

(Aus dem physiologischen Laboratorium des Prof. J. R. Tarchanoff  
in St. Petersburg.)

## **Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung der Pupillenbewegungen. Photocoreograph.**

Von

**Dr. L. Bellarminoff,**

Assistent an der ophthalmologischen Klinik des Prof. W. J. Dobrowolsky.

---

Hierzu 6 Holzschnitte.

---

Die graphische Methode der Analyse der im thierischen Organismus vor sich gehenden mechanischen Erscheinungen ist unbestreitbar die genaueste in der Physiologie. Zum Bedauern bleiben diejenigen Organe und Gewebe, an die man ohne Verletzung der Integrität ihrer physiologischen Functionen nicht die Vorkehrungen behufs Uebergabe ihrer mechanischen Kraft auf den schreibenden Apparat anwenden kann, bis jetzt unzugänglich für die graphische Analyse. Ebenso konnten diejenigen zusammengesetzten mechanischen Erscheinungen, welche in ihrer natürlichen Form nicht die Anwendung der übertragenden Vorkehrungen dulden, bis zur neuesten Zeit nicht in einzelne Momente zerlegt werden. Erst vor kurzer Zeit hat die Ausarbeitung der sogen. Methode „der momentanen Photographie“ die Physiologie mit neuen objectiven Methoden bereichert, welche uns die Möglichkeit geben, in anschaulicher Weise die einzelnen Momente zusammengesetzter mechanischer Erscheinungen, die sich in so kleinen Zeitabschnitten, wie in  $\frac{1}{100}$  Secunde vollziehen, und dabei, ohne dass die Einmischung des Beobachters die physische oder physiologische Norm der zu beobachtenden Erscheinung verändere, abzubilden. Diese Methoden haben ausserdem dem Beobachter das Privilegium gegeben, Bewegungen zu analysiren, die in einer Entfernung vor sich gehen, ja sogar in einem Raume, welcher Experimenten absolut unzugänglich ist (Flug der Vögel und Insecten). Dieses Alles verdanken wir der Vervollständigung der Zubereitungsweise der

sogen. Brom-Silber-Emulsion (Brom-Silber und Gelatine) und dem Papiere, auf welches diese Emulsion aufgetragen wird. Die erstaunliche Empfindlichkeit dieses Papiers für die chemisch wirkenden Lichtstrahlen<sup>1)</sup> giebt uns die Möglichkeit, bei genügender Beleuchtung die geringsten Schattirungen der Gegenstände in hundertstel Theilen einer Secunde aufzufangen.

Im Jahre 1876 hat der Astronom M. Janssen mit Hülfe der empfindlichen photographischen Platten die aufeinanderfolgenden Stellungen, die der Planet Venus bei seinem Durchgange durch die Sonnenscheibe einnahm, deutlich dargestellt<sup>2)</sup>. Der Zeitraum zwischen zweien Stellungen betrug 70 Secunden.

Seine Beobachtungsmethode der aufeinanderfolgenden Abbildungen schlug Janssen 1878 M. Muybridge in St. Francisco vor, dieselbe auf die Analyse zusammengesetzter Bewegungen der Thiere anzuwenden. Im Jahre 1882 erschien die erste Beschreibung der Experimente Muybridge's, verfasst von Dr. Willmann<sup>3)</sup>. M. hat mit Hülfe einer ganzen Batterie photographischer Apparate ein laufendes Pferd in seinen Stellungen photographirt, welche die einzelnen Bewegungsmomente während des Laufes ausmachen. Jede Stellung entsprach  $\frac{1}{500}$  Secunde. Später hat M. dergleichen Beobachtungen noch an anderen Thieren und am Menschen angestellt.

Im Jahre 1879 hat Czermak<sup>4)</sup> mit seinem „Pulsspiegel“ die Pulseurve photographirt.

Im Jahre 1882 erhielt Marey mit Hülfe seines Apparates, in Form einer Flinte (im Laufe befindet sich das Objectiv, im Hintertheile des Laufes die empfindlichen Platten), deutliche Abbildungen eines fliegenden Vogels in den verschiedenen Phasen

1) Papier „L'Amis-Hutinet“ au bromure d'argent. Paris. Das gewöhnliche Tageslicht verwandelt in  $\frac{1}{200}$  Secunden weisses in vollkommen schwarzes.

2) Bulletin de la Societé française de photographie No. du 14. Dec. 1878. — Noch früher als Janssen hat Onimus die Bewegungen des Herzens photographirt (Journ. de l'anat. et de la physiologie 1865) und Osanam die Pulseurve (Journ. de Connaissance Medico-Chirurgical No. 17, p. 458).

3) The horse in motion as shown by instantaneous Photographie. In 40. London, Torner and Co. 1882.

4) Sphygmische Studien (Gesammte Schriften von Czermak II, 13, p. 695. Leipzig 1879).

des Flügelschlags. In den ferneren Arbeiten Marey's<sup>1)</sup> sind die Methoden der Analyse von zusammengesetzten Bewegungen des Menschen, der Vögel und Insecten genau beschrieben, wie Bewegungscurven verschiedener Körpertheile zu erklären sind (der Flügel der Vögel, der Insecten, der Gliedmaassen der Menschen).

Im Jahre 1882 beschrieb Dr. Nikotin<sup>2)</sup> ein von ihm construirtes, von selbst schreibendes Thermometer, welches die Temperaturcurve auf Brom-Silberpapier während einer gewünschten Zeit liefert.

In allerneuester Zeit hat Dr. Zibulski (aus dem physiol. Laboratorium des Prof. J. R. Tarchanoff) die Sphäre der Anwendung der Photographie auf dem Gebiete der Physiologie erweitert, durch die Erfindung eines scharfsinnigen Apparates — Photohaemotachometer's — mit dessen Hülfe die Geschwindigkeitscurve des Blutes erstaunlich klar und deutlich photographirt wird.

Die Grundidee dieses Apparates ist eine durchaus andere als die der eben beschriebenen. Die Hauptrolle bei diesem Apparate spielt eine schmale Spalte mit einem System von mit Flüssigkeiten gefüllten und auf eine eigene Art und Weise angewandten Glasröhrchen (Differentialmanometer), welche in einer gewissen Entfernung vor dem Objectiv der photographischen Kammer angebracht ist. Die Spalte ist in dem einen Ende einer Holzhöhre angebracht, das andere Ende derselben ist jedoch mit der Kammer verbunden. Das verkehrte Bild der Spalte zeichnet sich im Brennpunkte des Objectivs ab. In der Tangente zur Ebene, in welcher der Brennpunkt mit der Abbildung der Spalte liegt, dreht sich eine Trommel, mit empfindlichem Brom-Silberpapier beklebt. Auf diese Weise besitzt der Apparat, welcher mittelst eindringenden Lichtes wirkt, eine erstaunliche Empfindlichkeit: die geringsten Schwankungen der Flüssigkeit in den Röhrchen (die mit dem Gefässe, in welchem die Geschwindigkeit des Blutes gemessen wird, verbunden sind) zeichnen sich scharf auf dem sich drehenden Papiere ab, sogar bei überaus grosser Drehungsgeschwindigkeit, und erhält man auf diese Weise eine genaue Curve. Auf demselben Papiere werden gleichzeitig auch

---

1) Developpement de la methode graphique par l'emploi de la photographie. Paris 1885.

2) „Wratsch“ 1882, No. 24, 25, p. 388 und 404.

andere Curven vermerkt: des Athems, des Pulses u. s. w., ebenfalls auch die Zeit der Ausübung verschiedener Reizungen und der Secunden. Dies wird mit Hülfe kleiner Hebel erreicht, die entweder durch die Marrey'schen Trommelchen oder durch Schliessen und Oeffnen des electrischen Stromes in Bewegung gesetzt werden. Die kleinen Hebel geben auf dem Papiere weisse Streifen.

Mit der Idee seiner Methode und ihren Einzelheiten und mit deren Technik selbst hat mich Dr. Zibulski ausführlich bekannt gemacht und mich auf den Gedanken gebracht, seine Methode auf einem andern Gebiete der Physiologie, nämlich auf dem der Pupillenbewegung anzuwenden.

Ich habe in kurzen Worten in chronologischer Ordnung die Reihe dieser nicht zahlreichen, mit Hülfe der Photographie ausgeführten Untersuchungen angeführt, um auf ihren allmählichen Fortschritt und auf ihre verschiedentliche Anwendung in der experimentalen Physiologie und Pathologie hinzuweisen. Der unten zu beschreibende Apparat (Photocoreograph) erscheint als erster Versuch, die graphische Methode der Analyse auf die Bewegung der Regenbogenhaut anzuwenden.

---

Die Erforschung der Reaction der Pupille hat von jeher die Aufmerksamkeit der Beobachter gefesselt, Dank einerseits ihrer lokalen und für den ganzen Organismus allgemeinen Bedeutung, andererseits Dank der leichten und unmittelbaren Beobachtung.

Wie bekannt, schliesst man auf die Reaction der Pupille aus zwei Momenten: 1) aus der Grösse der Veränderung des Diameters und 2) aus der Schnelligkeit, mit welcher diese Veränderungen vor sich gehen. Die letztere ist bis jetzt entweder noch gar nicht oder nur nach sehr ungenauen Methoden festgesetzt<sup>1)</sup>.

---

1) Ich meine darunter die Versuche von Donders und von Arlt jun., welche jede Veränderung des Diameters nach Augenmass beobachteten, und mit der Hand den elektrischen Strom schliessen, den Veränderungsmoment auf einer sich drehenden Trommel, auf der die Schwingungen des Kammertons registriert waren, vermerkten. Bei der Berechnung wurde die physiologische Zeit des Beobachters in Anschlag gebracht (Graefe's Arch. Bd. XV, Abth. 1).

Für die Ausmessung des ersten Moments existirt eine bedeutende Anzahl von Apparaten, die auf verschiedenen Principien beruhen. Die Beschreibung dieser Apparate, genannt Pupillometer, bildet einen ganzen Abschnitt der Ophthalmologie — die Pupillometrie. Die einfachsten von ihnen stellen entweder einfach einen Zirkel dar, oder eine Scala von Scheiben verschiedenen Durchmessers, mit welchem die Pupille verglichen wird (Pupillometer Tollin<sup>1)</sup>), oder eine mikrometrische kleine Glasscheibe, die entweder mit einer Lupe versehen ist, oder keine solche hat. Nach den Theilstrichen der kleinen Scheibe wird der Diameter der Pupille vermerkt (die Pupillometer von Halma - Grand, Laurence<sup>2)</sup>, Halezowsky<sup>3)</sup> Coccius<sup>4)</sup>).

In anderen wird das Bild der Pupille in einem Spiegel aufgefangen und daselbst gemessen (Pupillometer von Olbers<sup>5)</sup>, Obernier<sup>6)</sup> und Fick<sup>7)</sup>), und auf dessen Princip sich stützend, haben Houdin<sup>8)</sup> und Badal<sup>9)</sup> complicirtere Pupillometer geliefert, welche auf den bekannten entoptischen Erscheinungen, die der Rand der Pupille zeigt, beruhen).

Dojer<sup>10)</sup> lieferte einen Apparat, der ein nicht vergrößertes verkehrtes Bild der Pupille mit dem Mikrometer zu messen gestattet.

Landolt<sup>11)</sup> erhielt genaue Ausmessungen mit Hülfe seines complicirteren Pupillometers.

An der Spitze aller dieser Apparate steht jedoch der Ophthalmometer von Helmholtz, der von allen die genauesten Messungen

1) *Lçons sur l'exploration de l'oeil etc.* p. 17, Paris 1863.

2) *Sur quelques instruments destinés à la mensuration de l'oeil Ophth. Rev. t. II, p. 126.*

3) *Traité complet. d'ophtalmologie par Wecker et Landolt t. I, p. 944.*

4) *Ibid.* 944.

5) *Ibid.* p. 943.

6) *Instrument zur Ermittlung von Pupillenunterschieden (Allg. Zeitschrift f. Psychiatrie t. 21, 4, p. 445).*

7) *Wecker et Landolt, Traité compl. d'opht. T. I, p. 947.*

8) *Ibid.* p. 948.

9) *Ibid.* p. 949.

10) *Ibid.* T. I, p. 949.

11) *Ibid.* p. 950.

gestattet. Schon allein die ansehnliche Zahl von Physiologen und Pathologen, die nicht wenig Mühe und Scharfsinn auf die Erfindung der aufgezählten Apparate verwandt haben, weist uns auf die Bedeutung und Wichtigkeit des Beobachtungsobjects hin.

Einige von diesen Apparaten zeichnen sich durch Einfachheit und leichte Handhabung, zu gleicher Zeit auch durch Ungenauigkeit aus; andere — bedeutend genauere — durch Schwierigkeit der Handhabung oder der Berechnungen, welche viel Zeit in Anspruch nehmen, oder durch diesen, sowie auch jenen Fehler (Ophthalmometer). Alle jedoch tragen folgende wichtige Fehler an sich: 1) alle geben die absolute Grösse des Pupillendiameters nur in jedem betreffenden Momente; 2) alle verlangen Unbeweglichkeit der Pupille zur Zeit der Ausmessung. Die immerwährenden Bewegungen der Pupille bieten unüberwindliche Hindernisse in Bezug auf Genauigkeit; 3) Wiederholung der Messung kann nur in gewissen Zeitabschnitten vorgenommen werden, während welcher die Veränderungen der Pupille, somit auch deren Ursachen, dem Beobachter entgehen, weshalb auch der Zusammenhang der einzelnen Ausmessungsmomente verloren geht, 4) weisen sie nicht hin auf die jeweilige Abhängigkeit der Veränderungsdifferenz des Diameters von dem dieselbe bedingenden Impulse.

Indem diese Apparate auf diese Weise die absoluten Ziffergrössen des Diameters angeben, zeichnen sie nicht deutlich die entsprechenden Schwankungen in minimalen Zeitabschnitten. Deshalb eben verdient der Versuch, die graphische Methode, die die besprochenen Mängel beseitigt, bei der Untersuchung der Pupillenbewegung anzuwenden, Aufmerksamkeit.

Die Anwendung dieser Methode auf jenem Gebiete hat nur dann Sinn, wenn durch Anwendung grober Manipulationen die physiologische Norm der Regenbogenhaut nicht gestört wird; mit anderen Worten, wenn es möglich ist, die unmittelbare Berührung der Schreibeapparate zu vermeiden. Diese Möglichkeit wird vollkommen vermieden mit Hilfe der Photographie.

Für meine ersten Versuche in dieser Beziehung construirte ich einen Apparat, identisch mit dem, welchen Dr. Zibulsky angewandt hat; kam jedoch bald zur Ueberzeugung, dass er in dieser Gestalt für meine Zwecke nicht tauglich sei, da es ohne besondere optische Hilfsmittel unmöglich ist, die Pupille in die ebene Fläche der Spalte zu placiren. Dieselben jedoch reflectirten

und brachen das Licht zu stark, was unvortheilhaft auf die Klarheit und Genauigkeit der Abbildungen zurückwirkte.

Nach vielen missglückten Versuchen construirte ich den unten zu beschreibenden Apparat, welcher mir so befriedigende Resultate geliefert hat, dass ich mich entschloss Diejenigen, die sich für diese Frage interessiren, mit demselben bekannt zu machen.

Der Apparat<sup>1)</sup> besteht aus einer Kammer (*A*, Abb. 1) mit einem photographischen Objectiv (*O*) 4 cm im Durchmesser, mit 16 cm Entfernung des Brennpunktes. Im Brennpunkte befindet sich eine herauschiebbare Platte aus mattgeschliffenem Glase (*C*) in einer Einfassung, auf welcher ein verticaler Strich (*L*) angebracht ist. In der Mitte wird dieser Strich durch eine senkrechte Linie (*m*) getheilt, welche in Millimeter und Halbmillimeter eingetheilt ist. Die Platte mit der Einfassung kann herausgeschoben werden, und an ihre Stelle kann ein hölzerner Kasten (*B*, Abb. 1) mit der herauschiebbaren Wand (*M*), hinter welcher sich eine kleine polirte Kautschukplatte (*N*), mit einer senkrecht liegenden Spalte (*F*), von  $\frac{1}{3} - \frac{1}{2} - \frac{3}{4}$  mm Breite, befindet, hineingesetzt werden. Der Kasten ist so eingerichtet, dass, falls er an Stelle der mattgeschliffenen Glasplatte (*C*) in die Kammer (*A*) eingestellt wird, die kleine Kautschukplatte mit der Spalte sich genau in derselben Ebene befindet, wie die gläserne mit den Strichen, d. h. im Brennpunkte des Objectivs. Die Spalte der Kautschukplatte wird der Lage nach genau der senkrechten Linie auf der Glasplatte entsprechen. Bei der Construction des Apparates wurde darauf besondere Aufmerksamkeit verwandt, und selbiges durch genaue Messungen controlirt<sup>2)</sup>.

Im hinteren Theile des Kastens sind zwei drehbare Cylinder (*x* und *y*) befestigt. Das obere Ende eines derselben ist mittelst eines Stiftes (*S*), welcher durch den Deckel des Kastens geht, mit dem Kreise (*T*) verbunden, der wiederum durch einen Uhr-

---

1) Das Modell des Apparats und die weiter unten angeführten Photographie habe ich in der Sitzung der „Gesellschaft russischer Aerzte“ am 28. Februar 1885 demonstrirt.

2) Anfangs wandte ich anstatt der Kautschuk- eine Metallplatte an, kam jedoch bald zur Ueberzeugung, dass durch Berührung mit dem Metalle auf dem Brom-Silberpapier bisweilen nicht hierhergehörende, die Klarheit der Abbildungen beeinträchtigende Streifen erschienen.

mechanismus mit Hülfe eines endlosen Riemens in Bewegung gesetzt wird.

Auf dem Kreise sind Einschnitte gemacht, um dem Cylinder eine grössere oder kleinere Geschwindigkeit, je nach Bedarf, mitzutheilen. Im vorderen Theile des Kastens ist ein dritter Cylinder ( $z$ ) befestigt, welcher so nahe an die Platte ( $N$ ) heranreicht, dass zwischen ihm und der Platte nur so viel Raum nachbleibt, dass dickes Papier zwischen ihnen kaum durchgehen kann.

Der Cylinder ist fest auf einer massiven Metallplatte angebracht, die sich in Fugen am Boden des Kastens bewegt. Nach hinten läuft diese Platte in einen Stift aus, der durch die hintere Wand des Kastens hindurchgeht, wo er mittelst der Schraube ( $u$ ) hineingeschoben oder herausgezogen werden kann, indem auf diese

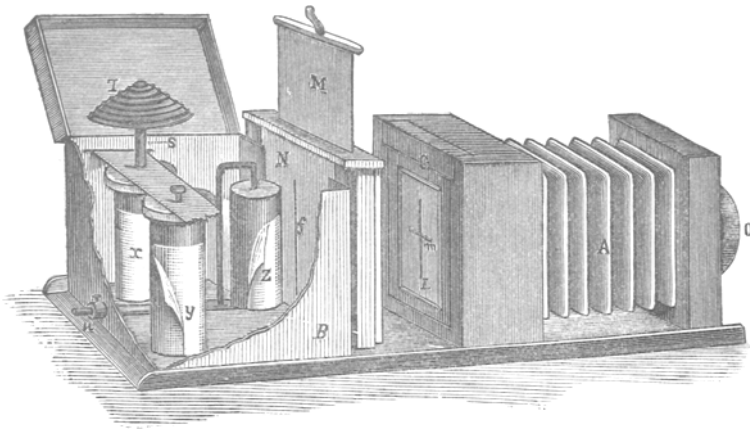


Abbildung I.

$A$  Kammer.  $O$  photographisches Objectiv.  $C$  Mattgeschliffene Glasplatte in der Einfassung.  $S$  Senkrechter Strich auf derselben.  $m$  Horizontaler Strich mit Eintheilung in mm und  $\frac{1}{2}$  mm.  $B$  Kasten, welcher an Stelle der Glasplatte  $C$  gesetzt wird. Die Hinterwand und eine Seitenwand des Kastens sind behufs Besichtigung der in demselben enthaltenen Theile weggelassen.  $M$  herausziehbare Wand.  $N$  Kautschukplatte mit der Spalte  $f$ .  $x, y, z$  Drehbare Cylinder mit dem um dieselben gewickelten Brom-Silberpapier.  $S$  Stift, der durch den Deckel des Kastens geht.  $T$  Kreis, mit Einschnitten für den endlosen Riemen. Hier ist er der Vollständigkeit der Zeichnung wegen hingezeichnet, in der That aber befindet er sich über dem Deckel des Kastens.  $u$  Schraube zur Entfernung des Cylinders  $z$ .



Weise der Cylinder ( $z$ ) der Spalte der Kautschukplatte näher gebracht oder von derselben entfernt wird.

Auf dem Cylinder  $y$  wird Brom-Silberpapier beliebiger Länge aufgewickelt, um den Cylinder  $z$  geschlungen und wieder um den Cylinder  $x$  weiter aufgewickelt. Auf diese Weise wird sich das Papier, wenn der Cylinder  $x$  mittelst des Uhrmechanismus in Bewegung gesetzt wird, stets in der Berührungslinie zur Spalte, d. h. zur Fläche des Focus des Objectivs hinbewegen.

Wenn nun der Apparat so hingestellt wird, dass das verkehrte Bild des Auges auf die matte Platte fällt und dass das Centrum der Pupille sich im Durchschnittspunkte der auf der Platte abgebildeten Linien befindet (was man nach den Theilstrichen auf dem horizontalen Striche erkennt), so wird die senkrechte Linie, nachdem sie die Pupille in zwei gleiche Halbkreise getheilt hat, augenscheinlich der Richtung des verticalen Durchmessers der Pupille entsprechen. Wenn man jetzt an Stelle der Platte den Kasten ( $B$ ) stellt, so wird die Spalte ( $F$ ) der Kautschukplatte die Pupille in zwei Seitensegmente und einen Centralgürtel theilen, der der Richtung des verticalen Diameters entspricht. Die Breite dieses Gürtels entspricht der Breite der Spalte. Oberhalb und unterhalb der Pupille werden sich aufeinanderfolgend abbilden verticale Ausschnitte der Regenbogenhaut, der Hornhaut, der Conjunctiva, der Augenlider u. s. w. (s. Abb. VI, zwischen den Linien  $xd$ ). Jeder einzelne dieser Ausschnitte, da er eine verschiedene Menge chemisch-wirkender Lichtstrahlen reflectirt, wird auf das in der Ebene der Spalte sich bewegende Brom-Silberpapier einen hellen oder dunklen Streifen werfen. Entsprechend dem Ausschnitte der Pupille selbst erhält man, da dieselbe die Lichtstrahlen nicht reflectirt, immer auf dem Papier in der Mitte einen ziemlich scharf abgegrenzten weissen Streifen (s. Abb. 2, 3, 4, 5). Die Regenbogenhaut giebt immer einen mehr dunklen Rand; noch dunkler ist der Rand der Hornhaut, die Conjunctiva giebt unregelmässige helle Streifen und die Augenlider schliesslich geben, je nach der Farbe der Haut oder der Haare, entsprechende periphere Streifen.

Dank der obenerwähnten Empfindlichkeit des Brom-Silberpapiers bewirken die minimalen Schwankungen des Durchmessers der Pupille Veränderungen in der Breite des mittleren, der Pupille entsprechenden, weissen Streifens. Diese Veränderungen lassen

sich beobachten in zehntel und hundertstel Theilen einer Secunde, je nach der Stärke der Beleuchtung und nach der Breite der Spalte. Misst man nun die Breite des erhaltenen Streifens in seinen verschiedenen Punkten, so erhält man sowohl die absolute Grösse der Pupille in verschiedenen Momenten, die bezüglich Schwankungen derselben, als auch die Durchschnittsgrösse eines jeden gegebenen Zeitraums. Auf demselben Papiere werden gleichzeitig die Secunden oder bestimmte Theile derselben vermerkt. Am einfachsten wird dieses folgendermaassen erreicht: an dem Stifte eines genauen Metronoms wird ein kleiner dünner Hebel von weisser oder schwarzer Farbe kreuzweise angebracht, welcher in der Ebene der Pupille, oberhalb oder unterhalb derselben zu stehen kommen muss. Bei den Schwankungen des Metronoms tritt der Hebel in die Spalte und ruft auf diese Weise auf dem Papiere schwarze und weisse Querstriche hervor. Je nachdem eine wie grosse Anzahl Schwankungen wir dem Metronom in der Secunde geben, erhalten wir auf dem Papier Striche, die Secunden oder Theilen derselben entsprechen. Indem wir die Entfernung zwischen zweien solcher Striche ausmessen, erfahren wir die Bewegungsgeschwindigkeit des Papiers in einer bestimmten Zeiteinheit. Indem wir die Schnelligkeit  $v$  kennen und die Breite der Spalte  $L$ , erfahren wir jene Zeit  $t$ , in welcher jeder Punkt des Papiers an der Spalte vortübergeht:  $t = \frac{L}{v}$ . Im Verlauf dieser Zeit wird das Papier der Wirkung der Lichtstrahlen, die von jedem Punkte des zu beobachtenden Augenabschnittes reflectirt werden, ausgesetzt, oder mit anderen Worten: jeder einzelne Punkt des Abschnitts ( $x-d$ , Abb. VI) wird in der Dimension von  $L$  mm in  $t$  Secunden auf dem Papiere eine Spur hinterlassen. Einleuchtend ist es, dass eine desto grössere Genauigkeit in der Beobachtung erreicht wird, je grösser  $v$  und je kleiner  $L$  ist. Die grösste Genauigkeit lässt sich bei starker Beleuchtung erreichen<sup>1)</sup>

---

1) Bei den von hier angeführten Photogrammen III, IV, V ist die Bewegungsgeschwindigkeit des Papiers = 4 mm in der Secunde. Die Breite der Spalte  $\frac{3}{4}$  mm. Die Versuche wurden in einem Zimmer angestellt, dessen Fenster nach NW. lag. Doppelte Fensterrahmen. Gewöhnliches zerstreutes Tageslicht, bei heiterem Himmel. — Photogramm II, Bewegungsgeschwindigkeit des Papiers 10 mm. Breite der Spalte  $\frac{1}{2}$  mm.

(s. Abb. II). An Stelle eines Metronoms kann man auch ein electrisches Pendel anwenden, welches die Schwankungen des kleinen in die Ebene der Pupille gestellten Hebels beim Schliessen und Oeffnen des Stromes mit gewissen Unterbrechungen angiebt (s. Abb. II).

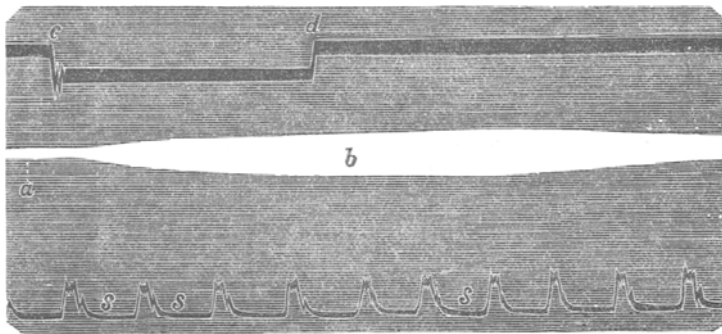


Abbildung II.

*a* Pupille einer curarisirten Katze in natürlicher Grösse. *b* Pupille nach Reizung des N. ischiadici auf derselben Seite mit schwachem Inductionstrom. *c* Anfangsmoment der Reizung. *d* Endmoment der Reizung. *s, s, s* Sekunden.

Wenn zugleich mit den Veränderungen des Pupillendiameters noch andere Momente zu beobachten sind (Athem, Puls u. s. w.), so geben die kleinen weissen Hebel des Marey'schen Trommelmehen, verbunden mit den entsprechenden Organen, übereinander in die Ebene der Pupille gestellt, uns die entsprechenden Curven in Form schwarzer Streifen.

Die Zeit der Ausübung verschiedener Reizungen wird mit Hülfe ebensolcher kleiner Hebel, die sich beim Oeffnen und Schliessen des electrischen Stromes bewegen, vermerkt. Dies ist deutlich auf Abbildung III und IV zu sehen. (Abbildung V ist des Vergleichens wegen da)<sup>1)</sup>.

---

1) In allen angeführten Photogrammen ist nur der mittlere Streifen, der dem Pupillendurchmesser entspricht, abgebildet. Alle übrigen Streifen (die der Conjunctiva, der Augenlider, des Haares u. s. w.) sind weggelassen, weil sie die Deutlichkeit beeinträchtigen würden.

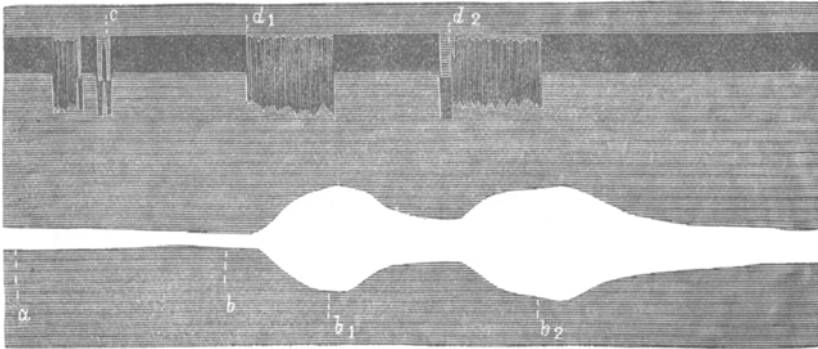


Abbildung III.

Curve des Querdiameters eines Katzenauges,  $1\frac{1}{2}$  mal vergrößert. *a* Die Pupille nach dem Fixiren des Auges und nach dem Abpräpariren des N. sympathicus am Halse auf derselben Seite. *b* Die Pupille nach Durchschneidung des N. sympath. unterhalb des Gangl. sup. *b<sub>1</sub> b<sub>2</sub>* Nach der Reizung des Kopfendes des durchschnittenen N. symp. *c* Moment des Durchschneidens. *d<sub>1</sub> d<sub>2</sub>* Anfang und Dauer der Reizung des N. symp. durch Inductionsstrom.

Der Moment der Anwendung starken Lichtes, als eines Reizungsmittels, vermerkt sich selbst genau durch die schärferen Conturen der Curven.

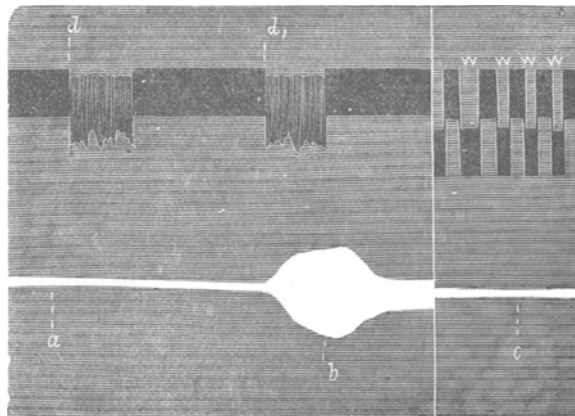


Abbildung IV.

Pupille einer Katze. Querdurchmesser. Vergrößerung  $1\frac{1}{2}$  mal. *a* Pupille nach Durchschneidung beider Nn. sympath. und nach Reizung des N. sympath. der entgegengesetzten Seite. *b* Nach Reizung des N. sympath. derselben Seite durch Inductionsstrom. *c* Nach der Reizung des N. sympath. derselben Seite durch einzelne Schläge. *d d<sub>1</sub>* Momente und Dauer der Reizung durch Inductionsstrom. *www* Einzelne Schläge.

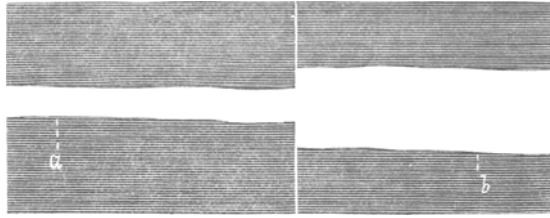


Abbildung V.

*a* normale Pupille einer Katze. *b* mit Atropin behandelt ( $1\frac{1}{2}$  mal vergrößert).

Um genauer die kleinsten Veränderungen des Pupillendiameters zu verfolgen, kann man, vorausgesetzt gute Beleuchtung, den Brennpunct des Objectivs verkürzen durch Hinzufügung einer biconvexen Linse. Unter solchen Umständen lässt sich eine bis 5 mal vergrößerte Pupille untersuchen.

Dass von mir ohne alle Verstärkungsmittel angewandte Objectiv giebt genane Zeichnungen (wie dass aus den angeführten Curven ersichtlich ist) einer  $1\frac{1}{2}$  mal vergrößerten Pupille.

Nachdem ich in den Hauptzügen das Wesen meines Apparates beschrieben habe, muss ich noch einige Worte betreff der Technik desselben hinzufügen.

Aus der Beschreibung erhellt, dass die Genauigkeit der zu erhaltenden Curven des Pupillendiameters sich in voller und directer Abhängigkeit befindet von der absoluten Unbeweglichkeit des Apparates selbst, des Objects der Beobachtung und des zu beobachtenden Auges. Zu diesem Zwecke wird der Apparat selbst mittelst Schrauben stark auf einem massiven hohen Tische befestigt. Die letzte von den Schrauben wird erst dann fest eingeschraubt, wenn der Apparat, wie sichs gehört hingestellt ist. Bei Versuchen an Menschen verfahre ich folgendermaassen: Dass Kinn liegt auf einer festen Unterlage, die an selbigem Tische befestigt ist; vorn und hinten wird der Kopf von entsprechenden Stativen gehalten; das Auge fixirt einen kleinen Gegenstand, der in gewünschter Entfernung auf einem Niveau mit dem Centrum des Objectivs steht. Der Apparat wird so hingestellt, dass das Bild der Pupille auf die mattgeschliffene Platte mit den Strichen falle, und dass das Centrum der Pupille mit dem Durchschnittspuncte der Striche zusammenfalle. Dieses erkennt man erstens an der grösseren Anzahl der Theilstriche auf dem horizontalen Striche, welche vom

horizontalen Pupillendurchmesser eingenommen werden, und zweitens an der gleichen Anzahl dieser Theilstriche, vom senkrechten Strich an gerechnet. Augenscheinlich ist es, wie schon oben erwähnt, dass der senkrechte Strich jetzt in der Richtung des verticalen Diameters liegen wird. Darauf wird die mattgeschliffene Platte herausgenommen und an ihre Stelle der oben beschriebene Kasten mit dem drehbaren Papier hineingesetzt. Das Einstellen des Papiers in den Kasten geschieht entweder in einem absolut dunklen Zimmer, oder bei schwacher Beleuchtung mittelst einer rothen Laterne. Der Kasten wird sorgfältig mit dem Deckel geschlossen, damit auf keine Weise Licht ins Innere desselben dringe.

Bei Versuchen an Thieren fixire ich das Auge entweder, indem ich die Muskel durchschneide, oder häufiger und zu gleicher Zeit practischer auf folgende Art: ich ziehe eine Nadel mit einem Faden durch die Conjunctiva bulbi in der Nähe der Hornhaut, eine andere, am andern Ende des Fadens befestigte Nadel führe ich tief in den saccus conjunctivalis und steche sie durch die ganze Dicke des Augenlides nach Aussen durch. Solcher Fäden ziehen ich gewöhnlich 2—3 von unten und von oben durch. Darauf setze ich einen elastischen, breiten, mit einer Feder versehenen Sperrelevator ein, an dessen Zweigen ich mittelst der durchgezogenen Fäden sowohl die Conjunctiva, als auch die Augenlider selbst annähe. Auf diese Weise spannt der Elevator, die Augenlider stark anziehend, zu gleicher Zeit auch die an ihn angenähte Conjunctiva, wodurch das Auge unbeweglich wird. Eine noch grössere Unbeweglichkeit kann erreicht werden, wenn man beide Commissuren der Augenlider durchschneidet: die Anspannung der Conjunctiva ist dann noch bedeutender; das Auge wird dadurch noch mehr dem Lichte zugänglich, was sehr vorthellhaft ist. (Die Abbildung VI stellt ein auf diese Weise fixirtes Kaninchenauge dar.) Um die Hornhaut vor dem Vertrocknen und die Regenbogenhaut vor dem beständigen Licht zu schützen, lege ich für die Pausen zwischen den Beobachtungen ein Stück Watte auf das Auge, welches in einer lauwarmen Lösung von  $\frac{1}{2}$  % Kochsalz getränkt ist. Wenn der Versuch lange dauert, so wird mit derselben Lösung auch die Hornhaut von Zeit zu Zeit aus einer Pipette bewaschen. Ohne diese Vorsichtsmassregeln trocknet die Hornhaut aus, wird uneben, reflectirt das Licht unregelmässig, wodurch man unnütze und die Klarheit des Bildes beeinträchtigende Streifen

erhält. Selbstverständlich ist es, dass das betreffende Thier, besonders der Kopf unbeweglich auf dem betreffenden Apparate befestigt ist.

Auf dem Wege der Erfahrung bin ich zur Ueberzeugung gekommen, dass von allen Thieren zum Experimentiren die Katze das geeignetste ist. Eben deshalb, weil wir bei ihr eine schwarze Pupille bei sehr heller Regenbogenhaut vorfinden. Ausserdem reagirt die Pupille der Katze sehr energisch auf jeden Reiz.

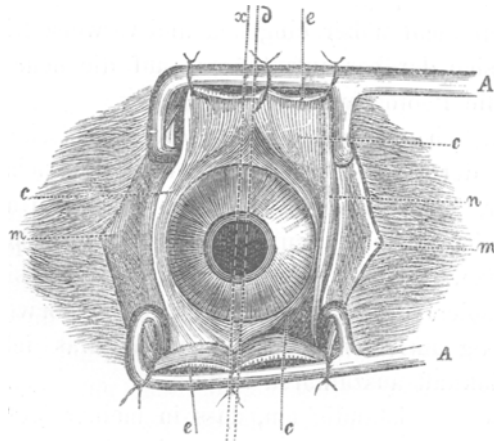


Abbildung VI.

Fixirtes Kaninchenauge ( $1\frac{1}{2}$  mal vergrößert). *AA* Zweige des Elevators. *ee* Ränder der Augenlider. *ccc* Gespannte Conjunctiva. *n* gespannte Membrana nictitans. *mm* durchschnittenen Commissuren. *xd* Abschnitt des Auges und der umliegenden Theile, die sich in der Spalte des Apparates abbilden.

Weisse Kaninchen sind auch tauglich, denn die rothe Pupille stimmt in Bezug auf die von ihr reflectirten chemischen Lichtstrahlen mit der schwarzen überein. Unter grauen und schwarzen Kaninchen kann man nicht immer taugliche herausfinden. In Bezug auf Hunde fällt die Wahl sehr schwer, denn die Regenbogenhaut ist bei ihnen stark pigmentirt und ist von der Pupille nicht scharf abgegrenzt. Zu Versuchen an der menschlichen Pupille ist es am besten Blonde mit hellgrauer Regenbogenhaut zu nehmen. Noch muss ich bemerken, dass man bei Ausführung der Versuche häufig von der Laune des Wetters abhängig ist, von einer zufällig aufziehenden Wolke, von sich ansammelndem Nebel u. s. w. —

von Hindernissen, die durch nichts zu beseitigen sind. Häufig gehen die combinirtesten Vorbereitungen durch solche zufällige Hindernisse fruchtlos verloren. Auf diese Weise müssen Versuche häufig auf eine Woche und länger hinausgeschoben werden. Selbstverständlich fallen solche Hindernisse da fort, wo eine genügend starke electriche Beleuchtung vorhanden ist, von welcher ich leider keinen Gebrauch machen kann.

Was die Technik des Zumvorscheinbringens und der Fixirung der auf Brom-Silberpapier erhaltenen Abbildungen anbetrifft, so will ich darauf nicht näher eingehen und verweise Diejenigen, die es wünschen sich darüber aufzuklären, auf die neuesten Abhandlungen über die Photographie.

Nachdem ich auf diese Weise die graphische Methode bei Untersuchung der Pupillenbewegung fortgesetzt, behalte ich mir das Recht vor, seine Anwendbarkeit bei genauen Untersuchungen in diesem Gebiete zu beweisen. Das Material, welches ich augenblicklich besitze, ist leider noch zu wenig systematisirt und Dank des weiten Gebiets der Frage über die Pupillenbewegungen noch zu unvollständig um es bekannt zu machen, was ich aber wohl in nächster Zukunft auszuführen hoffe.

Ich gestehe vollständig ein, dass in meiner Methode, wie in jeder noch wenig bearbeiteten, so manche Mängel enthalten sind, welche aber bei weiterer Ausarbeitung und technischer Vervollkommnung sicherlich werden beseitigt werden können. Ausserdem hege ich die Hoffnung, dass sich mein Apparat auch auf anderen Gebieten der Physiologie und Pathologie, deren Richtung mit der Reaction der Pupille eng verknüpft ist, wird anwenden lassen.

---