist, verhältnismäßig stark ist: die Kopplung wird enger; bei der zweiten Stellung des Polwenders tritt das Gegenteil ein. — Um bei gleichgroßer Funkenstrecke die Zahl der Funken in der Sekunde ändern zu können, ist die primäre Spule nicht unmittelbar an die feste Netzspannung angeschlossen, sondern an die veränderliche Sekundärspannung eines sogenannten Spartransformators, der seinerseits vom Netz gespeist wird. Dieser Spartransformator ist in Fig. 2 dargestellt. Auf einem fugenlosen Eisenrechteck ist eine einzige Spule aufgebracht,

an deren Ende die Netzspannung liegt. Die sekundäre Spannung wird nun mit Hilfe einer Grob- und einer Feinregulierung, von denen in der Figur nur die erstere durch den Dreumschalter *D* angedeutet ist, an dem einen Ende der Spule und einer beliebigen Stelle irgendeiner Windung abgenommen. Die sekundäre Spannung ist um so höher, je größer der durch die Regulierung abgegriffene Teil der Spule ist; sie geht von 0 Volt bis zur Netzspannung von 170 Volt. — Die Funkenzahl, die bei unseren Aufnahmen benutzt wurde, ist nicht sonderlich groß. Sie hält sich um 25 in der Sekunde. Durch passende Dimensionierung der Apparatur ließe sich, ohne Änderung der Funkenlänge oder der Lichtstärke, diese Funkenzahl auf 50 oder 100 bringen, wenn man, was natürlich am bequemsten ist, den Strom dem Netz einer Zentrale entnimmt, die fast immer eine Frequenz von 50 Perioden haben wird. Für eine größere Funkenzahl wäre eine besondere Maschine von höherer Frequenz nötig. Nach unten kann man etwa bis zu 5 Funken in der Sekunde herabgehen. Der Resonanztransformator ist geliefert von der Firma Siemens & Halske.

Von den oben beschriebenen der Funkenerzeugung dienenden Teilen abgesehen, ist unser Apparat erwachsen aus dem anderen Zwecken dienenden Apparat, den wir in dieser Zeitschrift Bd. LXXXIX, Heft 3, S. 469ff.¹²⁾ beschrieben haben. Hinweise im folgenden beziehen sich auf diese Abhandlung. Der „Kopfhalter“ und der „Achsenträger“ sind unverändert geblieben; ihre Beschreibung ist daher hier unnötig. Es sei nur bemerkt, daß der Achsenträger in Verbindung mit anderen Tragevorrichtungen dazu dient, eine photographische Camera, die um eine wagerechte Achse drehbar ist, so zu halten, daß die Drehachse mit der Verbindungslinie der Augendrehpunkte zusammenfällt.

Die Camera. (Siehe Fig. 4.) Sie ist ein etwa 30 cm langer Holzkasten, der vorn das photographische Objektiv (12, S. 474) auf einem nach der Seite und in der Höhe durch Justierschrauben verschiebbaren Brettchen hält. Das Objektiv wird bei voller Öffnung und zwar ohne Verschuß (im verdunkelten Raume) benutzt. Es ist in eine Einstellfassung montiert, mit der die Feineinstellung bewirkt wird. Die Kassette, die das andere Ende des Kastens verschließt, stammt von einer Rollfilm-camera für Aufnahmen im Format $8 \times 10,5$ cm. Vor dem Film befindet sich in der Kassette eine Blende mit einem schmalen, wagerecht liegenden rechteckigen Ausschnitt, der nur das von der Augengegend kommende Licht wirken läßt. Der Ausschnitt ist von oben nach unten in seiner Mitte überbrückt, so daß also auch die Gegend des Nasenrückens in der Photographie ausfällt. Einige Zentimeter über diesem Steg, in Länge und Breite mit ihm übereinstimmend, ist die Blende nochmals durchbrochen. Auf die Stelle des Films, die hinter diesem Durchbruch liegt, wird ein stark verkleinertes Bild einer Geiß-

lerschen Röhre entworfen, die in Abständen von genau $\frac{1}{100}$ Sekunde aufleuchtet. So entstehen auf dem vorbeibewegten Film Marken (siehe Taf. IV), die die Ablaufgeschwindigkeit des Films oder, besser gesagt, den zeitlichen Abstand der Einzelbilder festlegen. Zu diesem Zwecke ist innerhalb der Camera längs der Deckenwand ein Dunkelraum abgetrennt, der selbst durch eine senkrecht zur Zeichenebene stehende Wand in zwei Teile zerlegt wird. Am vorderen Ende des längeren Teiles befindet sich bei G die Geißlersche Röhre. Sie ist von einer Form, wie sie häufig für spektroskopische Zwecke gebraucht wird. Der Lichtstrom wird bei diesen Röhren durch eine etwa 8 cm lange, gerade

Fig. 4.

Capillare gezwängt. Wegen ihres kleinen Querschnittes gibt die Capillare ein helles Licht. Die Luftkammern der Röhre mit den Elektroden sind abgeblendet. In der oben erwähnten Wand ist eine Lupe Q eingelassen. Diese entwirft auf dem Film ein Bildchen der Capillare. Die Geißlersche Röhre wird betrieben mit Wechselstrom, der bei einer Spannung von etwa 12 000 Volt 100 Polwechsel in der Sekunde hat. Er wird durch Transformierung des Stromes aus dem auch für die Funkenerzeugung benutzten Netze erzeugt. Bei jedem Polwechsel, also in der Sekunde 100 mal, leuchtet die Geißlersche Röhre auf; dann entsteht jedesmal auf dem Film eine Marke in Gestalt eines kurzen wagerechten Bandes, das ein in der Bewegungsrichtung des Films auseinandergezogenes Bild der Röhre ist. —

Der Film wird durch einen Elektromotor mit gleichförmiger Geschwindigkeit abgewickelt.

Die von uns benutzten Filme haben eine Länge von etwa 70 cm (Goerz Tenax-Rollfilm); sie werden durch Standentwicklung hervorgerufen.

Damit bei Aufnahmen aus der Blickrichtung die Camera selbst geneigt werden kann, ist sie, wie schon erwähnt, um eine wagerechte Achse drehbar. Auf dieser Achse wird sie festgehalten durch zwei eiserne Arme, die so lang sind, daß die Entfernung des Objektivs von der Achse (oder den Augen) 60 cm beträgt und damit doppelt so groß ist wie die Länge der Camera. Die Bilder bekommen somit halbe natürliche Größe. In jeder Neigung kann die Camera festgehalten werden, indem sie an zwei Säulen, zwischen denen sie sich bewegt, festgeklammt wird.

Die Beleuchtungsvorrichtung (Fig. 4). Mit den eisernen Armen, die die Camera tragen, ist starr verbunden ein optisches System, das es ermöglicht, das Licht der Entladungsfunken gut auszunutzen. Es besteht aus einem Hohlspiegel und einer Sammellinse, die beide einen Durchmesser von 20 cm haben. Der Spiegel hat bei guter Korrektur eine außergewöhnlich große Öffnung. Er stammt von der Firma Carl Zeiß, die solche Spiegel für ihre Automobilscheinwerfer herstellt. Im Brennpunkte des Spiegels, dessen Brennweite etwa 7 cm beträgt, befinden sich die Elektroden, zwischen denen die Entladungsfunken übergehen. In der Figur hat man sich die Elektroden um 90° gedreht zu denken, so daß sie zur Zeichenebene senkrecht stehen. Die Elektroden sind zugespitzte Kupferdrähte; die von ihnen gebildete Funkenstrecke ist unterteilt, so daß gleichzeitig immer zwei Funken an den Stellen F_1 und F_2 überspringen. Eine Teilfunkenstrecke besitzt eine Länge von ungefähr 5 mm. Das vom Hohlspiegel im Unendlichen entworfene Bild der Funkenstrecke wird durch die Sammellinse L in ihrem Brennpunkt bei A abgebildet. Dort hat man sich ein Auge zu denken. Aus den Angaben für die Brennweiten des Spiegels und der Linse ergibt sich, daß die Funkenstrecke etwa in fünffacher Vergrößerung projiziert wird, und zwar fällt das Bild je einer Teilfunkenstrecke auf je ein Auge. Die Funkenstrecke kann man übrigens, um auf den Augen ein möglichst scharfes Bild zu erhalten, in der Richtung der optischen Achse etwas verschieben.

Die Ausmessung. Die Bewegung der Augen wird dadurch verfolgt, daß man unter dem Mikroskop mit Hilfe eines Kreuztisches die Stellung der Augen in bezug auf zwei feste Marken ausmißt. Die Marken sind zwei zugespitzte Fähnchen aus weißem Papier, die seitlich von den Augen an den Zapfen der Drehachse angebracht werden. Sie lassen sich in senkrechter und seitlicher Richtung verstellen. Ferner trägt

jedes Auge Marken, die die Bewegungen der Augen mitmachen. In Taf. IV erkennt man auf jedem Auge deren zwei; von diesen wird für die Messung selbst nur je eine benutzt. Die Marken sind eckige Stückchen einer tief geschwärzten sehr dünnen photographischen Gelatineschicht, die von abziehbarem Bromsilberpapier genommen ist. Die matte Seite der Schicht, die auf dem Papier lag, ist dem Objektiv zugekehrt. Diese schwarzen Marken werden mit Hilfe eines angefeuchteten Glasstäbchens von einer Glastafel abgehoben und auf das vorher mit Holocaïn unempfindlich gemachte Auge gelegt, auf dem sie im allgemeinen so fest haften, daß der Lidschlag über sie hinweggehen kann. Da der Patient durch das Funkenlicht stark geblendet wird und infolgedessen die Neigung hat, die Augen zuzukneifen, so werden die Aufnahmen, wenigstens teilweise, bei eingesetztem Lidsperrerr gemacht. Ein Mittel, die Reizung des Auges durch das blendende Licht zu verhindern, besteht darin, daß durch eine vorgesetzte blaue Glas-

Fig. 5.

tafel die optischen und bekanntlich wenig aktinischen Strahlen zurückgehalten werden. Bei einigen Patienten war dies notwendig, weil sonst das Zittern aussetzte*). — Die Filmbänder werden in schmale Streifen zerschnitten, deren jeder eine Teilaufnahme zeigt. Diese Streifen werden auf dem Kreutztisch so festgeklammert, daß die Verbindungslinie der beiden festen Marken ungefähr parallel der Richtung des einen Schlittens liegt. Bei zehnfacher Vergrößerung wird nun die Stellung der auf jedem Bilde befindlichen vier Marken unter Benutzung eines Fadenkreuzokulars ausgemessen. Da die Lage der beiden festen Marken in bezug auf das durch die beiden Kreutztischschlitten bestimmte rechtwinklige Achsenkreuz natürlich von einem zum anderen Teilbild wechselt, so ist es notwendig, eine Koordinatentransformation vorzunehmen, d. h. jedesmal die Lage der Augenmarken nicht durch die zufällige Lage in bezug auf das Achsenkreuz des Kreutztisches anzugeben, sondern in bezug auf ein anderes ebenfalls rechtwinkliges Achsenkreuz, das durch die beiden festen Marken festgelegt ist. In Fig. 5 bedeuten die Strahlen $\mathcal{E}$ und H die Achsen, auf denen die Schlittenbewegungen abzutragen sind, M und N sollen die beiden festen Marken und P eine der Augenmarken sein. Für M , N und P sei an den Nonien der beiden Kreutztischschlitten die Zahlenpaare (α, b) , (α_1, b_1) und (ξ, η) abgelesen worden. Das andere oben erwähnte Achsenkreuz ist durch die Strahlen X und Y gegeben. Die Aufgabe der Trans-

*) Über den das Zittern beruhigenden Einfluß des Lichtes s. 7, S. 123.

formation besteht nun bekanntlich darin, aus den Zahlen ξ und η die beiden Zahlen x und y auszurechnen. Eine bekannte Formel der analytischen Geometrie sagt, daß

$$x = \frac{(\xi - a)(a_1 - a) + (\eta - b)(b_1 - b)}{\sqrt{(a_1 - a)^2 + (b_1 - b)^2}},$$

$$y = \frac{-(\xi - a)(b_1 - b) + (\eta - b)(a_1 - a)}{\sqrt{(a_1 - a)^2 + (b_1 - b)^2}}.$$

Weil MN nach Augenmaß parallel zur $\mathcal{E}$ -Achse gelegt worden ist, so ist $(b_1 - b)$ klein im Verhältnis zu $(a_1 - a)$, und es wird daher

$$x = \xi - a + \frac{\eta - b}{a_1 - a}(b_1 - b),$$

$$y = \eta - b - \frac{\xi - a}{a_1 - a}(b_1 - b).$$

Da ferner aus demselben Grunde $(\xi - a)$ im Verhältnis zu $(\eta - b)$ eine große Zahl ist, so darf man schreiben

$$x = \xi - a,$$

$$y = \eta - b - \frac{\xi - a}{a_1 - a}(b_1 - b).$$

Die beiden aus den letzten Formeln gewonnenen Zahlen für das eine Auge (und entsprechend für das andere Auge) werden für alle Teilbilder ausgerechnet; sie liefern jedesmal einen Punkt in einer Zeichenebene, in der ein rechtwinkliges Achsenkreuz gezeichnet ist. Die Gesamtheit dieser Punkte gibt eine Übersicht über die Bahn der beiden Augen (s. Fig. 8—15, 18—21 und 25—28).

Leider war es uns aus einem zu Beginn dieses Abschnittes angegebenen Grunde nicht möglich, die Beobachtungsfehler durch eine Ausgleichungsrechnung unschädlich zu machen. Wir hoffen jedoch später diese Arbeit nachholen zu können. Gleichzeitig soll dann eine verbesserte Methode der Aufnahme angewendet werden, die hier auf Grund unserer Vorversuche kurz angedeutet sei. Will man irgendeinen Gegenstand durch ein Linsensystem projizieren, so ist bei auffallender Beleuchtung (episkopische Projektion) eine bedeutend viel stärkere Lichtquelle nötig als für durchfallende Beleuchtung (Projektion von Diapositiven), und zwar hat man im ersten Fall rund hundertmal soviel Licht nötig. Man kann von dieser Bemerkung auch bei der Photographie der Augen Anwendung machen, wenn man auf das Auge eine sehr leichte pyramidenförmige Marke setzt, die weit in die Blickrichtung hineinragt und deren Grundfläche auf dem Augapfel liegt. Eine solche Marke, die auf dem Auge gut haftet, haben wir bereits ausgeprobt. Es werden nun zwei

gleiche photographische Apparate, die wieder ohne Verschuß arbeiten, so aufgestellt, daß ihre optischen Achsen in einer zur Blickrichtung senkrechten Ebene liegen, miteinander einen rechten Winkel und gegen eine gleichzeitig in der erwähnten und einer vertikalen Ebene liegenden Geraden einen Winkel von 45° bilden. Die senkrechte Ebene geht durch die die eigentliche Marke bildende Spitze der erwähnten Pyramide. Die zweiteilige Funkenstrecke liegt ebenfalls in der senkrechten Ebene und jede Teilfunkenstrecke nebst Beleuchtungslinse befindet sich vom Objektiv aus gesehen auf der anderen Seite der Pyramide. Die festen Marken sind Spitzen, die den Pyramidenspitzen gegenüberstehen. Mit jedem der beiden photographischen Apparate wird eine Bewegungskomponente der beiden Augen festgelegt. Die Forderung, daß die Marken beider Augen in bezug auf ein Objektiv gleichen Abstand haben, läßt sich leicht erfüllen. — Die Vorteile dieser Methode sind u. a. kontrastreiche Aufnahmen, kleine Abmessungen der elektrischen Apparatur, da bei gleicher Funkenzahl eine viel kleinere Energiemenge benötigt wird, und der Umstand, daß der Patient durch das ihn seitlich streifende, nicht von vorn treffende Licht nicht belästigt wird. Weil ferner das reichliche Licht und die starken Kontraste eine sehr scharfe Einstellung ermöglichen, so wird sich ein weiterer wesentlicher Vorteil durch die Benutzung eines Kreutztisches mit feinerer Teilung ergeben, was besonders für die Krankheitsbilder mit kleiner Amplitude von Wichtigkeit wäre.

3. Untersuchungen.

Aus einer größeren Zahl während der Vorversuche gewonnener Aufnahmen eignen sich nur wenige zur Veröffentlichung. Alle betreffen Bergeleute mit unregelmäßigem Zittern, die nur als Vertreter einer Minderheit angesehen werden können, von uns aber in erster Linie herangezogen wurden, weil bei ihnen die Amplitude größer zu sein pflegt als bei den regelmäßigen Formen, bei denen sie 0,3 mm selten übersteigt. Nach endgültiger Ausarbeitung des Verfahrens mußten die Untersuchungen vorläufig wegen Einberufung eines von uns (Kunz) zum Heere abgebrochen werden, weshalb die Zahl der vorzulegenden Fälle noch sehr gering ist.

1. Fall 877. 31 Jahre alt, 172 cm groß. Heftiges, grobschlägiges Augenzittern bis zu tiefer Blicksenkung. Die Zuckungsbahn erscheint dem Beobachter sowohl bei äußerer Betrachtung wie bei Augenspiegelung am rechten Auge leicht schräg zur horizontalen, von oben rechts nach unten links ($\searrow$), am linken Auge schräg ellipsenförmig mit Uhrzeiger mit schräg von oben links nach unten rechts gerichteter großer Achse ($\oslash$). Daneben kommen auch Zuckungen vor, deren Bahn so verworren ist, daß sie nicht bestimmt werden kann. Im Anfang der Behandlung war das „pendelförmige“ Zittern des Mannes mit häufigen senkrechtem Rucken vermischt, die sich aber zur Zeit der Kinematographie fast ganz zurückgebildet hatten.

Fig. 6 u. 7 bringen Stücke aus Kurven, die mit dem Ohmschen Hebelapparat aufgenommen sind. Fig. 6 ist eine gleichzeitige Registrierung beider Augen bei gesenktem Blick. Die obere, dem linken Auge entsprechende Kurve ist sicherer aus-zuzählen als die untere vom rechten Auge, weil die Zuckungsbahn des letzteren sich für diese Art der Übertragung weniger eignet (s. 7, S. 53). Die Zuckungszahl beträgt in der Minute 297; eine Zuckung dauert also $\frac{202}{1000}$ Sekunde.

Fig. 7 rührt vom linken Auge bei erhobenem Blick, wovon auch der Film stammt. Zuckungszahl in der Minute 291. 1 Zuckung = $\frac{206}{1000}$ Sekunde.

Beiden Kurven, besonders der monokulären, fehlt der regelmäßige Schwin-gungscharakter, wofür an anderem Orte⁷⁾ eine Reihe von Beispielen beigebracht sind. Die Einzelzuckungen weichen nach Länge, Höhe und sonstigen Eigentüm-lichkeiten nicht unbeträchtlich voneinander ab.

Die Reihenbildaufnahme enthält in 1,84 Sekunden 59 Bilder. Der Lidschluß wurde mittels Sperrer verhindert. Auf beiden Augen war in der Nähe des äußeren Hornhautrandes je eine Marke angebracht (s. oben), an der die Messung der Zuckungsbahn stattfand.

Fig. 6. Fall 877. Gleichzeitige Registrierung des rechten (unten) und des linken (oben) Auges, aufgenommen im Dunkeln bei seitlichem Kerzenlicht. Blick -30°. 297 mal in 1 Min.

Fig. 7.

Fall 877. Linkes Auge. Tageslicht. Blick +15°. Hebel 15:20 (freies Ende). 291 mal in der Min.

Die Tabelle 1 gibt eine Vorstellung von der auf die Ausmessung der 10 ersten Bilder verwandten Arbeit. Nach Ermittlung der Länge des ganzen Films, der Zahl der Bilder und der Zeitmarken ($1 = \frac{1}{100}$ Sekunde) wird zunächst der Abstand der einzelnen Bilder an den festen Marken (2. Spalte) und der Zeitmarken*) (3. Spalte) bestimmt. Der Quotient aus dem ersten und zweiten Wert stellt den Zeitunter-schied von zwei benachbarten Bildern dar (4. Spalte). Nun wird der Film in seine einzelnen Bildchen zerlegt und an jedem die Koordinaten von 4 Punkten auf dem Kreutztisch abgelesen (5. bis 12. Spalte). Durch Rechnung (13. bis 20. Spalte) in der oben angegebenen Weise ergeben sich daraus für jede Augenmarke zwei Maße (16. bis 17. und 19. bis 20. Spalte), die in das Koordinatensystem eingetragen und der Reihe nach untereinander verbunden die Zuckungsbahn (Fig. 8—15) dar-stellen**). Diese Eintragung ist so erfolgt, daß sie der Verschiebung der Augen, wie

*) Bei letzteren immer von 10 : 10, woraus der Abstand von zwei aufeinander-folgenden berechnet wird.

**) Die Zeit- und Entfernungsmaße und Geschwindigkeiten für alle Bilder sind in der Tabelle 2 enthalten. Die Originalzeichnungen sind auf Millimeter-papier ausgeführt. Die Nachbildungen (Fig. 8—15, 18—21, 25—28) sind etwas verkleinert, und es fehlt ihnen die Millimeterteilung.

Tabelle 1.

Bild Nr.	Abstand der festen Marken	Abstand der Zeit- marken	Zeit- unterschied in Sek.	Linke feste Marke		Linke Augenmarke		Rechte Augenmarke	
	mm	mm		Abszisse a	Ordinate b	Abszisse ξ	Ordinate η	Abszisse ξ_1	Ordinate η_1
1	—	—	—	1,7	13,2	5,1	14,2	36,35	14,4
2	10,75	3,1	0,0347	1,5	15,2	5,0	15,95	36,2	16,1
3	15,25	3,6	0,0423	2,2	13,75	5,9	14,3	37,05	14,6
4	13,25	3,6	0,0368	2,1	13,7	5,95	14,15	37,2	13,9
5	13,5	3,6	0,0375	1,3	13,2	5,05	13,9	36,35	14,3
6	9,25	3,8	0,0243	1,5	13,8	nicht meßbar		36,4	14,25
7	13,5	3,8	0,0355	1,65	13,75	5,1	14,3	36,3	14,25
8	14,0	3,8	0,0368	1,9	14,1	5,5	14,3	36,7	14,4
9	7,5	3,8	0,02	1,8	13,7	5,6	13,7	36,75	13,4
10	14,25	3,7	0,0385	1,7	13,65	5,8	13,75	37,0	14,3

sie dem Beobachter von vorn erscheint entspricht, so daß die Bahn sich mit dem in früheren Veröffentlichungen Ohms aufgestellten Schema ohne weiteres vergleichen läßt. Die Bilder sind in der Reihenfolge der Aufnahme mit Zahlen bezeichnet. Die eingeklammerte Zahl bedeutet das Zeitintervall in Tausendstel Sekunden.

0,1 mm im Bildchen = 10 mm in der Figur. Da bei der Photographie der Gegenstand auf die Hälfte verkleinert wird, handelt es sich in den Figuren um 50fache Vergrößerung.

Fig. 8. 1. bis 7. Bild = $\frac{211}{1000}$ Sekunde.

Was nun die erreichte Genauigkeit angeht, so ist zu bemerken, daß benachbarte Bildchen von sehr ungleicher Güte sein können und einzelne sich nicht ausmessen lassen. Unter besonders ungünstigen Verhältnissen ist der Fehler auf 0,05—0,1 mm im Bildchen zu schätzen, was 5—10 mm in der Figur entspricht. Das ist im Vergleich zu der Kleinheit des Zuckungsausfalls nicht ganz unbeträchtlich, aber eine größere Genauigkeit ließ sich vorläufig nicht erreichen. Der Wunsch, bei der

Tabelle 1.

Rechte feste Marke					Linkes Auge im Koordinatensystem					Rechtes Auge im Koordinatensystem	
Abszisse	Ordinate				Abszisse	Ordinate				Abszisse	Ordinate
a_1	b_1	$a_1 - a$	$b_1 - b$	$\eta - b$	$\xi - a = x$	y	$\eta_1 - b$	$\xi_1 - a = x_1$	y_1		
38,95	13,6	37,25	0,4	1,0	3,4	0,964	1,2	34,65	0,828		
38,8	15,4	37,3	0,2	0,75	3,5	0,732	0,9	34,7	0,714		
39,5	14,0	37,3	0,25	0,55	3,7	0,525	0,85	34,85	0,617		
39,35	13,2	37,25	-0,5	0,45	3,85	0,50	0,2	35,1	0,67		
38,6	13,7	37,3	0,5	0,7	3,75	0,65	1,1	35,05	0,63		
38,85	13,65	37,35	-0,15	—	—	—	0,45	34,9	0,589		
38,9	13,8	37,25	0,05	0,55	3,45	0,545	0,5	34,65	0,453		
39,2	14,1	37,3	0	0,2	3,6	0,2	0,3	34,8	0,3		
39,1	13,1	37,3	-0,6	0	3,8	0,06	-0,3	34,95	0,258		
39,1	14,0	37,4	0,35	0,1	4,1	0,065	0,65	35,3	0,321		

Ablesung am Kreutztisch über 0,05 mm hinauszugehen, scheiterte an der Unschärfe der Bildchen. Bei guten Aufnahmen ist der Fehler aber kleiner. Wenn die mit gleicher Zahl bezeichneten Bilder des rechten und linken Auges nicht auf genau gleicher Höhe liegen, so ist das belanglos, weil es ja unmöglich ist, die Augenmarken genau entsprechend

anzubringen. Es kommt zunächst auf die Verschiebungen des Einzel-
 auges und dann auf die relativen Beziehungen beider Augen an, die
 im Koordinatensystem genau der Wirklichkeit entsprechend nieder-
 gelegt sind und sich vom ersten bis zum letzten Bild an der Hand der
 Koordinaten durch alle Figuren verfolgen lassen.

Die Zuckungsbahn. Sie ist auf beiden Augen sehr verschieden
 und in fortwährender Änderung begriffen. In der Hauptsache handelt

es sich um Ellipsen mit schräg von oben außen nach unten innen gerichteter großer Achse. Die des rechten Auges ist im allgemeinen flacher als die des linken Auges und nähert sich teilweise der geraden Linie.

Fig. 10. 14. bis 22. Bild = $\frac{280}{1000}$ Sekunde.

Fig. 11. 22. bis 29. Bild = $\frac{222}{1000}$ Sekunde.

Auch liegt sie der Horizontalen näher als die des linken Auges. Die Drehung geschieht am linken Auge immer mit dem Uhrzeiger. Besonders schöne Ellipsen finden sich in Fig. 11 und 13. Am rechten Auge ist die Bahn verworrener. Hier kommen auch Drehungen gegen den Uhrzeiger vor. So scharfe Einknickungen der Bahn wie bei Bild 40

und 42 des rechten Auges beruhen wahrscheinlich auf einem Mangel des Verfahrens.

Der dissoziierte Charakter der beidäugigen Bewegungen tritt in den Bildern deutlich hervor.

Das Ergebnis lehrt, daß es möglich ist, mittels äußerer Betrachtung und Augenspiegelung die Zuckungsbahn in ihren groben Umrissen zu erkennen.

Die Zuckungen erfolgen nicht um einen konstanten Mittelpunkt, sondern es treten gewisse Verschiebungen der Augen in der Höhen- und Seitenrichtung ein.

Die Zuckungszahl und -dauer. Die Anzahl der in diesen 57 Aufnahmen steckenden Zuckungen festzustellen, ist nicht so einfach wie bei der Hebelregistrierung. Bei letzterer rechnet man von einem Wellental zum andern. Dem entspräche in den Figuren der Unterschied zwischen zwei aufeinanderfolgenden höchsten Punkten.

Bei dieser Abgrenzung ergeben sich auf beiden Augen demnach in 1842 Tausendstel Sekunde 9—10 Zuckungen; und zwar:

	Rechtes Auge		Linkes Auge	
	endigt mit dem	dauert	endigt mit dem	dauert
1. Zuckung	4. Bilde	114 Tausendstel Sek.	5. Bilde	151 Tausendstel Sek.
2. „	7. „	97 „ „	12. „	219 „ „
3. „	16. „	295 „ „	18. „	192 „ „
4. „	23. „	223 „ „	24. „	204 „ „
5. „	29. „	198 „ „	31. „	221 „ „
6. „	34. „	164 „ „	36. „	179 „ „
7. „	41. „	236 „ „	43. „	223 „ „
8. „	50. „	286 „ „	49. „	182 „ „
9. „	54. „	135 „ „	55. „	215 „ „
10. „	57. „	94 „ „	57. „	56 „ „
		1842 Tausendstel Sek.		1842 Tausendstel Sek.

Dieses Ergebnis stimmt mit der Hebelregistrierung, die eine Durchschnittszuckungsdauer von $\frac{206}{1000}$ Sekunde ermittelt hat, recht gut überein.

Durch die Hebelregistrierung sind früher (7) zwei wichtige Gesetze festgestellt: 1. das Gesetz von der ungefähren Konstanz der Zuckungsdauer unter gleichen Versuchsbedingungen bei voll entwickeltem Zittern; 2. das Gesetz von der isochronen binokulären Zuckungsdauer.

Teilt man gute Zitterkurven von 10 zu 10 Sekunden ab, so findet man in den einzelnen Abschnitten meistens genau gleichviele Zuckungen oder nur wenige Prozent betragende Unterschiede. In binokulären Kurven ist in einem größeren Zeitabschnitt, z. B. in 30 Sekunden, die Zahl der Zuckungen des rechten und linken Auges entweder durchaus identisch oder nur um einen Bruchteil einer Zuckung verschieden. Dadurch sind die beiden Gesetze gut begründet. Es ist auch versucht worden, die Dauer der Einzelzuckungen in den Hebelkurven zu messen (7, S. 171), wobei sich nicht unbeträchtliche Unterschiede ergaben. Dieses Vorgehen schien aber unsicher, weil eine scharfe Abgrenzung der Zuckungen fehlt, und es war nicht recht zu entscheiden, ob die festgestellten Unterschiede als Innervationsschwankungen oder als Fehler der Abmessung oder der immerhin groben Untersuchungsmethode aufzufassen waren. Die Kinematographie lehrt nun auch, daß die Einzelzuckungen wirklich von recht verschiedener Zeitdauer sind, wenigstens in diesem Fall mit wechselnder Zuckungsbahn und -größe. Hält man dazu das Ergebnis der Auszählung der Hebelkurven, so stellt sich heraus, daß in einem größeren Zeitraum immer wieder ein Ausgleich stattfindet. Was nun die Dauer der entsprechenden Zuckungen auf beiden Augen angeht, so liegen die Grenzen im allgemeinen nahe beieinander, was gemäß dem sicher begründeten Gesetz der isochronen binokulären Zuckungsdauer ja auch zu erwarten ist. Es kommen aber auch große Unterschiede vor. So reicht die zweite Zuckung des rechten Auges bis zum 7., die entsprechende des linken Auges bis zum 12. Bild. Das ist unwahrscheinlich und wohl durch einen Mangel des Verfahrens bedingt. Es ist ja klar, daß die Abgrenzung der Zuckungen sehr von der Lage der einzelnen Bilder abhängt. Ein Messungsfehler von 0,05 mm kann eine große Verschiebung mit sich bringen. Läge das Bild 7 des rechten Auges in der Zeichnung nur 3 mm tiefer, so erstreckte sich die zweite Zuckung bis zum 11. Bild und käme somit der zweiten Zuckung des linken Auges ganz nahe.

Der Zuckungsausschlag. Ebenso wie die Bahn schwankt die Größe der Zuckungen ganz beträchtlich. Die schön ausgebildete Ellipse des linken Auges in Fig. 11 hat eine lange Achse von 75, eine kurze von 41 mm oder in Wirklichkeit von 1,5:0,8 mm.

Fig. 16.

Der in der Zeichnung beschriebene Weg hat am rechten Auge eine Länge von 1217, am linken von 1269 mm oder in Wirklichkeit von 24,3 bzw. 25,4 mm. Beide stimmen also fast genau überein.

Die Geschwindigkeit. Die nervöse Energie, die sich in den Zuckungen offenbart, kann gleichgesetzt werden der Geschwindigkeit. Letztere ist $= \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$. Im Durchschnitt ist sie

$$\begin{aligned} \text{für das rechte Auge} &= \frac{1217}{1848} = 0,66^*), \\ \text{für das linke Auge} &= \frac{1269}{1848} = 0,69. \end{aligned}$$

Die Geschwindigkeitskurve für alle Bilder ist in Fig. 16 wiedergegeben. Daraus ist zu entnehmen, daß die Augenbewegung an gewissen Stellen eine große Geschwindigkeit entwickelt, an anderer aber nahezu stillsteht. Die Verhältnisse an beiden Augen entsprechen sich zum Teil leidlich, zum Teil kommen auch gewisse Unterschiede vor.

Die Frage, ob die Zuckungsbahn mit gleicher oder wechselnder Geschwindigkeit durchlaufen wird, ist für die theore-

*) Das ist ein relativer Wert. Absolut legt die Marke des rechten Auges in 1 Sekunde einen Weg von 13,2 mm, die des linken einen Weg von 13,8 mm zurück. Das sind in der Stunde 47,52 m für das rechte und 49,68 m für das linke Auge.

tische Auffassung des Leidens von erheblicher Bedeutung. Es ist schon früher an den Hebelkarren versucht worden, sie der Lösung näher zu bringen (S. 7). Eine ganz zuverlässige Antwort ist wohl am ehesten von der Kinematographie zu erwarten. Bei dem vorliegenden Falle gelang es aber noch nicht, einen auf die Gesamtheit der Zuckungen passenden gesetzmäßigen Ausdruck für die Geschwindigkeit zu ermitteln. Sie sind eben untereinander zu wenig vergleichbar. Greifen wir die Ellipse von Bild 22 bis 29 des linken Auges (Fig. 11) heraus, so sehen wir folgendes. Das Auge legt die aufsteigende Bewegung der linken Längsseite der Ellipse von Bild 22—23 mit großer Schnelligkeit (1,75) zurück, verlangsamt seinen Lauf bis 24 auf 0,78, bis 25 auf 0,71, bis 26 auf 0,7, beschleunigt ihn wieder bis 27 auf 1,1, und mäßigt ihn alsdann bis 28 auf 0,67, bis 29 auf 0,38. Im Gegensatz hierzu ist bei der von den Bildern 38—44 (Fig. 13) gebildeten Ellipse die Schnelligkeit auf der rechten (absteigenden) Seite größer als auf der linken (aufsteigenden). Im allgemeinen ist es also so, daß die Bahn auf den Längsseiten der Ellipse mit größter,

Fig. 17. Fall 808. Rechtes Auge. Kerzenlicht. Blick -30° . 270 mal in 1 Min.

auf den Schmalseiten mit geringster Geschwindigkeit durchlaufen wird. Bei den meisten Zuckungen bewegt sich das Auge in der unteren äußeren Ecke am schnellsten, in der unteren inneren am langsamsten.

Am rechten Auge ist der Befund zu inkonstant. Bezeichnet man die Hauptrichtung der Bahn als links-rechts, so scheint die größte Geschwindigkeit in den mittleren Teilen, die niedrigste an den Ecken zu herrschen. Ob aber zwischen Rechts- und Linksbewegung ein Unterschied in der Schnelligkeit besteht, läßt sich nicht ermitteln.

2. Fall 808. 31 Jahre alt, 161,2 cm groß. Heftiges intermittierendes Zittern, besonders im Dunkeln (vgl. 7, S. 270). Es erscheint am rechten Auge schräg ellipsenförmig mit Uhrzeiger $\curvearrowright$, am linken kreisförmig, bisweilen auch schräg ellipsenförmig mit Uhrzeiger $\curvearrowleft$, zum Teil auch ganz verworren. Die Hebelregistrierung ergibt ein bezüglich der Einzelzuckung sehr unregelmäßiges Zittern (Fig. 17). Die Zahl beträgt bei Kerzenlicht und auf -30° gerichtetem Blick

1.—10. Sekunde	45 Zuckungen
11.—20. „	45 „

in der Minute also 270 Zuckungen.

1 Zuckung also = $\frac{222}{1000}$ Sekunde.

Die Reihenbildaufnahme weist in 1,97 Sekunden 28 Bilder auf, die mittels eines Systems konzentrischer Kreise am Hornhautrand aus gemessen sind (Fig. 18—21)*).

*) Zeit- und Entfernungsmaße und Geschwindigkeit in Tabelle 2 eingetragen.

Fig. 18. 1. bis 8. Bild = $\frac{586}{1000}$ Sekunde. Fig. 19. 8. bis 14. Bild = $\frac{521}{1000}$ Sekunde.

Die Zuckungsbahn.

Schräge, fast senkrechte Bewegungen wechseln mit mehr wagerechten oder ellipsenförmigen ab. Bei letzteren geschieht die Drehung

mit dem Uhrzeiger. Nur zwischen Bild 21 und 24 des linken Auges (Fig. 20) erfolgt die Drehung gegen den Uhrzeiger. Wahrscheinlich ist hier ein Fehler der Methode anzunehmen, ebenso wie bei dem Knick bei Bild 7 des rechten Auges in der Bewegung von 6 nach 9, die in Wirklichkeit wahrscheinlich geradlinig gewesen ist. Die beidäugigen

Fig. 20. 14. bis 21. Bild = $\frac{438}{1000}$ Sekunde.

Fig. 21. 21. bis 28. Bild = $\frac{438}{1000}$ Sekunde.

Bewegungen sind zum Teil verschieden an Größe und Richtung, zum Teil ist aber eine gleiche Tendenz unverkennbar, zum Beispiel von Bild 6—9, 10—12, 14—21 und 25—27.

Die Zuckungszahl und -dauer.

Den 28 Bildern der Aufnahme, die 1,97 Sekunden dauerte, liegen etwa 8 einander entsprechende Zuckungen beider Augen zugrunde, und zwar:

	endet mit	dauert
1. Zuckung	4. Bilde	194 Tausendstel Sek.
2. „	9. „	478 „ „
3. „	11. „	194 „ „
4. „	14. „	241 „ „
5. „	18. „	256 „ „
6. „	21. „	182 „ „
7. „	25. „	246 „ „
8. „	28. „	187 „ „

1978 Tausendstel Sek.

Die Dauer ändert sich also von Zuckung zu Zuckung. Besonders groß ist sie bei der zweiten Zuckung. Hier liegt einer der auch in manchen Hebelkurven beobachteten großen senkrechten Rucke vor. Die Durchschnittsdauer ($^{247}/_{1000}$ Sekunde) ist ein wenig höher als bei der Hebelkurve ($^{222}/_{1000}$ Sekunde). Doch ist auch hier zu berücksichtigen, daß die Zerlegung der Reihenbilder in die Einzelzuckungen nicht so leicht ist, wie bei der Hebelkurve.

Fig. 22.

Der Zuckungsausschlag. Neben kleinen kommen recht große Zuckungen vor. Am größten ist die schräge Bewegung von Bild 6—9, die in Wirklichkeit am rechten Auge 3 mm, am linken 2,74 mm beträgt. Im ganzen übertreffen die Ausschläge des rechten Auges die des linken. Der zurückgelegte Weg ist in der Zeichnung am rechten Auge 1217, am linken 914 mm, oder in Wirklichkeit 24,3 bzw. 18,2 mm.

Die Geschwindigkeit, die sich daraus ableiten läßt, ist im Durchschnitt:

$$\text{am rechten Auge} = \frac{1217}{1978} = 0,61^*)$$

$$\text{am linken Auge} = \frac{914}{1978} = 0,47$$

Die Geschwindigkeitskurve für alle Bilder ist in Fig. 22 wiedergegeben. Die Gipfel und Täler für beide Augen entsprechen sich im allgemeinen recht gut.

*) Absolut ist die Sekundengeschwindigkeit des rechten Auges 12,3 mm, die des linken Auges 9,2 mm.

Ein gesetzmäßiges Verhalten der Geschwindigkeit läßt sich bei den einzelnen Zuckungen nicht ermitteln.

3. Fall 907. 35 Jahre alt, 169 cm groß. R. — 15 D = $\frac{4}{7}$; L. — 17 D = $\frac{4}{36}$. Am Perimeter bei geradeaus gerichtetem Blick Divergenz des linken Auges von 32° , die nach unten ab-, nach oben zunimmt, verbunden mit Tierferstand.

Heftiges Zittern, beginnend $\uparrow$ bei $+24^\circ$, aufhörend $\downarrow$ bei -30° , beiderseits schräg nach oben außen (R. $\nwarrow$; L. $\nearrow$), aber nicht ganz regelmäßig. Fig. 23 gibt ein Stück aus einer binokularen Kurve wieder. Darin werden gezählt:

	Rechtes Auge	Linkes Auge
1.—10. Sekunde	55,5	55,5 Zuckungen
11.—20. „	> 55,5	55,5 „
21.—30. „	> 55,5	55,5 „
31.—40 „	55	55 „
In 40 Sekunden	221,5	221,5 Zuckungen

Fig. 23. Fall 907. Gleichzeitige Registrierung des rechten (unten) und linken (oben) Auges im Dunkeln bei seitlichem Kerzenlicht. Blick -15° . 332 mal in 1 Min. Am rechten Auge doppelte Hebelübersetzung.

Die Reihenbildaufnahme, die bei erhobenem Blick ($+15^\circ$) stattfindet und recht gut geraten ist, umfaßt 44 Bilder. Die Ausmessung geschieht an je einer Marke, deren Lage aus nebenstehender Zeichnung (Fig. 24) ersichtlich ist, und mittels konzentrischer Kreise an der Pupillenmitte, was nur bei blauen Augen möglich ist (siehe Tabelle 2).

Fig. 24.

Die Zuckungsbahn. Die Bahn der Marke ist in den Fig. 25—28 oben, die der Pupille unten dargestellt. Die rechte Marke beschreibt entweder eine geradlinige, schräg von oben rechts nach unten links gerichtete Bahn, die besonders gut in Bild 1—3 und noch besser von 16—18 und 24—27 geraten ist, oder eine unregelmäßige, einem Kreise oder einer Ellipse sich nähernde Bahn. In letzterem Fall geschieht die Drehung mit dem Uhrzeiger. Die Hauptbewegungsrichtung der linken Marke gleicht der der rechten, wenn auch kleine Abweichungen vorkommen. Ein besonders großer wagerechter Ausschlag ist auf beiden Augen zwischen dem 21. und 22. Bild erfolgt.

Die von der rechten Marke zurückgelegte Strecke beträgt in der Zeichnung 1250 mm, die der linken 1145 mm oder in Wirklichkeit 25

Tabelle 2.

[illegible]

bzw. 22,5 mm. Die Kurve der rechten Pupille entspricht der der rechten Marke zum Teil ganz genau, zum Teil finden sich kleine Unterschiede. Die Wegstrecke ist für beide fast genau gleich (1250: 1246 mm). Das ist ein schönes Zeugnis für die Genauigkeit unserer Untersuchungsmethode. Bei diesem besonders gut geratenen Film ist der in Rechnung zu setzende Fehler jedenfalls viel geringer als 0,05 oder gar 0,1 mm (siehe oben). Erheblicher sind die Kurvenunterschiede zwischen linker Marke und Pupille. Der Weg der ersteren ist 1145, der der letzteren 967 mm. Das

Fig. 25. 1. bis 11. Bild.

liegt zum Teil sicher an dem starken Auswärtsschielen des linken Auges, das die Bewegung der Pupille von vorn verkürzt erscheinen läßt, während die am inneren Hornhautrande befestigte Marke für die Aufnahme günstiger liegt.

Zur vollständigen Bestimmung der Lage des Auges ist die Kenntnis der Lage eines Punktes der Oberfläche nicht ausreichend. Es gehört dazu noch die Stellung eines Meridians. Diese Forderung läßt sich an dem vorliegenden Fall erfüllen. In den Fig. 29—30 ist für jedes Auge die Lage der Marke und Pupille der ersten 10 Bilder in ihren Beziehungen

zueinander eingetragen, genau wie bei den vorhergehenden Figuren. Die Verbindungslinie beider Punkte kann als Meridian angesehen werden*). Es wurde nun für alle Bilder der Winkel gemessen, den dieser Meridian nach oben links mit der Vertikalen bildet $\backslash$. (Siehe Tabelle 2.) Aus den Fig. 29—30 ergibt sich schon eine leichte Verschiebung des Meridians von Bild zu Bild. Für die Gesamtheit der Bilder stellt sich heraus: am rechten Auge als Maximum 80° , als Minimum $71,5^\circ$, als Durchschnitt $74,8^\circ$; am linken Auge als Maximum 90° , als Minimum $78,5^\circ$, als Durchschnitt 85° .

Fig. 26. 11. bis 20. Bild.

Die Augen vollführen somit außer den zuerst beschriebenen Ortsveränderungen noch eine Raddrehung von nicht ganz unbeträchtlichem Ausmaß, und zwar in einer ziemlich gesetzmäßigen Weise, die sich folgendermaßen ausdrücken läßt. Die Bewegung der Hornhautmitte nach oben rechts ist mit einer Linksrollung des oberen Teils des senkrechten Hornhautsmeridians, die Bewegung nach unten links mit einer Rechtsrollung derselben verbunden.

*) Das leere Zwischenfeld entspricht nicht ganz der Wirklichkeit; es ist etwas kleiner. Das ist aber für die folgende Erörterung unerheblich.

Fig. 27. 20. bis 32. Bild.

Fig. 28. 31. bis 44. Bild.

Der zeitliche Ablauf der Zuckungen ließ sich in diesem Fall leider nicht feststellen, weil aus einem nicht aufgeklärten Grunde die Zeitmarkierung auf dem Film fehlt. Rechnet man mit einer Durchschnittsdauer der Filmaufnahme von 2 Sekunden, die für die meisten Fälle zu-

Fig. 29. Rechtes Auge (1. bis 10. Bild). Meridianverschiebung.

Fig. 30. Linkes Auge (1. bis 10. Bild). Meridianverschiebung.

trifft, so betrug die Sekundengeschwindigkeit dieses Falles an der rechten Marke 12,5, an der linken 11,25 mm, ein Wert, der den vorhergehenden Fällen nahekommt.

Schluß. Unter den Untersuchungsmethoden der Augenbewegungen, besonders des Augenzitterns der Bergleute,

gebührt dem Reihenbildverfahren ein hervorragender Platz, wenn es in der oben angegebenen Weise verfeinert wird, d. h. wenn für starke und kurze Belichtung, genaue Zeitbestimmung, Augenmarken und sorgfältige Ausmessung der Bildchen gesorgt wird. Sein eigentliches Gebiet ist die Erforschung der Bahn und des zeitlichen Ablaufes der Einzelschüttungen und besonders der beidäugigen Beziehungen. Es allein ist fähig, den Reichtum des Augenzitterns der Bergleute an verschiedenartigen Innervationen in befriedigender Weise auszuschöpfen. Seine Anwendung beschränkt sich aber auf ausgewählte Fälle mit größerer Amplitude. Für Massenuntersuchungen, besonders unter wechselnden Bedingungen, ist es nicht geeignet. Für diesen Zweck ist die einfache Hebelregistrierung bestimmt, die auch noch eine viel kleinere Amplitude bis herab auf $\frac{1}{50}$ mm zu erfassen vermag.

Literatur.

1. Bartels, Über Regulierung der Augenstellung durch den Ohrapparat. v. Graefes Arch. f. Ophth. **78**, 128 und **80**, 207.
2. Coppez, Le Nystagmus. Paris 1913.
3. Orschanski, Eine Methode, die Augenbewegungen direkt zu untersuchen usw. Zentralbl. f. Physiol. 1899, S. 785. Zitiert bei Coppez.
4. Wojatschek, Über Nystagmographie. Nachrichten der K. Milit. Med. Akad., 1908. Zitiert bei Coppez.
5. Buys, Notation graphique du nystagmus vestibulaire pendant la rotation. Société française d'Otologie. Mai 1909.
6. Ohm, Zur graphischen Registrierung des Augenzitterns der Bergleute und der Lidbewegungen. Zeitschr. f. Augenheilk. Heft 1. 1914.
7. — Augenzittern der Bergleute und Verwandtes. Springer, Berlin 1916.
8. Pinaroli, Sintomatologia obbiettiva delle lesioni labirintiche, S. 78. Turin 1912. Zitiert bei Coppez.
9. Abrahams, Discussion of demonstration of cases of nystagmus. Proc. of the roy. soc. of med., London. **7**, Nr. 6; sect. of neurol., ophthalm. and otol., S. 20—84. 1914.
10. Ohm, Vortrag auf der 30. Versammlung rhein.-westfäl. Augenärzte in Düsseldorf am 9. 2. 1913. S. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk., März.
11. Glatzel, Elektrische Methoden der Momentphotographie. Vieweg & Sohn. 1915.
12. Kunz und Ohm, Über photographische Messung des Augenabstandes und der Pupillen bei Bewegung der Augen von unten nach oben in der mittleren Blickrichtung. v. Graefes Arch. f. Ophthal. **89**.
13. Ohm, Eine Registriervorrichtung für wagerechte Augen- und Lidbewegungen. Zeitschr. f. Augenheilk. **36**. 198. 1916.