

II.

Die photographische Registrierung

von

S. Garten in Gießen.

(Mit 25 Figuren und 1 Tafel.)

Durch Verwendung der Photographie hat die physiologische Methodik eine mächtige Förderung erfahren, denn mit ihrer Hilfe gelingt es leicht, viele Lebensvorgänge, die sich schließlich in Bewegungen umsetzen lassen, im Bilde festzuhalten, wo die direkte mechanische Registrierung völlig versagt.

Während man noch vor wenigen Dezennien gezwungen war, um genügend große Kurven eines Bewegungsvorganges zu erhalten, lange Hebel mit großen Trägheitsmomenten zu verwenden, erscheint es uns jetzt als ganz selbstverständlich, daß wir, wenn es sich um rasch ablaufende Vorgänge handelt, den gewichtslosen „Lichthebel“ zur Aufzeichnung heranziehen. Und wenn früher irgendein Bewegungsvorgang ein zu kleines Ausmaß besaß, wenn vielleicht der bewegte Körper in der Sekunde nur wenige Tausendstel eines Millimeters durchmaß, so mußte man, soweit nicht das beobachtende Auge direkt den Weg ablesen konnte, von jeder Registrierung absehen. Jetzt, bei der Vervollkommnung der optischen Hilfsmittel, wird man nicht mehr davor zurückschrecken, einen Vorgang tausendfach vergrößert und in zahlreicher, vielleicht tausendfacher Wiederholung in der Sekunde aufzunehmen. Auch für die Feststellung der räumlichen Lage eines Organes oder größeren Organkomplexes, eines Individuums bei seinen verschiedensten Bewegungen während kleinster Bruchteile einer Sekunde ist die Photographie sehr geeignet. Selbst für die Farbenänderungen, die sich am lebenden Organismus vollziehen, ist durch die Farbenphotographie die Aussicht gewonnen, ziemlich getreu ihre einzelnen Phasen wiederzugeben.

Trotz des hohen Standes der photographischen Technik und trotz der zahlreichen Hilfsmittel, die sich durch die weite Verbreitung der Liebhaberphotographie entwickeln mußten, sind die photographischen, als wissenschaftliche Belege dienenden Abbildungen oft recht unvollkommen, und es liegt nicht immer nur an der Reproduktionsanstalt, wenn man das, worauf es in dem Bilde ankommt, selbst bei dem besten Willen überhaupt nicht sehen kann. Es dürfte daher auch in diesem Werke angebracht sein, zunächst, ganz kurz wenigstens, die wichtigsten technischen Methoden des photographischen Prozesses hier anzuführen, wobei als selbstverständlich gelten kann,

daß dem Leser in den Hauptzügen bereits der Prozeß der photographischen Bilderzeugung bekannt ist. Insbesondere wird es hier darauf ankommen, die besten und erprobtesten Rezepte für die einzelnen photographischen Prozeduren zur Verfügung zu haben. Die betreffenden Rezepte sind dem ausführlichen Handbuche der Photographie von Eder¹⁾ entnommen.

Die photographischen Registriermethoden sollen in nachstehender Reihenfolge besprochen werden. Zuerst wird die Photographie der einzelnen Bewegungsphasen behandelt und dann die fortlaufende photographische Registrierung eines sich nur in einer Richtung bewegendem Punktes. Die Anwendung dieser zweiten Methode, der „Linearkinematographie“, wie sie Cowl²⁾ nennt, ist die am allerweitesten entwickelte. Alle, selbst die geringsten und am raschesten erfolgenden Bewegungen eines Organismus lassen sich mit ihr verzeichnen, und ebenso alle anderen Vorgänge, die sich schließlich in Bewegungsvorgänge überführen lassen. Und das ist ja bei fast allen Veränderungen in unserem Organismus der Fall.

I. Die photographischen Prozesse.

1. Der Negativprozeß.

Da es bei den Registrierungen physiologischer Vorgänge meistens darauf ankommt, auch bei großer Geschwindigkeit der Schreibfläche noch eine ausreichende Schwärzung der vom Licht getroffenen Teile zu erzielen, verwendet man jetzt fast ausschließlich als lichtempfindlichen Körper das Bromsilber, da dieses die anderen Silberhaloide weit an Empfindlichkeit übertrifft. Das Bromsilber wird gegenwärtig als Emulsion gebraucht, und zwar dient als Emulgens in der Regel Gelatine, die auf Glasplatten, Celluloid und Papier ausgegossen werden kann. Der Träger der Emulsion ist nicht ganz einflußlos auf die Eigenschaften der lichtempfindlichen Schicht, insbesondere kann durch den Träger eine allmähliche Veränderung des Bromsilbers auch ohne Einfluß des Lichtes von statten gehen. Am wenigsten soll in dieser Hinsicht die Glasplatte auf die Emulsion einwirken, nur ist leider ihre Anwendung gerade bei der photographischen Registrierung ziemlich beschränkt.

Die verschiedene Empfindlichkeit der Bromsilberemulsion ist mit von der Größe der in ihr enthaltenen Bromsilberteilehen abhängig. Bei dem sogenannten Reifungsprozeß der bei höherer Temperatur noch flüssigen Emulsion werden die Bromsilberteilehen immer größer und zugleich nimmt die Lichtempfindlichkeit mehr und mehr zu. Es ist das für feinere Messungen ein wichtiger Punkt, denn wenn man notgedrungen, um einen sehr rasch ablaufenden Bewegungsvorgang noch verzeichnen zu können, eine sehr empfindliche Platte anwendet, so machen sich schon bei Lupenvergrößerungen die Körnerbildungen in der Platte störend bemerkbar.

Um die Empfindlichkeit einer bestimmten Plattensorte festzustellen, wird jetzt in der Regel das Sensitometer von Scheiner^{*)} verwendet. Bei diesem

^{*)} Früher war meist das auf einer weniger exakten Grundlage konstruierte Sensitometer von Warnereke in Gebrauch. Platten von 12—15° W waren wenig empfindlich, während solche von über 20° W sich zu Momentaufnahmen eigneten.

Apparat wird eine stufenweise Intensitätsschwächung des auf die lichtempfindliche Schicht in 1 Minute wirkenden Lichtes einer bestimmten Benzinquelle vorgenommen. Die Verminderung der Lichtintensität ist durch eine für verschieden abgestufte Belichtungen geeignete Episkotisterscheibe zu erhalten. Man bestimmt dann, bis zu welcher Belichtungsstärke herab auf der photographischen Platte nach der Entwicklung noch eine Schwärzung wahrzunehmen ist. Nach Eder würde sich für Porträtaufnahmen beispielsweise eine Trockenplatte von 10 Grad Scheiner eignen, für Momentaufnahme eine solche von 16—17 Grad Scheiner, während man bei Reproduktionen solche von etwa nur 4 Grad Scheiner benutzt. Diese letzteren sind zwar sehr unempfindlich, besitzen aber dafür ein sehr feines Korn. Umgekehrt wird man bei den Momentplatten eine verhältnismäßig stärkere Körnung der Schicht mit in Kauf nehmen müssen, so daß eine viel weitergehende Vergrößerung der Aufnahme ausgeschlossen ist.

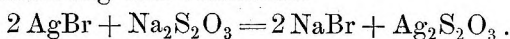
Über die Eigenschaften des latenten Bildes, wie es durch eine kurzdauernde Belichtung erzeugt wird, herrscht noch nicht volle Klarheit. Man vermutete, daß durch die Einwirkung des Lichtes aus dem Bromsilber ein Silber-subbromid (z. B. Halbbromsilber) entstünde, das die Fähigkeit besäße, sich leichter als das unveränderte Bromsilber durch eine Reihe reduzierend wirkender Stoffe in metallisches Silber überführen zu lassen.*)

Einer anderen Annahme, daß sich bei der Belichtung bereits kleinste Ag-teilchen bilden, stand die Beobachtung entgegen, daß das unsichtbare Lichtbild der exponierten Platte durch Salpetersäure nicht zerstört würde. Neuerdings nimmt Lüppo-Cramer⁴⁾ an, daß doch solche Ag-keime bei der Belichtung frei werden, diese sich aber mit AgBr so fest verbinden, daß ihre Löslichkeit in Salpetersäure aufgehoben ist. Es wäre das eine Absorptionsverbindung von kolloidem Silber mit dem Brom- oder Chlor-silbergel.

Man bezeichnet diejenigen Reduktionsmittel, die nur belichtetes Bromsilber, aber erst nach längerer Einwirkung unbelichtetes Bromsilber reduzieren, als chemische Entwickler. Es hat sich in neuerer Zeit herausgestellt, daß

*) So führt Luther³⁾ den Vorgang der Belichtung darauf zurück, daß ein Teil des Bromsilbers zu Halbbromsilber durch das Licht umgewandelt wird. „Bei der Berührung mit dem Entwickler wird das Halbbromsilber zu Silber reduziert und gibt den Keim, an dem das noch intakte Bromsilber durch den Entwickler zu Silber reduziert werden kann.“ Der für die Empfindlichkeitssteigerung der Emulsion wichtige Reifungsprozeß, wie er durch längere Erwärmungen etc. eingeleitet wird, soll ebenfalls darauf beruhen, daß, wie durch die Belichtung, so auch durch die Gelatine, das Bromsilber zu Halbbromsilber reduziert wird. Wird die Reifung nicht zu weit getrieben, so haben die Halbbromsilberteilchen noch nicht die genügende Größe, um bei ihrer Reduktion durch die Entwicklung genügend große Silberkeime zu liefern. Bekanntlich tritt bei übertriebener Reifung, also bei besonders hochempfindlichen Platten, eine Reduktion auch ohne Lichtwirkung, d. h. Schleierbildung, ein. Das Wesen der Empfindlichkeitssteigerung durch den Reifungsprozeß wird im Sinne der Halbbromsilbertheorie von Luther sehr klar in folgendem Satze ausgedrückt: „Je größer nämlich die Halbbromsilberteilchen durch das Reifen geworden sind, um so weniger Arbeit bleibt dem Licht zu tun übrig, um sie auf die Größe zu bringen, welche für die Keimwirkung erforderlich ist.“ Dafür, daß der Reifungsprozeß und die Belichtung dieselben chemischen Vorgänge auslöst, spricht der Umstand, daß man statt des Reifens in bekannter Weise die Empfindlichkeit nach Luther ebensogut durch ein ganz schwaches Vorbelichten steigern kann.

außerordentlich zahlreichen organischen Präparaten diese Fähigkeit, das belichtete Bromsilber zu reduzieren, zukommt. Auf einige der wichtigsten Entwickler wird weiter unten noch eingegangen werden. Da durch länger dauernde Lichtwirkung, auch ohne Entwicklung, Bromsilber zu metallischem Silber reduziert wird, so würde durch die Entwicklung einer belichteten Bromsilberplatte zwar ein Bild sichtbar werden, dasselbe aber sehr bald wieder verschwinden, wenn man nicht imstande wäre, das unzersetzte Bromsilber vor weiterer Belichtung aus der Platte zu entfernen. Dies ist entweder möglich durch eine Lösung von Cyankalium oder, was sich wegen der Ungiftigkeit für den täglichen Gebrauch mehr empfiehlt, durch eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron. Und zwar würde die Reaktion nach folgender Gleichung sich vollziehen:



Das entstandene $\text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3$ löst sich aber im Überschuß des unterschwefligsauren Natrons auf. In ähnlicher Weise würde bei unvollständiger Entwicklung auch noch das vorhandene hypothetische Silbersubbromid gelöst werden, ja nach Eder soll sogar, wenn eine Platte 24 Stunden oder noch länger im Fixierbad liegen bleibt, durch den Sauerstoff der Luft das reduzierte Silber der Platte allmählich angegriffen werden.

Bei der hohen Lichtempfindlichkeit der Bromsilberemulsion gegen alles kurzwelligere Licht gilt es als Regel, zur Beleuchtung einer Dunkelkammer nur langwelliges rotes Licht anzuwenden. Das früher vielfach gebrauchte gelbe Licht ist für die Trockenplatte durchaus nicht indifferent. Aber auch rein rotes Licht vermag bei hinreichend großer Intensität eine diffuse Schwärzung der Platte und damit eine Schleierung herbeizuführen. Es gilt daher als Regel, beim Einlegen der Platten oder Films und in den ersten Minuten der Entwicklung, die Beleuchtung auch mit dem roten Lichte möglichst zu verringern. Aber selbst die Beleuchtung mit rotem Licht muß vermieden werden, wenn es sich um orthochromatische oder panchromatische Platten handelt, bei denen die Empfindlichkeit bis zu dem roten Ende des Spektrums ziemlich die gleiche ist. Es empfiehlt sich daher auch, die Entwicklungsschalen in größeren schwarz gestrichenen Holzkisten aufzustellen, bei denen durch einen weit überreichenden Deckel jeder Lichteinfall, selbst wenn plötzlich im Dunkelzimmer Tagesbeleuchtung hergestellt würde, ausgeschlossen ist. Man hat dadurch auch den Vorteil jederzeit, auch bei einfachem Türverschluß, das Dunkelzimmer verlassen zu können.

Entwicklung.

Von den zahllosen Entwicklern seien hier nur diejenigen angeführt, deren Stämmungen hinreichend haltbar sind, und bei deren Gebrauch die Hervorrufung des Bildes nur wenig Zeit kostet. Untenstehende Rezepte für Entwickler sind aus Eders Lehrbuch entnommen und von mir sämtlich versuchsweise verwendet worden. Insbesondere habe ich solche angeführt, die für kurz exponierte Platten*) zu empfehlen sind.

*) Anmerkung. Um über die Brauchbarkeit der verschiedenen Entwickler beim Hervorrufen sehr schwach belichteter Teile auf unbelichtetem Grund mir ein Urteil zu bilden, habe ich einige einschlägige Versuche angestellt. Es wurde auf den hochempfindlichen Planfilm von Schleußner mein mittels Episkotister gewonnenes System weißer Linien aufgenommen (vergl. unten S. 118). Das von einer Nernstlampe kommende Licht wurde

1. Eisenoxalat-Entwickler.

Lösung A:	Neutrales oxalsaures Kali	100 g
	Aqua dest.	300 „
Lösung B:	Eisenvitriol	100 „
	Aqua dest.	300 „
	konz. Schwefelsäure	5 Tropfen

Von beiden Lösungen ist Lösung B bei unvollkommenem Luftabschluß nur ca. eine Woche lang haltbar und muß, sobald Gelbfärbung eintritt, erneuert werden. Zur Entwicklung nimmt man von Lösung A 3, von Lösung B 1 Teil. Zu reichlicher Zusatz von B gibt Trübungen und ist daher zu vermeiden. Um möglichst kontrastreiche Bilder zu erhalten, setzt man auf 100 cbcm Entwickler 2—10 Tropfen einer Bromkaliumlösung 1:10 zu. Die Wirkung des Bromkaliums soll nach Luther darauf beruhen, daß die Bromionen auf den Reduktionsvorgang einen hemmenden Einfluß ausüben, wie er in gewissen Grenzen schon durch die bei der Reduktion des Bromsilbers frei werden den Bromionen bewirkt wird.

Sind die Platten stark unterexponiert, so läßt sich der Entwicklungsprozeß dadurch begünstigen*), daß man die Platte zuvor 1 bis höchstens 2 Minuten in einer Fixiernatronlösung 1:3000 badet und sie dann sofort in den Entwickler überträgt. Die Entwicklungsdauer beträgt bei einem normal exponierten Bild bei Zimmertemperatur ungefähr 5. Minuten.

2. Pyrogallol-Sodaentwickler.

Lösung A:	Schwefligsaures Natrium**)	. . . . .	100 g
	Aqua dest. . . . .	. . . . .	500 „
	Pyrogallol . . . . .	. . . . .	14 „
	Schwefelsäure . . . . .	. . . . .	6 Tropfen

durch einen Keilspalt und ein keilförmiges mit Kalium-bichromicum gefülltes Gefäß in der Weise abgeschwächt, daß die Lichtintensität auf dem belichteten Streifen von unten nach oben außerordentlich rasch abnahm. Ein in dieser Weise exponierter Film wurde in 8 vertikale Streifen zerschnitten und jeder Streifen in einem anderen der obengenannten Entwickler so lange entwickelt, daß eben kein stärkerer allgemeiner Schleier eintrat. Die nötige Entwicklungsdauer hatte ich bei einigen Vorversuchen für die einzelnen Entwickler ermittelt.

Für die Hervorrufung des Bildes bei der schwächsten Belichtung erscheint der Entwickler am geeignetsten, bei dem die im Negativ schwärzlichen Streifen am weitesten gegen das unbelichtete Ende des Filmstreifens noch erkennbar bleiben. Dies war bei dem auch von der Firma Schleußner besonders empfohlenen Metolsodaentwickler der Fall. Die Streifenlänge betrug hier 20,2 mm, während sie beim Eisenoxalat nur den Wert von 12,6 mm hatte. Zwischen diesen beiden Extremen (und zwar zwischen 14,1 und 16,9 mm) liegen die Werte für die anderen Entwickler.

Ich verzichte auf Darstellung weiterer Einzelheiten, da für eine genauere Auswertung nicht genügend Versuche gemacht wurden. Jedenfalls habe ich seit jenen Beobachtungen für kurz exponierte Aufnahmen mich mit gutem Erfolg ausschließlich des Metolsodaentwicklers bedient, mit einer Entwicklungsdauer von 4—4¼ Minuten.

*) Nach Luther³⁾ ist die Wirkung des Fixiernatrons dadurch zu erklären, daß dasselbe Bromsilber löst, und dadurch auch indirekt solche Bromsilberteilchen reduziert werden können, welche nicht direkt in Berührung mit dem Silberkeim sind. „Sie (d. h. die Bromsilberteilchen) werden gelöst, die Silberlösung verbreitet sich nach allen Seiten und wird dort, wo sie auf den Silberkeim trifft, reduziert. Es wird also so zu sagen durch das Fixiernatron der Transport des Bromsilbers erleichtert“.

***) Der bei den folgenden Entwicklern empfohlene Zusatz von Natriumsulfit hat die Bedeutung, daß die Verbindungsgeschwindigkeit des Natriumsulfits mit Sauerstoff größer ist, als die der organischen Entwicklungssubstanzen, und dadurch die letzteren vor einer vorzeitigen Oxydation geschützt werden. Auf Bromsilber wirkt Natriumsulfit dagegen nur sehr wenig reduzierend ein, im Vergleich zur Reduktionswirkung der organischen Entwickler (Luther³⁾, S. 68).

Lösung B: Krist. kohlen-saures Natron*)	. . . . .	50 g
Aqua dest.	. . . . .	500 „

Man mischt für mehrfachen Gebrauch gleiche Teile von A, B und von Wasser. Gebräuchter Entwickler macht die Negative leicht härter und kontrastreicher und eignet sich nicht für unterexponierte Negative. Hier kann als Beschleuniger auf 100 cbcm Entwickler 2—3 Tropfen Ammoniaklösung 1:3 Verwendung finden.

3. Pyrogallol-Pottasche-Entwickler.

Lösung A: Aqua dest.	. . . . .	100 cbcm
Krist. schwefligsaures Natron	. . . . .	25 g
Konz. Schwefelsäure	. . . . .	3—4 Tropfen
Pyrogallol	. . . . .	10 g
Lösung B: Aqua dest.	. . . . .	200 cbcm
Kohlensaures Kalium	. . . . .	90 g
Neutrales schwefligsaures Natron	. . . . .	25 „

Man nimmt auf 100 cbcm Wasser 3 cbcm der Lösung A und 3 cbcm der Lösung B. Der Entwickler wirkt sehr energisch und die Entwicklung ist bereits in 2—3 Minuten beendet.

4. Hydrochinon-Entwickler.

Lösung A: Aqua dest.	. . . . .	900 cbcm
Natriumsulfit	. . . . .	40 g
Gelbes Blutlaugensalz	. . . . .	120 „
Hydrochinon	. . . . .	10 „
Lösung B: Aqua dest.	. . . . .	100 cbcm
Ätzkali	. . . . .	50 g

Es werden 60 cbcm von A mit 6 cbcm von B gemischt.

Das Bild erscheint in wenigen Sekunden und seine Entwicklung ist in einer halben bis einer Minute beendet.

5. Brenzkatechin-Entwickler.

Natriumsulfit.	. . . . .	100 g
Ätznatron.	. . . . .	14 „
Aqua dest.	. . . . .	300 cbcm

Hierzu wird die Lösung von 20 g Brenzkatechin in 100 cbcm Wasser zugesetzt.

Dieser gemischte Entwickler ist verkort lange haltbar, und man nimmt für die Entwicklung 1 Teil Stammlösung auf 15 Teile Wasser. Dieser Rapidentwickler soll sich besonders für zu kurz exponierte Platten eignen.

6. Rodinal-Entwickler.

Die Lösung von Paramidophenol kommt als konzentrierter Rodinalentwickler gebrauchsfertig in den Handel. In einer Verdünnung 1:20 werden die Negative rasch und kontrastreich entwickelt, wie es meist für die photographisch registrierten Kurven erforderlich ist.

7. Gemischter Metol-Hydrochinonentwickler.

Aqua dest.	. . . . .	1000 cbcm
Natriumsulfit	. . . . .	300 g
Krist. Soda	. . . . .	40 „
Pottasche	. . . . .	20 „
Hydrochinon	. . . . .	10 „
Metol	. . . . .	5 „

*) Der Zusatz eines Alkalis bei vielen organischen Entwicklern, wie Pyrogallol, Metol etc., beruht nach Luther darauf, daß sich diese Entwicklersubstanzen unter Säurebildung oxydieren und dadurch reduzierend auf das Bromsilber wirken. Nach den Grundsätzen der physikalischen Chemie wird diese Säurebildung durch Säurezusatz gehindert und umgekehrt durch Alkalizusatz begünstigt.

Der Entwickler wird speziell für die Eastmanfilms und für die Hervorrufung von Momentaufnahmen empfohlen. Für die Entwicklung der Schleußnerschen sehr empfindlichen Planfilms empfiehlt die genannte Fabrik:

8. Metol-Sodaentwickler.

Lösung A:	Aqua dest.	1000,0 cbcm
	Schwefligsaures Na	100,0 g
	Metol	10,0 „
Lösung B:	Aqua dest.	1000,0 cbcm
	Soda	100,0 g

Der aus gleichen Teilen von A und B gemischte Entwickler läßt das Bild in 4 bis 10" erscheinen. Und in 4—5' ist die Entwicklung beendet.

Standentwicklung.

Vielfach verwendet man auch zur Hervorrufung des Bildes sehr verdünnte Entwickler und läßt diese längere Zeit (1—12 Stunden) auf die Platten einwirken. Für Rodinal wird sogar empfohlen, eine Lösung von 0,5—2 cbcm in 1 l Wasser zu verwenden und in dieser mehrere Stunden zu entwickeln.

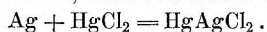
Diese Methode der Entwicklung, gewöhnlich als Standentwicklung bezeichnet, empfiehlt sich namentlich für Plattenserien, über deren richtige Exposition man nicht im klaren ist, da man bei dem langsamen Erscheinen des Bildes Expositionsfehler leichter durch Anwendung von Bromkalium bzw. eines konzentrierteren Rapidentwicklers korrigieren kann. Besonders wird der Standentwicklung nachgerühmt, daß durch sie Feinheiten in den hellsten Teilen „Spitzlichter“ besser zu erhalten sind, als bei der gewöhnlichen Entwicklungsmethode. Dagegen dürfte wohl die Annahme nicht zu recht bestehen, daß man bei unterexponierten Platten durch das genannte Verfahren wirklich dichtere Negative erhält als bei der Entwicklung durch einen guten Rapidentwickler.

Fixierbad.

Ein Teil unterschwefligsaures Natron wird in 3—4 Teilen Wasser gelöst und auf 1 Liter der Lösung 50 cbcm Sulfittlaugung oder etwas Natriumbisulfid in Substanz zugesetzt. Durch diese Ansäuerung des Fixierbades wird die Färbung der Gelatineschichten, wie sie in organischen Entwicklern leicht auftritt, beseitigt. Es gilt als Regel, namentlich bei Fixierung von leicht aneinander hängenbleibenden Films, reichliche Mengen der Lösung zu verwenden und eine häufige Erneuerung des Bades vorzunehmen. Auch ist es dringend zu empfehlen, vor Einlegen der Platten in das Fixierbad, dieselben gründlich abzuspülen. Nach dem Fixieren empfiehlt es sich, Films und Platten mindestens $\frac{1}{2}$ Stunde in fließendem Wasser zu waschen. Hierbei kann es bisweilen vorkommen, daß die Films auf der empfindlichen Schicht Kratzlinien oder Risse bekommen, ja eventuell solche bei gleichzeitiger Entwicklung und Fixierung mehrerer Films schon in diesen Bädern erhalten. Diese sind nach einer privaten Mitteilung von Herrn Dr. v. Brücke häufig dadurch bedingt, daß die Ecken der Films beispielsweise zur Befestigung auf Holztrommeln mit Reißzwecken durchbohrt werden. Bei dieser Perforierung entstehen aber an dem Lochrand spitze Zacken des Celluloids, die jene Wirkung herbeiführen. Abschneiden der Ecken, an denen gewöhnlich die Löcher sich befinden, beseitigt die genannte Fehlerquelle.

Verstärker.

Sublimat 2 g, Bromkalium 2 g, Wasser 100 cbcm. In dieser Lösung bleiben die Negative, wenn eine sehr weitgehende Verstärkung gewünscht wird, bis das Bild durch und durch weiß geworden ist. Hierbei tritt eine Reduktion des Quecksilbers zu Kalomel und eine Bildung von Chlorsilber ein, bzw. soll Silbermerkurochlorid entstehen:



Man bringt nun nach dem Auswaschen die Platte in eine Lösung von Natriumsulfid 1:8. In dieser erfolgt in der Hauptsache eine Reduktion des Chlorsilbers zu Silber, des

Kalomels zu Quecksilber. An Stelle der Reduktion durch Natriumsulfit kann man auch nach gründlichem Wässern der in einer Sublimatlösung verstärkten Platte durch eine verdünnte Ammoniaklösung eine Schwärzung erzielen. Hierbei sollen sich mehrere komplizierte Verbindungen bilden, wie NH_2AgHgCl und NHAgHg_2Cl . Da hierbei sehr leicht nach ungenügendem Waschen und Fixieren etc. Flecken entstehen, ist die erstere Methode mit Sulfit empfehlenswerter.

Abschwächer.

Man setzt einer neutralen Lösung von unterschwefligsaurem Natrium auf 100 cbcm 5–10 cbcm einer 5–10%igen Lösung von rotem Blutlaugensalz zu. Die Abschwächung beruht nach Eder¹⁾ darauf, daß sich Ferrocyansilber bildet, welches sich im Fixieratron löst.

Behandlung von Films und Bromsilberpapieren.

Es empfiehlt sich, vor der Entwicklung, namentlich bei etwas längeren Streifen, die Films und Papierbänder zunächst durch ein größeres Gefäß mit Wasser zu ziehen, und sie dann erst in den Entwickler zu bringen. Hier kann man die gleichmäßige Benetzung bei längeren Streifen durch ein periodisches Durchziehen durch das Bad begünstigen, oder bei sehr langen Streifen kann man auch, wie bei den Kinematographenfilms, einen besonderen Entwicklungsapparat benutzen, bei dem der Streifen spiralig aufgewunden auf der Schichtseite überall der Entwicklungslösung zugänglich bleibt. Noch einfacher ist die Benutzung leichter viereckiger Holzrahmen, die an 2 gegenüberliegenden Längsseiten eine Reihe Stifte aus Celluloid tragen, deren Entfernung etwas größer ist, als die Breite des Films. Die Stifte stehen senkrecht zur Rahmenebene und ragen beiderseits etwa 1 cm hervor. Ihre Befestigung geschieht durch oberflächliche Auflösung des Celluloids mit Aceton. Derartige Rahmen finden z. B. auch im Institut Marey Verwendung. Abbildungen derartiger Rahmen siehe bei Liesegang⁵⁾ S. 278/79.

Die Streifen werden am besten nach Vollendung der verschiedenen Prozeduren an kleinen federnden Klammern angehängen und unten beschwert, oder auch mit der Rückseite auf ein mit Filtrierpapier überzogenes Brett aufgezweckt. Sollten sich die Films, wie es namentlich bei älteren Fabrikaten der Fall war, stark einrollen, so verwendet man vor dem Trocknen ein Glycerinbad von Glycerin 30 cbcm, Alkohol 300 cbcm, Aqua dest. 500 cbcm.

2. Der Positivprozeß.

Die gebräuchlichsten, für direktes Auskopieren mit Silbersalzen imprägnierten Papiere lassen sich einteilen in: Albuminpapiere, Chlorsilbergelatineemulsionspapiere (Aristopapiere), Chlorsilberkollodiumpapiere (Celloidinpapier). Für die Reproduktion von Kurven und dergl. ist es wichtig zu wissen, daß gewisse Zusätze die Kopien kontrastreicher machen, d. h. die dunklen Teile des Bildes unverhältnismäßig schwarz wiedergeben, während die helleren Teile des Bildes nahezu rein weiß bleiben. Hierhin sind zu rechnen: Zitronensäure, Weinsäure, Chromsäure und die Chromate*). Es soll die Wirkung darauf beruhen, daß der Zerfall des Silbersubchlorids in Ag, nicht aber der Zerfall des AgCl in Silbersubchlorid beschleunigt wird. Es wird hierdurch gewissermaßen die Schwelle für die Lichtwirkung erhöht.

Sollen Kurven nach Silberkopien vervielfältigt werden, so ist es nicht gleichgültig, ob man die Kopien auf Mattpapier oder auf glänzenden Papieren herstellt. Da Mattpapier relativ viel Licht diffus von der Oberfläche reflektiert, muß, um eine gleiche Schwärzung wie bei einem glänzenden Papier zu erhalten, viel mehr Silber in den dunklen Teilen reduziert werden, als bei den Papieren mit glatter Oberfläche.

Das Tönen der Kopien.

Um den Farbenton der Silberbilder zu verbessern, bringt man die Kopien in eine Goldlösung. Hierbei werden die Silberteilchen durch Goldteilchen ersetzt. Während

*) Vergl. z. B. die käuflichen „Rembrandtpapiere“.

man früher diesen Tonungsprozeß vor der Fixierung vornahm, werden jetzt meist beide Vorgänge in einem einzigen Bad (Tonfixierbad) bewirkt, doch hat, wie auch Eder betont, die Verwendung eines kombinierten Tonfixierbades meist eine geringere Haltbarkeit der Bilder zur Folge. Es sei deswegen zunächst auch ein von Eder angegebenes Rezept für getrennte Tonung und Fixierung angeführt.

Man stellt sich 3 Stammlösungen her:

Lösung A: Geschmolzenes Natriumazetat 1:50,

Lösung B: Rodanammium 1:50,

Lösung C: Chlorgold 1:100.

Für Aristopapier nimmt man 100 cbcm Lösung A, 100 cbcm Wasser, 20 cbcm Lösung C und nach längerem Stehen der Mischung 200 cbcm Lösung B.

Für Celloidinpapier verwendet man 100 cbcm von Lösung A, 6 cbcm von Lösung B und ebenfalls nach längerem Stehen setzt man 25 cbcm der Lösung B zu.

Wenn in diesem Bade die Kopien den gewünschten Farbenton erreicht haben, so werden sie in einer Lösung von unterschwelligsaurem Natron 1:10 fixiert. Man soll mindestens, damit die Fixierung vollständig ist, auf einen Bogen Papier 50 g Fixiernatron oder $\frac{1}{2}$ Liter Fixierbad 1:10 rechnen. Nach dem Fixieren werden die Bilder etwa 2 Stunden in fließendem Wasser gewaschen. Will man auf Kosten der Haltbarkeit rasch arbeiten, so sei von den zahllosen Tonfixierbadrezepten folgendes empfohlen.

In 500 cbcm heißem Wasser werden 200 g Fixiernatron, 25 g Rodanammium, 30 g Alaun gelöst und 40 cbcm einer 10%-igen Lösung von Bleiazetat zugesetzt. Nach Absetzen und Filtrieren mischt man 100 cbcm Lösung mit 100 cbcm Wasser und 7 cbcm Chlorgoldlösung 1:100.

Für Darstellung von Kurven*) empfiehlt es sich, zur besseren Wiedergabe der feinen Einzelheiten, das Papier nicht frei hängend nach dem Wässern trocknen zu lassen, sondern naß auf glänzend lackierten Eisenplatten, Spiegelplatten oder Ebonitplatten aufzuquetschen, nachdem man die Platten vorher mit einer Auflösung von Wachs in Äther eingerieben hat. Insbesondere kommt das für das Aristopapier in Betracht.

Will man rasch größere Mengen von Kopien herstellen, so empfiehlt sich die Verwendung von reinem Bromsilberpapier mit Entwicklung, oder das Kopieren auf den weniger lichtempfindlichen Positivpapieren Lenta und Velox, welche ein Gemisch von Chlor- und Bromsilber in ihrer Schicht enthalten. Die Behandlung dieser Papiere entspricht ganz dem Negativprozeß, auch erhält ja der Käufer solcher Papiere die nötigen Gebrauchsanweisungen.

Sollen photographische Kurven zur Projektion Verwendung finden, so wird man, wenn die Originalkurven selbst nicht verwendet werden dürfen, diese am besten auf Chlorsilbergelatineplatten kopieren, welche sich wegen der Feinheit ihrer Zeichnung und ihrer Brillanz besonders als Diapositivplatten zur Projektion eignen. Die Belichtung der Chlorsilbergelatineemulsion muß mindestens 40-mal länger dauern, als bei Bromsilber. Im übrigen ist die Behandlung dieser Diapositivplatten der der Bromsilberplatten analog.

*) Anmerkung. Nach O. Frank (Arch. f. Anat. u. Physiol. 1894) lassen sich auch die auf Ruß geschriebenen Kurven im Kopierrahmen sehr gut kopieren, sei es auf Auskopierpapier, sei es auf Bromsilberpapier oder -platten (mit Entwicklung). Besonders in letzterem Falle können bei zarter Berührung die erhaltenen Kurven das Original an Deutlichkeit übertreffen. Übrigens erwähnt Frank, daß auch bereits von Funke und Heidenhain 1860 für die auf Glas geschriebenen Myogramme ein analoges Druckverfahren Verwendung fand.

II. Photographie von Reihen einzelner Bewegungsphasen. *)

Wie Marey ⁶⁾ in seinem „Développement de la méthode graphique. Paris 1885“ schildert, hat zuerst der Astronom Janssen ⁷⁾ 1876 mit seinem „Revolver astronomique“ auf einer in Intervallen um einen bestimmten Winkel gedrehten Platte eine ganze Serie von Aufnahmen vorgenommen. Während es sich bei ihm um Aufnahmen in Zwischenzeiten von 70" handelte, bei denen auch die Expositionszeit hinreichend lang genommen werden konnte, ist zur Registrierung einzelner Bewegungsphasen bei den lebenden Organismen meist eine viel kürzere Expositionszeit und ein viel kürzeres Intervall zwischen den einzelnen Aufnahmen erforderlich. Solche Aufnahmen waren bei der viel geringeren Empfindlichkeit der nassen Platte noch nicht durchführbar. Immerhin wies Janssen (l. c. S. 105) schon auf die Möglichkeit einer späteren weitgehenden Verwendung hin, und betonte, daß seine Methode die Umkehrung des Phenakistokopes darstellte.

Bereits vor Janssen gelang es, **einzelne Bewegungsphasen**, die sich in gleicher Weise immer wiederholten, im Bilde festzuhalten. So haben Onimus und Martin ⁸⁾ photographische Aufnahmen des schlagenden Kaninchen- und Schildkrötenherzens gemacht. Wird in einem solchen Falle länger exponiert, so werden, da die extremen Lagen bei der Systole und Diastole immer wieder nahezu dieselben sind, sich die betreffenden Grenzlinien des Herzens scharf markieren, während natürlich alle anderen Einzelheiten des Objektes verwaschen bleiben.

Erst mit der Einführung der hochempfindlichen Trockenplatten wurde es möglich, sich bewegende Menschen oder Tiere in kurzen Zeitintervallen einwandsfrei aufzunehmen. Schon 1882 wurden die von Muybridge ⁹⁾ auf Veranlassung von Stanford aufgenommenen Bilder vom Pferde im Gange mitgeteilt. Er umging die bis in die neueste Zeit bestehende Schwierigkeit der raschen und stoßweisen Plattenbewegung zwischen den einzelnen Aufnahmen dadurch, daß er eine ganze Batterie von photographischen Apparaten nebeneinander aufstellte, die auf elektrischem Wege zeitlich nacheinander in Tätigkeit gesetzt wurden. Das sich bewegende Individuum zerriß bei seinem Vorwärtsschreiten feine Drähte, die mit den Elektromagneten der Kontakte für die Momentverschlüsse der einzelnen Apparate in Verbindung standen. Die Expositionszeit soll bis $\frac{5}{1000}$ " betragen haben (vgl. Stillmann ⁹⁾), der die Versuche Muybridges schildert), doch werden entsprechend der ungleichmäßigen Fortbewegung die Drähte nach verschiedenen Zwischenzeiten zerrissen, und damit die einzelnen Aufnahmen nicht in gleichen Intervallen aufgenommen.

Im gleichen Jahre teilte auch Marey ¹⁰⁾ bereits seine ersten gelungenen Aufnahmen von einzelnen Bewegungsphasen der Pariser Akademie mit.

*) Bei der Bearbeitung des folgenden Abschnittes war es mir von großem Werte, daß ich durch das Entgegenkommen der Königlichen Sächsischen Staatsregierung für die Pfingstferien 1909 den sächsischen Arbeitsplatz im Institut Marey, Boulogne s. Seine erhielt und hier die grundlegenden Apparate Mareys und seiner Schüler sowie in der reichhaltigen Bibliothek die einschlägige Literatur kennen lernen konnte. Außer der Königl. Sächs. Staatsregierung sei insbesondere aber auch der Direktion des Instituts, Herrn Prof. Kronecker, Weiss, Dr. Bull und Noguès für die Bereitwilligkeit gedankt, mit der sie mir alle Mittel des Instituts zugänglich machten.

Bei diesen Versuchen befand sich die weißgekleidete Person vor schwarzem Grunde. Während sich dieselbe bewegte, wurden von ihr auf feststehender photographischer Platte eine Reihe von Aufnahmen dadurch gewonnen, daß durch die Ausschnitte einer rotierenden Scheibe nur in bestimmten Intervallen die Platte sehr kurz belichtet wurde. Auch deutet Marey¹¹⁾ bereits die Methode an, die Kurve, die z. B. beim Gang ein bestimmter Punkt des Körpers beschreibt, dadurch kenntlich zu machen, daß dieser Punkt durch weiße Farbe besonders hervorgehoben wird. Außerdem ist hier schon das unten näher zu besprechende Prinzip entwickelt, durch geeignete periodische Unterbrechungen eine solche Kurve in eine Punktreihe zu zerlegen, bei der die Abstände der Punkte zugleich als Maß für die Geschwindigkeit dienen könnten, bei bekannter Frequenz der Periode.

Ferner hat Marey¹²⁾ 1882, ermutigt durch die 1881 auf seine Veranlassung von Muybridge vorgenommenen, wohl gelungenen Momentaufnahmen der Vögel im Flug, die sogenannte photographische Flinte konstruiert, mit der es ihm gelang, Vögel im Flug in einzelnen Bewegungsphasen zu erfassen. Der nach dem Janssenschen Prinzip gebaute Apparat enthielt eine polygonale oder runde Trockenplatte, die mit Hilfe eines durch Uhrwerk getriebenen Exzentrers ruckweise einmal in der Sekunde eine ganze Umdrehung ausführte. Hierbei wurde sie 12 mal in der Sekunde arretiert, und in diesen Momenten passiert das Fenster einer zweiten Metallscheibe, die sich 12 mal in 1" umdreht, die Objektivöffnung. Die Expositionszeit für jede Aufnahme betrug hierbei $\frac{1}{200}$ " (an anderen Stellen $\frac{1}{900}$ ""). Es stellte sich aber heraus, daß zur Fluganalyse die Zahl der Bilder in einer Sekunde zu gering war.

Eine gewisse Hilfe bot hier ein dem stroboskopischen Prinzip ähnliches Verfahren¹³⁾, um die einander sehr rasch folgenden Phasen des schwingenden Flügels zu erhalten: Wurden beispielsweise vom Vogel 8 Flügelschläge in 1" gemacht, und erfolgten die Aufnahmen in Zwischenzeiten von $\frac{1}{8}$ ", so würde jedesmal der Flügel in der gleichen Phase wieder aufgenommen werden. Eine geringe Verlangsamung des Aufnahmeapparates gibt dann aber die einander rasch folgenden Bewegungsphasen wieder, vorausgesetzt, daß der Flugapparat zeitlich präzise genug arbeitet.

Eine Steigerung der Leistungsfähigkeit der Apparate mit bewegter Platte wurde durch den Umstand vereitelt, daß sich rasche Vorwärtsbewegung der Platte und rasches Halten während der Aufnahmen selbst technisch schwer durchführen läßt. Erst in neuerer Zeit ist durch die Anwendung der leichten und widerstandsfähigen Films in dieser Richtung ein wesentlicher Fortschritt erzielt worden. Zunächst suchte man bei den sehr kurzen Expositionszeiten die Arretierung ganz wegzulassen, doch ergab sich, daß dann die Schärfe des Bildes durch die Bewegungen der Platte zu sehr beeinträchtigt wurde. Wäre es möglich, die Expositionszeit auf einen fast unendlich kleinen Bruchteil einer Sekunde herunterzudrücken, so wäre es natürlich gleichgültig, ob sich die lichtempfindliche Fläche während der Aufnahme in Ruhe oder Bewegung befindet.

Neuerdings hat nun Bull¹⁴⁾ diese Aufgabe nahezu gelöst, indem er beim Photographieren des Insektenfluges die elektrischen Funken mit ihrer außerordentlich kurzen Dauer zur Beleuchtung verwendete. Ferner wurden von

Londe, Muybridge und Marey Versuche unternommen, mit einer Objektivreihe, also mit feststehenden Platten, eine Zahl von Bildern in kurzem Intervall aufzunehmen. So brachte Marey es beispielsweise dahin, sechs Bilder in $\frac{1}{10}$ " zu erhalten, so daß also zwischen jeder Aufnahme von $\frac{1}{1000}$ " noch nicht $\frac{1}{60}$ " dazwischen lag. Der Nachteil, abgesehen von der beschränkten Bilderzahl, liegt auch hier wie bei den älteren Aufnahmen von Muybridge in der Veränderung des Standpunktes, wie es die Verwendung verschiedener Objektive (Londe verwendete bis zu 16 Objektive) mit sich bringt.

Wesentlich bessere Resultate konnte Marey zunächst bei seiner schon oben kurz erwähnten Chronophotographie mit feststehender Platte erhalten. Eine deutliche mehrfache Abbildung desselben Objektes auf einer solchen ist nur dann möglich, wenn der ganze Hintergrund vollständig schwarz ist, und das Objekt leuchtend hell sich bei seiner Fortbewegung auf verschiedenen Teilen der Platten nacheinander abbildet, und die Expositionszeit jedesmal so kurz bemessen wird, daß eine wesentliche Verschiebung des Bildes auf der Platte während der Belichtung nicht eintritt. Man bezeichnet gewöhnlich ein Bild als unscharf, wenn die Verschiebung der Konturen mehr als 0,1 oder 0,2 mm beträgt (vgl. z. B. Hürthle¹⁵). Man kann, was hier nebenbei bemerkt sei, dann leicht, wenn die Brennweite des Objectives bekannt ist, aus der Bewegungsgeschwindigkeit des Objectes die eben noch zulässige Expositionszeit berechnen.

Die Anordnung für eine derartige Mehrfachaufnahme ist verhältnismäßig einfach. Zwischen Objectiv und Platte wird eine mit dem Schlitz versehene Scheibe angebracht, die mit einer bestimmten Geschwindigkeit rotiert. Jedemal wenn der Ausschnitt zwischen Objectiv und Platte vorbeigeht, wird die Platte für einen Augenblick belichtet. Wie insbesondere Weiss^{*)} ¹⁶⁾ hervorgehoben hat, ist es durchaus nicht gleichgültig, ob die Scheibe direkt hinter dem Objectiv oder direkt vor der photographischen Platte angebracht ist. Die Anbringung hinter dem Objectiv hat den Nachteil, daß während der ganzen Zeit der Spalt passage vor einem Objectivteil eine Belichtung der Platte erfolgt, dabei aber das Objectiv selbst, wenn der Spalt nicht sehr weit ist, nie vollständig ausgenutzt wird. Das durch die Randteile des Objectives gehende Licht trägt ebensoviel, wie das Licht, welches das Zentrum des Objectives passierte, zur Bilderzeugung bei, obgleich optisch der letztere Anteil viel höher zu bewerten ist. Liegt dagegen der Spalt direkt vor der Platte, so wird, solange der Spalt eine Plattenstelle freigibt, das Licht der vollen Objectivöffnung den Plattenteil treffen, also in der kurzen Zeit, in der sich der Spalt bei dieser Anordnung um seine eigne Breite verschiebt. In diesem letzteren Falle, der hinsichtlich der Belichtung und Schärfe der Bilder der günstigere ist, kommt andererseits der Fehler in Betracht, daß die verschiedenen Teile einer Aufnahme auf der Platte, entsprechend dem zeitlichen Wandern des Spaltes nie ganz gleichzeitig aufgenommen sind. Diese letztere Anordnung ist nach Weiss wegen der Bildschärfe oft vorzuziehen. Der Momentverschluß würde natürlich am richtigsten arbeiten, wenn

*) Die im folgenden noch mehrfach zitierte Abhandlung von Weiss ist mir für die Darstellung der Kinematographie oft von Nutzen gewesen. Manche Einzelheiten, die von Weiss behandelt wurden, konnten, da die Ergebnisse der Physiologie dem Leser ja meist zur Hand sind, hier übergangen werden.

er in einem praktisch unendlich kleinen Zeiteilchen den größten Teil der Objektivöffnung frei gäbe, für eine kurze Zeit beispielsweise $\frac{1}{1000}$ '' offen bliebe und dann wieder in einem praktisch unendlich kleinen Zeiteilchen vollkommen abdeckte.

Neben dieser Anordnung des Apparates ist es ferner zur Aufnahme derartiger Photogramme nur erforderlich, durch Herstellung eines mit schwarzem Sammet ausgekleideten Hohlraumes, in den direktes Sonnenlicht nicht hineinfallen darf, einen möglichst rein schwarzen Hintergrund zu erzielen. Ferner muß das bewegte Objekt möglichst hell sein (Läufer in weißem Trikot). Um zuverlässig die Intervalle zwischen den einzelnen Expositionszeiten zu messen, verwendete Marey einen mit bestimmter Geschwindigkeit sich drehenden weißen Zeiger auf schwarzem Grunde (vergl. Fig. 1). Ferner wurde direkt vor der Bahn der Fortbewegung

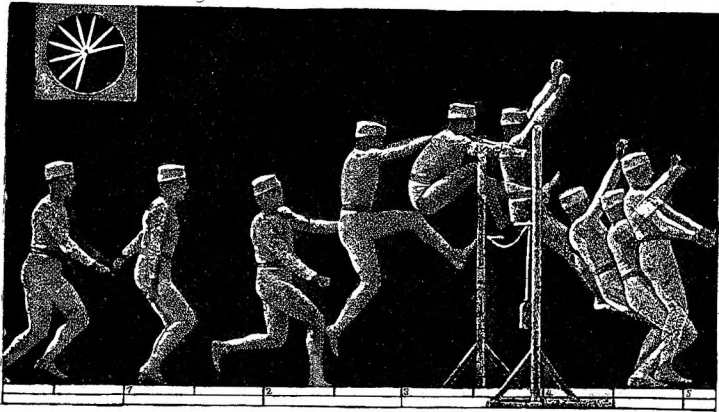


Fig. 1.

Aufnahme eines Springers auf feststehender Platte. (Aus Marey, Développement de la méthode graphique. Supplement 1885 Paris, Masson.)

ein schwarz und weißer Maßstab angebracht, so daß das Ausmaß der Bewegung sich ohne weiteres feststellen läßt. Voraussetzung für das ganze Verfahren ist, daß die Geschwindigkeit der Fortbewegung so groß ist, daß die zeitlich sich folgenden Bilder auf hinreichend verschiedene Plattenstellen fallen. So versagt z. B. die Methode bei dem bekannten beistehenden Bilde des Springers für den Zeitpunkt, wo das betreffende Individuum in den Ruhezustand übergeht.

Ein wesentlicher Fortschritt bei dieser Methode wurde von Marey dadurch erzielt, daß er auf die Wiedergabe des ganzen Individuums verzichtete und entweder nur die eine Hälfte, oder noch besser (Methode von Demeny) einzelne Punkte durch weiß markierte, die sich dann allein, auch bei relativ langsamer Fortbewegung, deutlich abhoben. Bei dieser Methode der partiellen Photographie (oder wenn sich die Aufnahmen auf einzelne Punkte und Linien beschränken „Chronographie géométrique“, wie sie Marey nannte, ist es erforderlich, alle übrigen Teile vollständig zu schwärzen (schwarzer Trikot), so daß von dem Objekt nur charakteristische weiße Punkte

und Linien auf dem Bilde sichtbar bleiben. Nach diesem Prinzip sind später auch die für die Ermittlung des Ganges vom Menschen wohl vollkommensten Versuche von Braune und Fischer¹⁷⁾ ausgeführt worden.

Wie bei jeder Untersuchung von Naturerscheinungen ist auch hier die ein weiteres Verständnis anbahnende Verzeichnung des menschlichen Ganges erst dadurch gewinnbringend geworden, daß man zunächst von dem Nebensächlichen abstrahierte und gewissermaßen „schematisch“ den Vorgang aufzeichnete. Da die Methode von berufener Feder schon in einem anderen Kapitel dieses Werkes geschildert wurde, sei hier nur auf den methodischen Fortschritt hingewiesen, den jene Untersuchung geliefert hat. Statt der zahlreichen weißen Streifen etc. trug die Versuchsperson eine große Zahl Geisslerscher Röhren, die charakteristischen Punkten der Extremitäten, des Rumpfes und des Kopfes entsprachen. Mittels eines Induktors konnten sämtliche Röhren zum gleichzeitigen Aufleuchten gebracht werden und zwar bei dem benutzten Stimmgabelunterbrecher 26,09 mal in 1". Infolge des chemisch sehr wirksamen Lichtes der mit Stickstoff gefüllten Geissleröhren hoben sich die einzelnen Aufnahmen der charakteristischen Punkte außerordentlich scharf von dem dunklen Grunde — die Aufnahmen wurden in einem vollständig verfinsterten Raume vorgenommen, — ab. Da das Intervall der Funkenunterbrechungen bekannt war, ließen die Aufnahmen auch eine genaue zeitliche Auswertung zu. Für die räumliche Ausmessung diente ein aus weißen Fäden gebildetes Koordinatensystem, das am Schluß der Versuche an Stelle der Versuchsperson auf derselben Platte photographiert wurde. Da ferner durch eine einzige Aufnahme aus einer Richtung die räumliche Verlagerung noch nicht zu ermitteln ist, wurde die Versuchsperson, was bei Benutzung der nach verschiedenen Richtungen gleichmäßig strahlenden Geisslerschen Röhren keine Schwierigkeiten bot, gleichzeitig in vier verschiedenen Richtungen, also gleichzeitig mit vier verschiedenen Apparaten aufgenommen.

In gewisser Hinsicht ähnlich, wenn auch viel weniger vollkommen, hatten schon früher Quénu und Démeny den Gang des Hinkenden untersucht. Der im dunkeln Raum Gehende trug eine Reihe Glühlampen, die sich auf der feststehenden Platte als Linien verzeichnen würden. Um aber die einzelnen Phasen der Bewegung voneinander zu trennen, ließen die genannten Forscher eine mit 5 Ausschnitten versehene Scheibe hinter dem Objektiv rotieren, so daß die von jeder Glühlampe gezogenen Lichtlinien auf dem Bilde in einzelne Punkte zerlegt wurden. Da außerdem jeder fünfte Ausschnitt die doppelte Breite besaß, hob sich durch die stärkere Belichtung jede 5. Phase deutlich von den übrigen ab, was die Analyse der Kurven noch erleichterte (vergl. z. B. auch Marey¹²⁾). Das gleiche Prinzip wurde auch von Marey selbst 1885 angewandt. So zeigt Fig. 2 den Fall einer leuchtenden Kugel vor schwarzem Grund. Die sonst sich nur als Kurve aufzeichnende fallende Kugel ist durch eine rotierende Scheibe mit 10 Ausschnitten in Teilbilder zerlegt. Da jeder 10. Ausschnitt doppelt so weit ist, als die übrigen, lassen sich die zeitlichen Verhältnisse leichter auswerten. Zur Kontrolle der Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe kommt entweder der sich mit bekannter Geschwindigkeit drehende weiße Zeiger auf dunkeln Grund in Betracht, oder die Verzeichnung der Umdrehungszahl der Scheibe erfolgt mittels Luftübertragung in bekannter Weise auf ein Kymographion. Zur weiteren Messung

dient hier auch schon ein zunächst flächenhaft ausgedehntes Koordinatensystem, dadurch erhalten, daß ein rechteckiger Rahmen mit weißen, in bestimmten Abständen gespannten Fäden dicht vor der Bahn des fallenden Körpers mitphotographiert wird. Braune und Fischer haben auch diese Methode, wie an anderem Ort dieses Werkes beschrieben wurde (S. 288 u. 291) für ihre Aufnahmen angewendet, und zwar wurde von ihnen eine mit Asphaltlack überzogene Glastafel mit eingeritztem Koordinatennetz genau an die

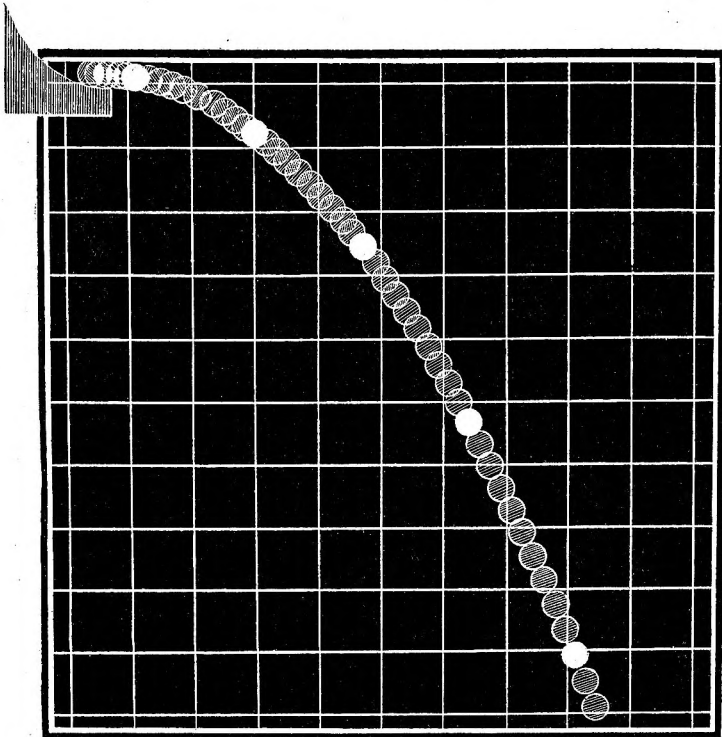


Fig. 2.

Chronographische Kurve eines fallenden Körpers, der vor dem Fall eine Beschleunigung in horizontaler Richtung erhalten hat. (Aus Marey, Développement de la méthode graphique. Supplement. Masson. Paris 1885.)

Stelle der Versuchsperson gebracht und das mit durchfallendem Licht beleuchtete Koordinatennetz aufgenommen.

Marey konnte die anfangs von ihm selbst durchgeführte Methode der Photographie auf bewegter Platte, die er wegen technischer Unvollkommenheiten aufgegeben hatte, neuerdings, seit dem Aufkommen der Celluloidfilme mit großem Erfolg durchführen, und er betont noch 1901¹⁸⁾, daß die Photographie auf bewegter Platte eine viel allgemeinere Anwendung finden könnte, da man ja nicht mehr auf den schwarzen Hintergrund angewiesen sei. Der Nachteil, der darin bestünde, daß man die einzelnen Aufnahmen nicht direkt miteinander vergleichen könnte, ließe sich dadurch umgehen, daß man bei

genau gleicher Orientierung der Aufnahmen die Bilder projizierte und die Konturen aufzeichnete. Schon 1901 waren die zur Aufnahme konstruierten Apparate so weit fortgeschritten, daß man bis 110 Aufnahmen pro Sekunde auf das Film machen konnte. Das Verfahren, auf beweglichem Filmstreifen, der periodisch während jeder Aufnahme angehalten wurde, Reihen von Momentaufnahmen vorzunehmen, wurde von ihm bereits 1894 beschrieben.*) Die größte Bilderzahl in 1 Minute (140) erreichte Athanasiu¹⁹⁾ mit seiner Anordnung. Dieser Forscher ließ das Film durch zwei gegeneinander rotierende Walzen verschieben. Da auf einer der Walzen in gleichen Abständen

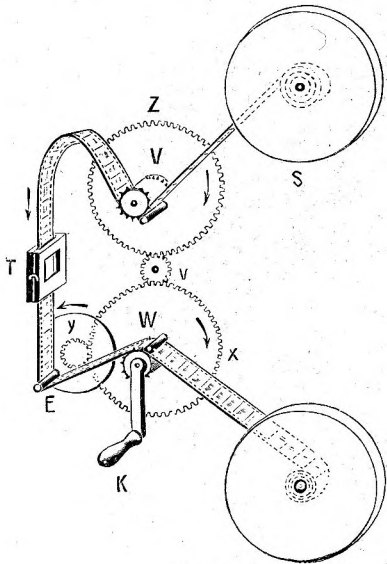


Fig. 3.

Aus Liesegang, Handbuch der praktischen Kinematographie. Verlag Ed. Liesegang, Leipzig 1908.

wenn umgekehrt, nach der Herstellung eines entsprechenden Diapositivstreifens dieser projiziert wird, werden die auf dem Bilde fixen Gegenstände keine Ortsveränderung zeigen. Die Mechanik der einzelnen kinematographischen Aufnahmeapparate hier zu beschreiben, würde zu weit führen, da sie alle, abgesehen von kleineren Verschiedenheiten nach dem gleichen Prinzip gebaut sind: Vorwärtsbewegung des Filmstreifens mittels eines durch Exzenter bewegten Transporteurs oder dergl., periodisches Festhalten des Streifens in bestimmter Lage während der meist sehr kurzen Exposition, die auch hier durch eine rotierende Scheibe mit entsprechendem Ausschnitt besorgt wird. Liesegang⁵⁾ charakterisiert die 3 Haupttypen der Verschiebungsmethoden in folgender Weise. „Bei der ersten erfolgt die

Kreissegmente abgefeilt sind, diese Walze also Vorsprünge und Vertiefungen besitzt, erfolgt das Verschieben des Films stoßweise. Da das Film oberhalb der Walzen unter mäßiger Pressung in einem Rahmen vor dem der Exposition dienenden Fenster vorbeigeführt wird, so tritt auch jedesmal, wenn eine Vertiefung der einen Walze der glatten Walze gegenübersteht, sofort Stillstand der Filmbewegung ein. Jeder derartige Moment dient der Exposition. Ein Nachteil der Methode liegt nur darin, daß die Bilder zu Projektionszwecken nicht genügend äquidistant sind. Die gerade für die Projektion erforderliche genaue Bewegung der Filmbänder in den neueren Aufnahmeapparaten ist an die Idee Edisons und Lumières geknüpft, die Streifen am Rande oder in der Mitte in regelmäßigen Abständen zu perforieren. Durch die in die Perforationsöffnungen eingreifenden Zähne eines hin- und herschwingenden Rahmens, oder dergl. ist ein gleichmäßiger Transport der Filmstreifen gesichert, und

*) Die bei den Tageslichtfilms jetzt allgemein verbreitete Methode, die Enden der Films durch Ankleben von schwarzen Papierstreifen noch zu verlängern, und damit in zusammengerolltem Zustand vor Licht zu schützen, ist bereits von Marey 1894 angegeben.

Weiterbewegung des Filmbandes durch eine ruckweise bewegte Walze, bei der zweiten wird der Film mit Hilfe eines Exzentrers vorwärts geschlagen oder gestoßen und bei der dritten wird der Film durch Greifer weitergezogen.“ In dem zitierten Buch sind die verschiedenen Anordnungen durch gute schematische Abbildungen veranschaulicht.*)

Weniger zu Studien, als zu Lehrzwecken und zu anschaulichen Vorführungen finden die Kinematographen mit Projektion, bzw. subjektiver Beobachtung der Diapositivserien Verwendung. Um die Helligkeit der Projektionsbilder zu erhöhen, nimmt man hier als Momentverschluß meist eine rotierende Scheibe mit wesentlich größerem Ausschnitt, als bei der Aufnahme. Natürlich darf der Ausschnitt nur eine derartige Größe haben, daß das Film während der ganzen Expositionszeit in Ruhestellung verharret. In gewissen Fällen kann eine derartige kinematographische Darstellung einen, wegen zu großer Geschwindigkeit oder Langsamkeit für uns schwer übersehbaren Bewegungsvorgang besser veranschaulichen. So wird z. B. mit Hilfe

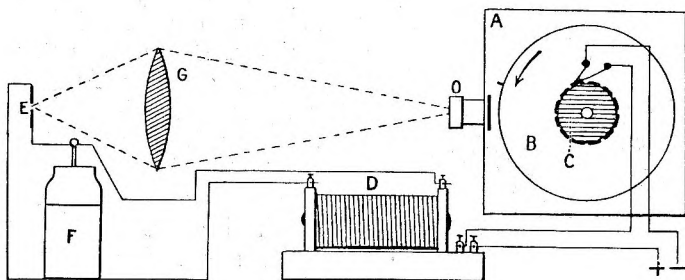


Fig. 4.

Schematische Seitenansicht der Anordnung von Bull für die photographische Registrierung des Insektenfluges. (Aus: Travaux de l'Association de l'Institut Marey. Paris 1905, Masson.)

einer von Athanasiu¹⁹⁾ beschriebenen Einrichtung die Eröffnung einer Blume in 16 Photographien, die innerhalb einer Stunde aufgenommen waren, veranschaulicht, die man sich kinematographisch in etwa 1" vor Augen führen könnte. In ähnlicher Weise würden die langsamen Formenänderungen eines Leukozyten durch entsprechende Verkürzung der Zwischenzeiten bei der Projektion ohne weiteres als Bewegungen wahrgenommen werden.

Eine besonders schwierige Aufgabe für die photographische Registrierung ist der Flug der Insekten. Bei ihren 3—400 Bewegungen der Flügel in 1" sind weit über 1000 Aufnahmen pro Sekunde notwendig, um die einzelnen Phasen festzuhalten. Wie schon oben erwähnt, hat Bull diese Aufgabe recht

*) Auf Marey und Demeny geht beispielsweise eine zum Typus II gehörige Konstruktion zurück, die aus folgenden Hauptteilen besteht. Das perforierte Filmband (Fig. 3) läuft von der Rolle S über die beiden Zahnräder V und W, die miteinander verkoppelt sind, und sich mit gleicher Geschwindigkeit drehen. Zwischen ihnen passiert es eine Führung T, in deren Mitte sich das Fenster befindet. Der Exzenter E, der sich beispielsweise 8 mal so rasch umdreht, als die Zahnräder, zieht jedesmal eine Schleife Film nach abwärts, was ohne Zerrung möglich ist, da sich bei V immer etwas Film in Vorrat abwickelt. Dementsprechend wird das Film bei P eine kurze Zeit von W nicht vorwärts gezogen werden, da durch E ein Stück Film abgewickelt war. In diesem Moment erfolgt die Belichtung. Der Apparat wird jetzt von Gaument hergestellt.

befriedigend gelöst. Er benutzt den zwischen 2 Magnesiumelektroden überspringenden Induktionsfunken als Lichtquelle, dessen Licht durch 2 Kondensoren G (vergl. Fig. 4) auf das Objektiv O geworfen wird. Das Insekt wird hinter der zweiten Kondensorlinse G fliegen gelassen und die Entfernungen sind so eingestellt, daß ein scharfes Bild des Objektes auf der bei A sichtbaren Holztrommel entsteht. Die Holztrommel ist auf ihrer äußeren Zylinderfläche mit einem Film bespannt, und es bekommt die Trommel durch den Motor M eine konstante Umdrehungsgeschwindigkeit. Es findet also kein Anhalten während jeder Exposition statt, weil die zur Belichtung dienenden Induktionsfunken so rasch ablaufen*), daß eine wesentliche Filmverschiebung nicht eintritt. An der Trommel ist eine Einrichtung angebracht, die automatisch nach einmaligem Umgang bei geöffnetem Objektiv einen Schluß desselben herbeiführt (vergl. Bull¹⁴) 1904 S. 5).

Ferner werden die einzelnen Aufnahmen dadurch immer an den gleichen Stellen der Trommel und in den gleichen Abständen vorgenommen, daß sich auf der gleichen Achse mit der Filmscheibe eine Kontaktscheibe dreht, welche die Unterbrechung des Ruhmkorffschen Induktors bewirkt. Ferner kann zur Zeitmessung die Spitze einer elektromagnetisch angetriebenen Stimmgabel mit verzeichnet werden. Der Apparat ist dann von Bull durch Verdopplung der Objektivs, Magnesiumspitzen etc. für stereoskopische Aufnahmen hergerichtet worden, und so gelingt es in der

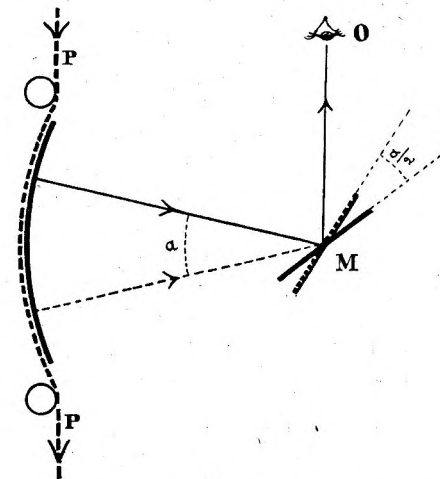


Fig. 5.

Aus: Bull, La Synthèse en Chronophotographie, Bulletin de la Soc. philomatique 1904.

Tat, sich von den Flugbewegungen der Insekten ein richtiges Bild zu verschaffen**).

Zur Registrierung ganz besonders langsam ablaufender Vorgänge haben sich ebenfalls Veränderungen in der Methodik notwendig gemacht. So hat

*) Voraussetzung ist also eine sehr hohe Oszillationsfrequenz der Funkenentladungen, wie man sie bei Benutzung eines Induktionsapparates von kleiner Selbstinduktion mit einer Leidener Flasche von geringer Kapazität erhält.

***) Besonders originell ist die von Bull benutzte Anordnung, um die rasche Flugbewegung der Insekten mit relativ wenigen Bildern in 1" ohne störendes Flimmern zu veranschaulichen. Das auf einer Zylinderfläche bewegte Film P wird in einem Spiegel betrachtet, der sich mit der halben Winkelgeschwindigkeit um denselben Mittelpunkt dreht, wie das Film. Es ist dann das virtuelle Bild des Objektes, wie aus beistehender Skizze ohne weiteres hervorgeht, stets am gleichen Ort sichtbar. Hat sich Objekt und Spiegel um einen bestimmten Winkel gedreht, so wird durch sehr rasches ruckweises Zurückfedern des leichten Spiegels jedesmal für das nächste Bild die gleiche Ausgangslage hergestellt. Ich hatte selbst Gelegenheit, im Institut Marey die ausgezeichneten Aufnahmen Bulls von dem Flug der Libellen an einem solchen Apparat entsprechend verlangsamte betrachten zu können.

Meirowsky²¹⁾ folgendes von Hermann angegebene Verfahren benutzt, um den Ablauf der Totenstarre zu verfolgen. Dasselbe gründet sich darauf, daß der Minutenzeiger eines Uhrwerkes in Intervallen von z. B. $\frac{1}{4}$ Stunde einen Kontakt schließt, durch den der elektrische Verschluß des Objektivs (Fig. 6) vorübergehend geöffnet wird. In der Zwischenzeit zwischen je zwei Expositionen berührt der Minutenzeiger noch einige andere, weiter peripher angeordnete Kontaktstücke, durch die eine elektromagnetische Vorwärtsbewegung der Schreibfläche (leichte Holztrommel) herbeigeführt wird.

Nebenbei sei bemerkt, daß der von Hermann verwendete elektromagnetische Verschlußapparat des Objektivs, der, wie er angibt, nach dem Prinzip der Signalapparate für Feuermelder gebaut ist, auch für zahlreiche andere Zwecke sich wohl eignen dürfte. Bei den meisten einfachen Elektromagneten mit Anker ist es schwer, eine so große Exkursion des Ankers zu erzielen, um das Objektiv frei zu geben, bzw. zu verdecken. Bringt man aber, wie es Hermann angibt, einen Zylinderausschnitt von weichem Eisen zwischen die Pole eines Elektromagneten, so ist es leicht, eine ausreichende Drehung zu erzielen.

Die Aufgabe, mikroskopische Objekte in ihren einzelnen Bewegungsphasen festzuhalten, begegnet jetzt ebenfalls keinen größeren Schwierigkeiten mehr. Obgleich die meisten Bewegungen mikroskopischer Objekte sich mit einer außerordentlich geringen absoluten Geschwindigkeit vollziehen, ist doch die scheinbare Geschwindigkeit, die durch eine 500 oder 1000 fache Vergrößerung erzielt wird, so gewaltig, daß wir, wie jüngst Hürthle²²⁾ hervorhob, Einzelheiten der Struktur mit bloßem Auge nicht mehr festzustellen vermögen. Schon Noguès²³⁾ hat gezeigt, daß sich im Mikroskop rasch erscheinende Bewegungen, wie das Schwingen der Flimmerzilien mit einem mikrophotographischen Apparat in Verbindung mit einem Kinematographen sehr wohl aufnehmen lassen. Ein wesentlicher Vorzug der von Noguès getroffenen Anordnung liegt darin, daß die Expositionsscheibe mit ihren Ausschnitten vor dem Mikroskop zu stehen kommt, d. h. zwischen Lichtquelle und Mikroskop, an der Stelle, wo der Lichtkegel den kleinsten Querschnitt besitzt, und es empfängt das Präparat von der Bogenlampe nur dasjenige Licht, welches zu den einzelnen Aufnahmen erforderlich ist.

Technisch außerordentlich vollkommene Mikrophotogramme der sich kontrahierenden Insektenmuskeln hat jüngst Hürthle geliefert. Sowohl in gewöhnlichem, wie in polarisiertem Lichte, was ja zunächst besondere Schwierigkeiten bot, konnte er Reihen von Momentbildern von ruhenden und sich kontrahierenden Fasern erzielen. Sein Kinematograph, der sich auch für andere physiologische Zwecke wohl eignen dürfte, stammt von Albrecht, Tübingen, und gibt 6 Expositionen in 1" bei der verhältnismäßig großen Bildfläche von 8×8 cm. Die Expositionszeit konnte dabei bis auf

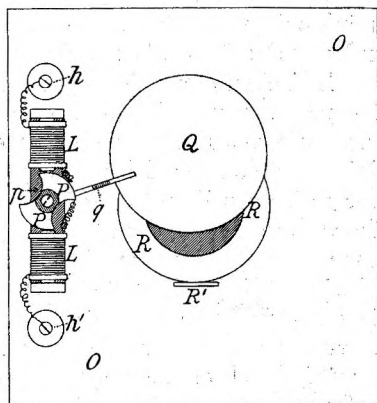


Fig. 6.

Aus: Meirowsky, Pflügers Arch. Bd. 78.
1899, Hager, Bonn.

5 σ herabgesetzt werden. Allerdings brauchte er die günstigsten Beleuchtungsverhältnisse: Sonnenlicht, das zur Absorption der Wärmestrahlen eine ammoniakalische Kupferlösung, bzw. auch noch eine $\frac{1}{2}$ % ige Eskulinlösung passieren mußte. Endlich sei als besondere Form der Kinematographie die von Carvallo²⁴⁾ beschriebene Radio-Chronographie genannt. Der Apparat soll weitgehende Variationen gestatten: Eine Röntgenaufnahme nach je 1 Stunde oder 10 Aufnahmen in 1". Schon früher sind von Eykmann¹⁵⁾ 1903 die Röntgenstrahlen für Stellungsveränderungen der tiefergelegenen Teile (Pharynxwand und Epiglottis) beim Schluckakt verwendet worden. Da eine einmalige kurze Belichtung nicht ausreichte, eine bestimmte Stellung des Kehlkopfes photographisch auf der Platte zu fixieren, wendete Eykmann gewissermaßen das Rheotomverfahren an. Bei der Hebung des Schildknorpels wurde beim jedesmaligen Schluckakt ein Kontakt durch den Schildknorpel geschlossen, der seinerseits die Entladung des Induktoriums auslöste. Es handelt sich also bei Eykmann um ein ganz anderes Problem, als bei der Radio-Chronographie Carvallos.

Zwischen den beiden genannten Verfahren der Photographie auf stehender und sprungweise bewegter Platte gibt es eine Reihe von Übergängen, durch die sich Fehler der einen oder der anderen Methode vermeiden lassen. Bei feststehender Platte zeigt sich der Fehler, daß, auch wenn die wesentlichsten Punkte des Objektes markiert wurden, sich ein Teil desselben überdeckte, sobald die Fortbewegung des betreffenden Körpers eine zu langsame wurde. Bei der kinematographischen Verzeichnung liegt eine Hauptschwierigkeit in dem stoßweisen raschen Vorwärtstransport und dem plötzlichen Festhalten der Schreibfläche. Der Übelstand tritt sofort deutlich hervor, wenn man versuchen wird, größere Bildflächen, wie sie für wissenschaftliche Untersuchungen sich vielfach nötig machen würden, so rasch stoßweise vorwärts zu bewegen. Vielleicht gibt das schon oben für subjektive Beobachtung empfohlene Verfahren Bulls mit dem drehenden Spiegel die Grundlage zu einer wesentlichen Verbesserung.

Der Mißstand, daß bei stehender Platte die entsprechend hellen Linien zweier aufeinander folgender Aufnahmen sich überdecken, läßt sich auf zwei Weisen vermeiden. Entweder dreht man, wie Weiß angibt, den chronographischen Apparat ganz langsam um seine vertikale Achse, oder man schiebt das betreffende, nur durch einzelne leuchtende Punkte markierte Objekt samt seiner Unterlage langsam in der Bewegungsrichtung vorwärts.

Neuerdings hat François-Frank für Atmung²⁷⁾, Herzätigkeit²⁶⁾ usf. die Kinematographie viel und zum Teil mit der methodisch wichtigen Kombination verwendet, neben dem tätigen Objekt auf der gleichen Aufnahme die zugleich mit verzeichnete Rußkurve während ihrer Entstehung zu registrieren.

François-Frank²⁸⁾ hat übrigens auch, was gleich hier erwähnt sei, für die kinematographischen Aufnahmen von kürzerer Dauer, wie sie bei den meisten physiologischen Versuchen in Betracht kommen, eine vielleicht recht praktische Beleuchtungsmethode empfohlen. Es werden Magnesiumpulvergemische von langsamem Brand, von denen 35–50 gr. für eine Exposition von 15–20" genügen, in einer Rinne aus Eisenblech 15 mm breit, 10–12 mm tief und 40 cm lang an einem Ende entzündet. Man erhält dann nach Zwischenschaltung eines Pausleinwandschirmes zwischen Lichtquelle und Objekt während des mittleren Teiles der Verbrennung eine sehr gute Beleuchtung.

Außer den Ortsveränderungen von Körpern gelingt es, durch die bisher angeführten Methoden auch in analoger Weise Veränderungen in den optischen Eigenschaften des Körpers zu registrieren. Ehe durch die Lumière'sche Methode der Photographie in natürlichen Farben*) die Möglichkeit gegeben war, wenigstens bei Farbenänderungen, die eine lange Expositionszeit vertragen, die beobachteten Farben wenigstens annähernd, getreu zu registrieren, konnte man indirekt, sogar schärfer auf Grund der photographischen Spektralaufnahmen solche Vorgänge festhalten. Derartige Versuche wurden mit Hilfe der panchromatischen Platten, bspw. vom Verfasser²⁹⁾ über die Farbenänderungen des Sehpurpurs in der Netzhaut und in Lösungen angestellt und dabei durch Mehrfachaufnahmen des Spektrums auf verschobener Platte festgestellt, daß während der sogenannten Ausbleichung des Sehpurpurs im Grün die Absorption abnahm, dagegen im Violett gesteigert wurde, was nur durch Bildung eines neuen Farbstoffes, des Sehgelbes, zu erklären ist. Ferner verspricht eine derartige spektrophotographische Registrierung bei den Veränderungen des Blutfarbstoffes nach den Versuchen von Lewin, Miethe und Stenger³⁰⁾ und neuerdings Rost³¹⁾ wichtige Aufschlüsse zu liefern. Gerade bei spektroskopischen Untersuchungen leistet, was keineswegs für alle Anwendungen der Photographie zutrifft, diese mehr als das Auge, da sie es uns ermöglicht, Veränderungen der Absorption bis ins äußerste Violett und sogar Ultraviolett bequem zu verfolgen. Für die praktische Ausführung der Spektrophotographie sei darauf hingewiesen, daß man, abgesehen z. B. von den nach meinen Erfahrungen recht guten sogenannten panchromatischen Platten von Kranzeder, München (Kranzpl. Nr. 3), nach den Angaben von Lewin, Miethe und Stenger sich die Platten selbst leicht durch Baden in einer Lösung des Farbstoffes Isokol sensibilisieren kann, allerdings nur zum jedesmaligen Gebrauch.***)

III. Fortlaufende photographische Registrierung eines in einer bestimmten Geraden sich bewegenden Punktes.

Man kann mit Recht die paradoxe Behauptung aufstellen, daß die optische Registrierung in Kurvenform schon lange vor der Erfindung der Photographie stattgefunden hat. Fällt z. B. nachts gerade vor uns ein Meteor

*) Nach den bisherigen Mitteilungen sowie einigen wenigen eigenen Versuchen mit der Lumière'schen Farbenphotographie glaube ich, daß sich dieselbe bei Registrierung der Farbenänderung der Tiere, Spiel der Chromatophoren usw. sehr gut anwenden läßt. Auch wurde bezw. von Poll auf dem diesjährigen Anatomenkongreß zu Gießen eine Reihe Lumière'scher Bilder projiziert, die Farbenanomalien von Vögeln (Fasanenmischlinge) zum Gegenstand hatten.

**) Eine gewöhnliche lichtempfindliche Platte wird in folgender Lösung gebadet: Von $\frac{1}{10}$ prozentiger alkoholischer Lösung von Isokol (Bayer & Comp., Elberfeld) 5 cem, Alkohol 5 cem, Ammoniak konzent. 2 cem, Aqua dest. 200 cem. Die Lösung genügt für 8 Platten 9 mal 12 cem. Jede Platte wird zwei Minuten unter Schaukeln im Dunkeln gebadet, 3 Minuten in fließendem Wasser gewaschen und bei einer Temperatur von 25—28° C in 25—30 Minuten im Trockenschrank getrocknet.

herab und wir bewegen das Auge währenddessen in der Horizontalebene zur Seite, so sehen wir, infolge der Nachdauer der Erregung unserer Netzhaut eine Kurve, deren Form sich als abhängig erweist, von der Geschwindigkeit des fallenden Körpers einerseits und der Geschwindigkeit der bewegten Schreibfläche, d. h. der Netzhaut andererseits. Wären wir im obigen Beispiel imstande, das Auge mit einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit um die Vertikale zu drehen, so würde sich aus der Neigung der Meteorkurve gegen die Horizontale ohne weiteres die Winkelgeschwindigkeit des fallenden Körpers ermitteln lassen. Wir hätten damit die von Marey¹³⁾ ausgesprochene Forderung für die photographische Registrierung in unserem, mit noch unbekanntem lichtempfindlichen Stoffen besetzten Apparat erfüllt: eine geradlinige Bewegung als Funktion der Zeit darzustellen.

Würde neben dem Meteor ein im Raum fixer Punkt periodisch in kurzen Zwischenzeiten aufleuchten, wie z. B. der zwischen zwei Elektroden überspringende Funken des faradischen Stromes, so würden wir bei der Augenbewegung eine ganze Reihe leuchtender Punkte wahrnehmen, deren Winkeldistanzen im Netzhautbild uns wirklich die jeweilige Drehungsgeschwindigkeit ergeben könnten. Wir hätten also hier auch bereits das Prinzip der Zeitregistrierung, nach dem wir den Zeitwert, z. B. eines bestimmten Horizontalabstandes auf unseren Kurven ermitteln. Auf diese auch praktisch angewandte Methode, und zwar durch periodisches Aufleuchten von Induktionsfunken die Geschwindigkeit der Augenbewegungen zu messen, hat schon Helmholtz³²⁾ hingewiesen. Auch Marey³³⁾ erwähnt bereits 1868, daß die „impression persistante de notre rétine“ als die älteste optische Methode der kurvenmäßigen Darstellung der Bewegungsvorgänge zu gelten habe, wie sie ja z. B. auch unter anderem bei der Betrachtung der Königschen Flamme im rotierenden Spiegel praktisch Verwendung findet.

Bei der namentlich zur Zeit der nassen Platten so außerordentlich viel geringeren Empfindlichkeit des photographischen Verfahrens gegenüber der photochemischen Prozesse im Auge, erscheint es nicht wunderbar, daß verhältnismäßig langsam die photographische Registrierung linearer Bewegungen in der Physiologie Eingang fand, wenn auch schon frühzeitig für die Verwendung des Lichtstrahles als gewichtslosen Fühlhebel Projekte entworfen wurden. So hat, wie Stein³⁴⁾ näher anführt, Czermak³⁵⁾ bereits 1863 zwei Methoden zur optischen Verzeichnung des Pulses vorgeschlagen. In einer nach unseren jetzigen Erfahrungen nicht ganz zweckmäßigen Weise führte Stein³⁴⁾ später jene Ideen aus.

Am Hebelende des Mareyschen Sphygmographen wurde ein geschwärztes Glimmerplättchen befestigt, das in der Mitte ein feines Loch besaß. Die von diesem ausgehenden Lichtstrahlen wurden von einem Objektiv auf der photographischen Platte zu einem leuchtenden Punkte vereinigt. Die Platte wurde in einer auf Rollen laufenden Schlittenskassette durch ein Uhrwerk vorbeigezogen (Photosphygmograph). Auch zahlreiche andere Versuche zur photographischen Kurvenschreibung, die jetzt nur noch historisches Interesse haben, sind bei Stein zu finden, z. B. Winternitz, Ultzmann Photographisches Pulsmanometer 1875 und Photothermographie.

Schon 1877 hatte Marey im Verein mit Lippmann die Photographie zu einer Registrierung herangezogen, die auf mechanischem Wege überhaupt nicht durchführbar war, die Registrierung der Ausschläge des Kapillarelekt-

trometers. *) Das gleiche gilt für seine Aufnahme der Königschen oszillierenden Flamme.

Seit Beginn der 80-iger Jahre hat sich mit Einführung der viel empfindlicheren und leichter zu behandelnden Trockenplatten die Anwendung der photographischen Registrierung ganz außerordentlich ausgebreitet. Es würde ganz unmöglich sein, die verschiedenen Anwendungsweisen, die man jetzt bei einer großen Zahl physiologischer Untersuchungen trifft, zu beschreiben, und es muß genügen, die Haupttypen anzuführen, auf die sich leicht bei einer neuen Anforderung an die Registriertechnik das neue Verfahren zurückführen lassen würde.

Übersicht über die verschiedenen Methoden der photographischen Kurvenregistrierung.

A. Leuchtendes Objekt auf dunklem Grunde.	B. Dunkles Objekt auf hellem Grunde (einschl. des Falles, in dem hellere u. dunklere Flächen aneinander grenzen).
1. Registrierung bei natürlicher Größe oder Lupenvergrößerung.	
1887 v. Kries ⁹⁶), Tachographie (leuchtende Flamme). Improvisierte Einrichtung am Baltzarschen Kymographion.	1885 Bellarminoff ³⁹), Pupillenbewegung.
1887 Tachanoff ⁶¹), Mit Galvanometer- spiegel wird 25 cm langer(!) Glashebel bewegt, der Papierstreifen als opt. Marke trägt.	1885 Cybulski ⁴⁰), Photohämotachometer.
1898 Garten ⁴⁵), Lidschläge, Funken auf oberem Lid.	1887 v. Kries ⁴¹), Flammentachographie.
	1897 Garten ⁴²), Pupillenbewegung nach Verdunklung (Ultraviolett).
	1898 Nagel und Samojloff ⁴³), Schall- schwingungen im Mittelohr durch Flam- menphotogramm.
	1900 Cowl ⁴⁴), Photographie eines durch den Puls bewegten Schirmes.
	1907 Samojloff ⁴⁶), Photographie eines mit dem freihängenden M. Sartorius ver- bundenen Platindrahtes (6 fache Vergr.).
2. Registrierung bei starker Vergrößerung.	
	1876 Marey ⁷⁹), Ausschläge des Lipp- mannschen Kapillarelektrometers re- gistriert

*) Es sei hier die charakteristische, auch von Kronecker³⁶) in der Mareyschen Lebensbeschreibung erwähnte Stelle angeführt: „A l'oculaire du microscope mettons une plaque de verre dépoli, nous y verrons une image réelle de la colonne de l'électromètre et des mouvements qu'elle exécute. Substituons à cette plaque dépoli une glace recouverte d'un collodion sensible, nous obtiendrons l'image photographiée de cette colonne de mercure; enfin imprimons à la plaque sensible un mouvement de translation perpendiculaire au sens des mouvements de l'électromètre et nous aurons la courbe des changements de la tension.“

A. Leuchtendes Objekt auf dunklem Grunde.	B. Dunkles Objekt auf hellem Grunde (einschl. des Falles, in dem hellere u. dunklere Flächen aneinander grenzen).
1889 Hermann ⁵³), Phonographische Untersuchungen. Membran mit Spiegelchen, Projektion eines Spaltbildes. Geschwindigkeit der Schreibfläche 4—5 m(!).	1884 Burdon-Sanderson ⁸⁰), Aktionsströme des Froschherzens mit Kapillarelektrometer registriert. (Kalklicht, Spalt, Rollwagen mit Platte.)
1890 Bernstein ⁴⁹), Sphygmographische Untersuchung (Pulsspiegel).	1892 Burch ⁸¹), Kapillarelektrometerschläge auf pendelnder Platte (Polarkoordinaten-A two o d s ch e s Prinzip).
1890 Bernstein ⁷⁸), Stromverlauf durch Lichtstrahl der von Telephonmembran reflektiert wird, aufgezeichnet.	1895 Burdon-Sanderson ⁶⁵), Für Latenzbestimmung. Dickenschreibung am Sartorius. Hebel vergrößert abgebildet.
1891 Hermann ⁵⁴), Über Rheotachygraphie.	1895 u. 1900 Einthoven ⁸³) u. ⁸⁴), Kapillarelektrometerschläge registriert. Horizontalbewegung der Platte von 2 cm — 1 m, Arbeiten im Tageslicht ⁸⁴).
1893 Matthias ⁵⁵), Über graphische Darstellung der Aktionsströme.	1896 Schenk ⁸²), Kapillarelektrometerschläge auf Tachographentrommel registriert.
1896 Boruttai ⁵⁶), Rheotachygraphie.	1898 Du Bois-Rey mond ⁹⁷), führt das Bild der Kapillare mit rotierendem Spiegel über feststehende Platte.
1896 Waller ⁶⁰), Photogr. Registrierung der Galvanometerschläge (desgl. 1899 ⁵⁹) und 1904 ⁵⁸).	1899 O. Frank ⁷⁶), Photographie des Membranstiftes des zur Geschwindigkeitsmessung dienenden Differentialmanometers. (Hierzu 1903 ⁷⁷) ausführliches Stiftmanometer.)
1897 Bernstein ⁶²), Über die Latenzdauer der Muskelzuckung. Drehung eines Spiegels durch Verdickung der Muskeln.	1900 u. 1902 Garten ⁷²) u. ⁸⁸), Kapillarelektrometerkurve im Polarkoordinatensystem. Gleichzeitige Verzeichnung des Koordinatennetzes. — 1902 Rechtwinkliges Koordinatensystem, desgl. zur mechanischen Analyse der Kurven.
1899 Samojloff ⁷¹), Zur Vokalfrage. Bewegung einer Korkmembran auf Spiegel übertragen, der den registrierenden Lichtstrahl reflektiert.	1901 O. Frank ⁶⁴), Vorrichtung zur photographischen Registrierung von Bewegungsvorgängen. Direkte Registrierung der Hebelbewegung, zugleich mit vergrößerter Abb. des Stiftes der Membranmanometer etc.
1900 Garten ⁷⁰), Spiegel an Torsionsachse zur optischen Registrierung der Spannungsänderung eines Muskels.	

A. Leuchtendes Objekt auf dunklem Grunde.	B. Dunkles Objekt auf hellem Grunde (einschl. des Falles, in dem hellere u. dunklere Flächen aneinander grenzen).
	<p>1901 Borutttau⁸⁵), Kapillarelektrometer registriert Kassette mit Handbewegung. Ebenda auch Rheotachygraphie.</p> <p>1902 u. 1904 Bernstein-Tschermak⁸⁶) u. ⁸⁷), Kapillarelektrometer registriert Spiegelung durch einen auf Kymographionachse rotierenden Spiegel auf ruhender Platte.</p>
<p>1903 O. Frank⁴⁸), Puls durch Spiegelsphygmograph registriert (Spiegel entweder direkt oder mit Luftübertragung von Pelotte bewegt).</p>	<p>1903 Einthoven⁸⁹), Aufnahme der Saitenbewegungen am Saitengalvanometer.</p>
<p>1904 O. Frank⁴⁷), Mareysche Tambourmembran mit Spiegelchen verbunden dient zur Registrierung der Herztöne. (Desgl.³⁷) 1905 Konstruktion u. Durchrechnung von Registrierspiegeln u. 1907 ⁷⁵) Tachographie mit Spiegelkapsel.)</p>	<p>1904 Garten⁶³), Über ein neues Verfahren zur Registrierung von Bewegungsvorgängen. Seifenblasenkontur bei verschiedener Vergrößerung verzeichnet.</p>
	<p>1905 Hermann u. Gildemeister¹⁰⁶), Photographische Kassette auf Rollwagen in der Horizontalen mit konstanter Geschwindigkeit vorwärtsgeschoben. Atwoodsches Prinzip.</p> <p>1905 Cremer¹⁰⁷), Eine photographische Registriervorrichtung. Platte fällt in einer Atwoodschen Fallmaschine herab. Zum Arbeiten bei Tageslicht.</p>
<p>1906 u. 1908 May u. Lindemann⁶⁹) u. ⁷⁰), Lichtstrahl an Seifenmembran gespiegelt dient zur Schallregistrierung.</p>	<p>1907 Einthoven⁹⁰), Herztöne mit Saitengalvanometer registriert (Mikrophon zur Transformierung).</p>
<p>1907 Bose⁵⁷), Galvanometer u. Blattbewegung gleichzeitig registriert. Umkehrung der Horizontal- in Vertikalbewegung durch Spiegelung.</p>	<p>1907, 1908 u. 1909 O. Weiss⁷⁸)⁶⁶)⁶⁷), Schallregistrierung mit Seifenmembran, die mit versilbertem Glaswinkel verbunden.</p>
<p>1908 u. 1909 Gerhartz⁵⁰), ⁵²), Seifenmembran mit zentral durch Faden fixiertem spiegelndem Glimmerblättchen zur Schallregistrierung.</p>	<p>1908 Samojloff⁹⁵), Mehrfache Kapillarelektrometeraufnahmen auf einem Film.</p>

Wie in beistehender Tabelle lassen sich die Methoden der photographischen Kurvenregistrierung einteilen in eine Gruppe A, in der Methoden angeführt sind, bei denen ein leuchtendes Objekt, das meist vertikale oder horizontale Bewegungen ausführt, auf lichtlosem Grunde aufgenommen wird; und in eine Gruppe B, die jene Methoden enthält, bei denen ein dunkles Objekt auf einem helleren Grunde zur Abbildung kommt. Zu dieser Gruppe wurde auch der Fall gerechnet, bei dem die Grenzlinie eines helleren und dunkleren Feldes als Kennzeichen für den Bewegungsvorgang dient. Die

beiden Methoden sind wesentlich verschieden in ihrer Anwendbarkeit. Im Falle A könnte die ganze Verzeichnung eines, beispielsweise in der Vertikalen bewegten, intermittierend aufleuchtenden scharf umschriebenen sehr kleinen Objektes ohne weitere Hilfsmittel auf einer mit lichtempfindlichem Papier überspannten Kymographiontrommel vorgenommen werden. Im Fall B muß dagegen von dem Bild der helleren, bzw. dunkleren Fläche ein möglichst feiner Streifen durch einen schmalen Spalt ausgeschnitten werden, so daß auf die horizontal bewegte Trommel nur ein feiner vertikaler Lichtstreif fällt, durch dessen verschiedene Lichtstärke die Kurven zustande kommen.

Ferner könnte man, worauf aber in beistehender Tabelle verzichtet wurde, die Methoden danach einteilen, daß 1., bei zahlreichen Verfahren die bewegten Organteile selbst verzeichnet werden, oder die Verzeichnung durch bestimmte Apparateile erfolgt, die direkt durch die mechanische Bewegung des betreffenden Organs eine Lageveränderung erfahren; und daß 2. zahlreiche Vorgänge registriert werden, bei denen der ursprüngliche Prozeß mit mechanischen Bewegungsvorgängen nichts gemein hat, und erst eine Transformation der betreffenden Energieform erfolgt (Elektrizität, Wärme etc.).

Endlich kann in beiden Fällen die Registrierung, was allerdings eine mehr äußerliche Unterscheidung darstellt, aber der Übersicht halber in beistehender Tabelle berücksichtigt wurde, 1. nahezu bei natürlicher Größe, geringer Verkleinerung oder Lupenvergrößerung vorgenommen werden; oder 2. wenn der Bewegungsvorgang an und für sich zu klein ist, bei einer starken Vergrößerung. Diese läßt sich im Falle A leicht dadurch erzielen, daß das bewegte Objekt, wie bei der Gauss'schen Spiegelablesung am Galvanometer mit einem kleinen Spiegel verbunden ist, dessen Bewegungen sich durch das reflektierte Strahlenbüschel stark vergrößert sichtbar machen, und aufzeichnen lassen. Betreffs der günstigsten Anordnung vergl. Frank³⁷⁾.

Im Falle B wird die Vergrößerung nach den Grundsätzen der Mikrophotographie durchgeführt, und man hat hier den Vorzug, leicht neben der betreffenden durch die starke Vergrößerung erst erkennbaren Bewegung im Schattenbild in der einfachsten Weise noch eine Reihe anderer Bewegungen in natürlicher Größe verzeichnen zu können.

Auch bei Transformationen der Energie wird, soweit es sich nicht um einfache Markierung eines Stromschlusses durch Markiermagnet und dergl. handelt, eine starke, meist durch das Mikroskop erzeugte Vergrößerung angewendet. Hier hat das Prinzip der Spiegelung wohl nur vorübergehend Verwendung gefunden, so durch Bernstein³⁸⁾ 1890, der den Verlauf der Induktionsströme dadurch sichtbar zu machen suchte, daß er das von einer spiegelnden Telephonmembran reflektierte Lichtbündel auf eine lichtempfindliche bewegte Platte fallen ließ. Ähnliche Versuche zur Darstellung der Muskelaktionsströme sind auch von Boruttai⁹¹⁾ ausgeführt worden.

Die Hauptmethoden, die für Registrierung rascher Stromschwankungen in Betracht kommen, sind die Verzeichnungen der Bewegungen des Quecksilbermeniskus am Kapillarelektrometer und seit 1903 die Schwingungen der Saite des Einthovenschen Saitengalvanometers*). Gerade die beiden letzten

*) Herr Professor Einthoven hatte die Güte mich darauf aufmerksam zu machen, daß meine historische Darstellung über die Entdeckung des Saitengalvanometers in Bd. 2,

Aufgaben stellen an die Registriertechnik, was Geschwindigkeit der Verzeichnung und Güte des Bildes anlangt, die höchsten Anforderungen, und wir werden daher uns mit ihnen etwas eingehender zu beschäftigen haben.

1. Beleuchtung.

Handelt es sich um Registrierung langsam verlaufender Vorgänge, so kommt man mit einer Petroleumlampe, der elektrischen Glühlampe oder dem Auerlicht aus.

Hierzu würde gehören die zuerst von Dewar und Kendrik*) 1876

3. Abt. S. 428 dieses Handbuchs fehlerhaft war. Es sei mir gestattet an dieser Stelle des Handbuchs meinen Irrtum zu berichtigen, wozu mir durch die Freundlichkeit von Herrn Professor Einthoven, des Entdeckers selbst, eine kurze Darstellung zur Verfügung gestellt wurde, die außer einigen kleinen sprachlichen Korrekturen hier im Wortlaut folgt: „Ader hat einen Empfangsapparat für die Kabeltelegraphie konstruiert, den er „récepteur“, auf deutsch „Kabelempfänger“ genannt hat. Er hat nicht die Absicht gehabt, ein elektrisches Meßinstrument anzufertigen. Das Wort „Galvanometer“ wird sogar nicht gefunden in der ausführlichsten Beschreibung, die von dem Apparat besteht, und die mit einer Anzahl von Figuren versehen, unter dem Titel „Télégraphie sousmarine“ von der Hand von Rossel erschienen ist. (L'Éclairage électrique T. XII 3ième trim. Nr. 31 p. 191 und Nr. 33 p. 295. 1897.

Wahrscheinlich hat Ader gemeint, daß er, indem er einen einzigen Faden in ein magnetisches Feld ausspannte, die Empfindlichkeit aufopferte, welche bei Meßinstrumenten vorhanden ist, worin eine viele Windungen enthaltende Spule in ein magnetisches Feld aufgehängt ist. Die Schnelligkeit des Ausschlages müßte für ihn Hauptsache sein, weil man bei der Telegraphie, in Vergleichung mit den schwächsten meßbaren Strömen, über ziemlich starke Ströme verfügt.

Ich selbst habe versucht, ein für wissenschaftliche Untersuchungen geeignetes empfindliches Meßinstrument zu konstruieren und bin dabei von dem in der Physiologie vielfach gebrauchten Galvanometer von Deprèz-d'Arsonval ausgegangen. Bei meinen Berechnungen erhielt ich das überraschende Resultat, daß dieses Galvanometer eine um so größere Normalempfindlichkeit bekommt, je nachdem die Anzahl der Windungen der beweglichen Spule abnimmt. Eine Spule, die nur aus einer einzigen Windung eines sehr dünnen Drahtes besteht, ist die empfindlichste. Anstatt dieser einzigen Windung nahm ich eine gespannte Saite.

Meine Berechnungen waren fertig, als mir aus den Comptes Rendus (Vol. 122, p. 1220) der Apparat von Ader zur Kenntnis kam. Es ist gewiß merkwürdig, daß zwei Instrumente, die zu je einem andern Zwecke angefertigt worden sind, und bei deren Konstruktion ein verschiedener Gedankengang vorhanden war, eine so große Übereinstimmung im Bau miteinander aufweisen.

Es darf daran erinnert werden, daß es auch ziemlich große Unterschiede zwischen beiden Instrumenten gibt, die jedoch hier nicht näher erörtert zu werden brauchen. Es sei nur erwähnt, daß im Kabelempfänger von Ader die Saite 75 cm lang ist.

Aus obenstehender Auseinandersetzung ist wohl ersichtlich, daß von der Behauptung, Ader habe das erste Saitengalvanometer konstruiert und ich habe das Instrument verbessert, viel abgezogen werden kann.

Betrachtet man den Kabelempfänger Aders als ein elektrisches Meßinstrument, so ist es ungefähr 100000 mal unempfindlicher, als das Saitengalvanometer. Es ist an und für sich nicht sehr wahrscheinlich, daß ein bestehendes Meßinstrument, das verbessert wird, auf einmal so viel empfindlicher gemacht wird.“ Neuerdings sind diese und weitere diesbezügliche Ausführungen von Herrn Professor Einthoven in Pflügers Archiv veröffentlicht worden.

*) Dewar und Kendrik sprachen den Plan aus, das Lichtbild des Spaltes auf einer lichtempfindlichen Trommel zu registrieren, ließen aber den Plan als zu kompliziert fallen und begnügten sich damit, dem Lichtbild des Spaltes mit einer Tintenfeder auf der rotierenden Trommel zu folgen (S. 164).

geplante Registrierung der Galvanometerausschläge, wie sie besonders durch Waller (58—60) praktisch ausgeführt wurde und einen hohen Grad von Vervollkommnung erfuhr. Aber auch bei der Galvanometerregistrierung hat sich schon, wenn es sich um verhältnismäßig kürzere Belichtungszeiten handelt (z. B. bei der Rheotachygraphie) eine stärkere Lichtquelle, das elektrische Bogenlicht als nützlich gezeigt (vergl. z. B. Hermann⁵⁴) und Matthias⁵⁵), Boruttau⁵⁶) etc.). In den meisten anderen Fällen ist, abgesehen von dem praktisch schwerer verwendbaren Zirkonlicht das elektrische Bogenlicht kaum zu umgehen. Nur für die Spiegelregistrierung bietet das Nernstlicht gewisse Vorzüge. Benutzt man einen Glühstab, bei dem die Heizspirale den Glühstab selbst nicht verdeckt, so kann man diesen linear ausgedehnten leuchtenden Streifen an Stelle des von einer Bogenlampe durchleuchteten Spaltes direkt projizieren. Ja in gewissen Fällen läßt sich der Faden einer einzigen Nernstlampe sehr weitgehend ausnutzen. So hat Frank^{92—93}) z. B. eine zuletzt von Seemann⁹⁴) näher beschriebene Anordnung getroffen, bei der sich in sehr handlicher Weise durch 3 übereinander angeordnete Objektive je 3 Lichtbüschel auf 3 mit verschiedenen Apparaten verbundene Spiegelkapseln werfen lassen. Die von den Spiegeln reflektierten Strahlen erzeugen auf dem vor dem Kymographion befindlichen Spaltschirm 3 verschiedene scharfe Bilder des Nernstfadens, deren Längsachse, genau so wie bei dem von Hermann verwendeten Prinzip der gekreuzten Spalte, senkrecht zur Richtung desjenigen Spaltes steht, der das Licht in das Kymographiongehäuse eintreten läßt.

Im allgemeinen kann man sagen, daß bei der Spiegelregistrierung Lichtquellen geringerer Intensität erforderlich sind, als bei der mikrophotographischen Methodik. Es ist dies zum Teil dadurch bedingt, daß in letzterem Falle eine größere Zahl von optischen Medien zu passieren ist, an deren Grenzflächen durch Reflexion und in denen durch Absorption ein Lichtverlust auftritt. Auch wird bei der Spiegelmethode meist die Lichtquelle selbst abgebildet und nicht, wie bei der Mikrophotographie ein Luftbild der Lichtquelle oder Sehfeldblende (siehe unten). Zum Teil aber hängt dieser Unterschied auch damit zusammen, daß wir in letzterem Falle meist viel rascher bewegte Schreibflächen anwenden müssen, um die einschlägigen, oft äußerst geschwind verlaufenden Vorgänge wirklich in ihren Einzelheiten verfolgen zu können.

R. Du Bois-Reymond versuchte beim Kapillarelektrometer das Bogenlicht durch ein Magnesiumblitzlicht zu ersetzen. Diese Methode dürfte schon deswegen keine weitere Anwendung finden, weil es sich beim Blitzlicht um eine ausgedehnte leuchtende Fläche handelt und wir bei starker mikroskopischer Vergrößerung meist dadurch ein Bild von einigermaßen größerer Lichtintensität erzielen können, daß wir das Bild einer sehr kleinen, aber recht intensiv leuchtenden Fläche (Krater der positiven Kohle) in der Objektebene entwerfen. Infolgedessen wird auch im allgemeinen durch Vergrößerung der verwendeten Stromstärke keine sehr beträchtliche Steigerung der Lichtintensität erreicht, weil mit der Zunahme der Stromstärke zwar die leuchtende Kraterfläche wächst, aber die von der Flächeneinheit der Kohle ausgeschickte Lichtmenge nur wenig gesteigert wird. Immerhin ist es gut, bei Kapillarelektrometer und Saitengalvanometer eine Lichtquelle

von möglichst großer Intensität zur Verfügung zu haben, da bei den verhältnismäßig starken Vergrößerungen und dem raschen Gang der Schreibfläche die Aufnahmen meist noch unterexponiert werden. Auch hat eine geringe Verstellung des Lichtbildes der ja nie ganz gleichmäßig brennenden Kohlen bei sehr hohen Intensitäten viel weniger leicht ein vollständiges Mißlingen der Aufnahmen zur Folge, wie dies bei nicht ganz genau eingestellten Bogenlampen von geringer Intensität sehr leicht eintritt. So fanden im Leipziger Institut Bogenlampen mit selbsttätiger Regulierung von 50 Amp. Stromstärke sowohl am Saitengalvanometer als auch beim Kapillarelektrometer Verwendung. Dabei war es möglich, am Kapillarelektrometer bei starker, vielleicht 1000facher Vergrößerung die Kurven, trotz eines engen Spaltes, bei ca. 2 m Geschwindigkeit aufzunehmen.

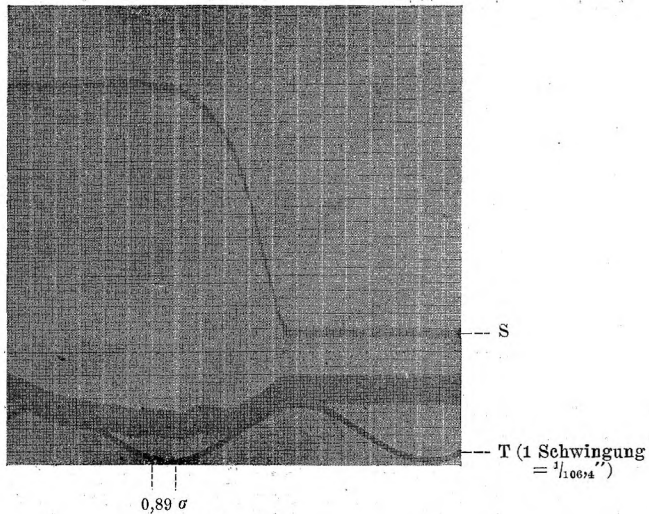


Fig. 7.

Ausschlag der stark gespannten Saite des Einthovenschen Saitengalvanometers bei Schließung eines konstanten Stromes. Geschwindigkeit der Scheibenfläche = 3,618 m.

Immerhin gelingt es auch, wovon ich mich im Gießner Institut notgedrungen überzeugen mußte, bei Handregulierlampen von nur 20 Amp. Stromstärke am Saitengalvanometer die gleichen Geschwindigkeiten zu erreichen. Ja mit dem von der Firma Schleußner für meine Zwecke besonders hergestellten, sehr empfindlichen Planfilms konnte die Saitenbewegung selbst bei 4 m Trommelgeschwindigkeit noch deutlich verzeichnet werden. Beistehende Kurve*) in Fig. 7 ist bei der nur wenig geringeren Trommelgeschwindigkeit von 3,618 m aufgenommen, sie zeigt die Bewegung der stark gespannten Saite am Einthovenschen Galvanometer bei Einschaltung eines konstanten Stromes. Der Abstand von je 2 Ordinaten beträgt $0,89 \sigma$, so daß sich $\frac{1}{10} \sigma$ noch gut abschätzen läßt.

*) Im Interesse besserer Reproduktion wurde diese etwas länger belichtete Kurve ausgewählt.

Nach den Erfahrungen von Marey, über Beleuchtung des Kapillarelektrometers durch Induktionsfunken und den schon erwähnten erfolgreichen Versuchen Bulls über die Photographie des Insektenfluges bei Beleuchtung durch die elektrischen Funken, die zwischen Magnesiumelektroden überspringen, erscheint es nicht ausgeschlossen, auf diesem Wege weiterzukommen. Insbesondere würde sich mittels des unter Umständen bis zu 2200 Unterbrechungen in 1" liefernden Wehnelt-Unterbrechers die Aufnahme gleich mit einem Koordinatensystem gewinnen lassen (s. u.).

Bei allen Registrierungen, bei denen die Lichtquelle nicht selbst als Objekt dient, muß das Licht um eine möglichst intensive Beleuchtung des Objektes zu ermöglichen, auf diesem konzentriert werden. Wie Koehler⁹⁸⁾ hervorgehoben hat, ist bei jeder in den Strahlengang eingeschalteten Linse durch Absorption und Reflexion der Lichtverlust auf 10 % zu schätzen. Man soll deswegen bei der Mikroprojektion, und dasselbe gilt ja auch für die Projektion am Kapillarelektrometer und Saitengalvanometer, als Kondensatorlinse eine einzige kleinere Linse verwenden, durch die ein etwa 4 mal vergrößertes

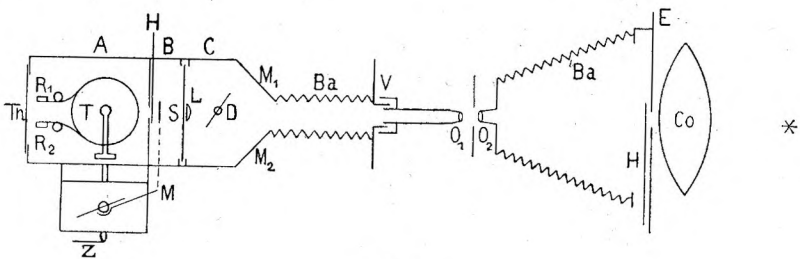


Fig. 8.

Ans: Frank, Ztschr. f. Biologie XLI, 1903, Oldenbourg, München.

Bild des Kraters auf die Irisblende des Abbéschen Kondensators entworfen wird. Als Durchmesser der Linse würde ein solcher von 8 cm ausreichen. Durch den Abbéschen Kondensator würde dann das Bild der Sehfeldblende, die etwa in der Ebene des ersten Kondensators liegen würde, in der Nähe der Objektebene abgebildet. Das Gesichtsfeld wird dadurch gleichmäßiger beleuchtet als bei der sonst geübten Methode, das Bild der Lichtquelle selbst in der Objektebene zu entwerfen. Betreffs der Anordnung bei schwacher Vergrößerung vgl. das Original.

Hat man, wie es beim Kapillarelektrometer erforderlich ist, um Erschütterungen des Instrumentes durch den Regulierapparat der Bogenlampe zu vermeiden, diese relativ entfernt aufgestellt, so kann man mit einer der üblichen starken Kondensatorlinsen (z. B. 14 cm Durchmesser) das Licht zunächst parallel machen und die Strahlen dann durch eine zweite Linse von gleichem Durchmesser konvergent machen, so daß der Strahlenkegel gerade die Öffnung des Abbéschen Kondensators erfüllt. Es entsteht dann sehr nahe über der Oberfläche des Kondensators das Bild des Kohlenkraters und etwas weiter gegen das Objektiv hin das Bild der zweiten Sammellinse, die in diesem Falle als Gesichtsfeldblende dient. Statt des Abbéschen Beleuchtungsapparates kann ein mikroskopisches Objektiv von genügender Apertur Verwendung finden. Insbesondere ist ein solches bei der Projektion mit dem großen Einthovenschen Saitengalvanometer zu verwenden. Es gilt

als Regel, daß man bei starker Vergrößerung des Saitenbildes auch ein Objektiv von der entsprechenden Apertur als Kondensatorsystem benutzt. Ich selbst verwende jetzt am großen Einthovenschen Saitengalvanometer den Seibertschen Kondensator (Katalog 33 von Seibert, Wetzlar, Fig. 62) von 1,1 Apertur, der sich nach Abdrehen der Fassung und Entfernen der Irisblende in den Tubus eingeschraubt genügend weit gegen die Saite vorschieben läßt, um das Bild der Gesichtsfeldblende etwa in der Objektebene zu entwerfen.

Besonders günstig scheint auch die von Frank⁶⁴⁾ empfohlene Anordnung, bei der durch eine Kondensorlinse (vergl. Fig. 8) das Bild der Lichtquelle etwa in die Ebene der Fassung des Objektivs O_2 entworfen, alles Licht aber, das bei Erzeugung des Bildes nicht in Betracht kommt, durch den Schirm E abgeblendet wird. Durch das Objektiv O_2 wird in der Objektebene zwischen O_1 und O_2 das Bild des Kondensatorspaltes E entworfen.

Die Projektionslinse O_1 , die am besten, um Abbildungsfehler zu vermeiden, mit O_2 identisch ist, entwirft dann in der Spaltebene bei H das Bild des Kondensatorspaltes von E und zugleich das Bild des bewegten Objektes. Durch diese Mitprojektion des Kondensatorspaltes ist es möglich, Muskelhebel, Markierapparate und dergl. dadurch abzubilden, daß man sie, wie den Hebel H, nahe dem Kondensatorspalte aufstellt. Außerdem bleibt noch die übliche Methode, den schattengebenden Hebel direkt vor dem Spalt S der Trommel aufzustellen und so den Schatten direkt zu projizieren. Eine ähnliche Anordnung verwendete ich selbst⁶³⁾ bei der Photographie der Seifenblasenbewegungen, wo es sich bei makroskopischer Registrierung um die analoge Aufgabe handelte. Es wurde mit einem photographischen Objektiv O_1 (vergl. Fig. 9) das Bild der zur Druckregistrierung dienenden Blase D_1 in die Ebene projiziert, in der sich die zur Volumenschreibung dienende Seifenblase D_2 befand. Das Luftbild der ersteren und die zweite Blase wurden nun durch das zweite Objektiv O_2 auf der Spaltebene des Kymographions abgebildet, und es konnten jetzt selbstverständlich die Konturlinien der Blasenscheitel durcheinander gehen und sich kreuzen ohne jede Störung.

Zur Fernhaltung der Wärmestrahlen genügt es meist, die Strahlen nach Durchgang durch den ersten Kondensor einen Wassertrog passieren zu lassen. Hürthle²²⁾, der bei seinen kinematographischen Aufnahmen des lebenden Muskels Sonnenlicht zur Beleuchtung verwendete, schaltete durch eine ammoniakalische Kupferlösung auch die langwelligen leuchtenden Strahlen, die ja kaum bei der photographischen Bilderzeugung in Betracht kommen, aus. In späteren Versuchen verwendete Hürthle zur Absorption der Wärmestrahlen neben dem obengenannten noch einen Äskulinfilter ($1/2$ -%ige Lösung).

In gewissen Fällen kann es vorkommen, daß der Ablauf der Bewegung des zu registrierenden Objektes durch intensive Bestrahlung direkt oder

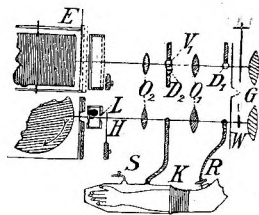


Fig. 9.

Aus: Garten, Über ein neues Verfahren zur Verzeichnung von Bewegungsvorgängen etc. Pflügers Arch. Bd. 104, 1904, Hager, Bonn.

indirekt verändert wird. In diesem Falle wird es von Nutzen sein, Strahlungen zur Beleuchtung zu verwenden, die auf den Erregungsvorgang in dem betreffenden Objekt, bzw. in den mit ihm verbundenen Teilen ohne Einfluß sind. Es kam das z. B. bei der Pupillarreaktion in Betracht, wo die leuchtenden, ins Auge fallenden Strahlen eine starke Pupillenverengung auslösen, während den so gut wie gar nicht wahrnehmbaren ultravioletten Strahlen, wenigstens bei mäßiger Intensität, jene Wirkung nicht zukommt. Verf. hat seinerzeit⁴²⁾ durch Beleuchtung des Auges mit ultraviolettem Lichte, das von einer Bogenlampe unter Verwendung von Quarzprisma und Quarzlinsen gewonnen wurde, die Pupillarreaktion nach Verdunklung, d. h. nach Ausschaltung der leuchtenden Strahlen, photographisch registriert. Nur mußte man an Stelle eines photographischen Objektivs auch zur Projektion der Iris auf die Spaltebene des Kymographions eine Quarzlinse verwenden. Bei den jetzigen, an U. V. sehr reichen Quecksilberbogenlampen dürfte sich die vielleicht auch für andere Zwecke brauchbare Registrierung durch ultraviolette Strahlungen wohl leicht vervollkommen lassen.

Kann man an Stelle einer indirekten Beleuchtung dem bewegten Objekt selbst die Fähigkeit des Leuchtens erteilen, so sind die Abbildungsverhältnisse besonders günstig^{*)}. So wurden⁴⁵⁾ z. B. die Bewegungen des oberen Augenlids von mir dadurch registriert, daß ich das Lid mit einem dünnen Kautschukisolerstoff überzog, der zwei einander sehr nahe Stanniolspitzen trug. Zwischen diesen sprang der durch ein Induktorium periodisch erzeugte Induktionsfunke über und man erhielt leicht beim Lidschlag im Dunkeln oder schwach erhellten Raum das Bild der Funkenreihe auf der lichtempfindlichen Schreibfläche. Die Methode erinnert an das oben beschriebene Verfahren von Fischer und Braune, bei dem sich auf stehender Platte durch die Fortbewegung des mit Geisslerschen Röhren versehenen Individuums die einzelnen charakteristischen Punkte des Körpers in Kurvenform abbildeten.

2. Die Projektionseinrichtung.

Sowohl bei der Abbildung durch Spiegel, als auch bei der mikroskopischen Projektion muß ein möglichst scharfes Bild in der direkt vor dem Film befindlichen Spaltebene erzeugt werden. Man wird also, wie es z. B. auch Frank getan hat, bei der Spiegelregistrierung zur Abbildung der Lichtquelle gute photographische Objektive benutzen, die wenigstens die chemisch wirksameren Strahlen wieder in einem Punkte vereinigen. Auch ist die Größe des Registrierspiegels durchaus nicht gleichgültig. Werden doch durch Spiegel kleinen Durchmessers in der Bildebene ebenso Diffraktionskreise erzeugt, wie bei Abbildungen durch das Mikroskop. So liefert z. B. nach Einthoven⁸⁹⁾, S. 1062, ein Spiegel von 3 mm Durchmesser bei einem Skalenabstand von 2,5 m von jedem Punkte der Skala einen Diffraktionskreis von ungefähr 1 mm Durchmesser. Oder, ist der Spiegelradius $r=1$ und der Skalenabstand gleich 1000, so erhält man nach Einthoven den-

^{*)} Anmerkung. Daß bei Beleuchtung des abzubildenden Objektes mit auffallendem Licht, wo ja die Strahlen nach allen Richtungen reflektiert werden, viel weniger Strahlen der Lichtquelle zur Bilderzeugung beitragen, als bei durchfallender Beleuchtung, braucht hier wohl nicht weiter erörtert zu werden. Vergleiche auch die geringe Helligkeit einer episkopischen Projektion im Vergleich zu einer diaskopischen.

selben Diffraktionskreis wie mit einem Objektiv von der num. Apertur 0,95, wenn mit ihm die Vergrößerung $v=950$ erzielt wird.

Da sich der Durchmesser des Diffraktionskreises dem Durchmesser des Spiegels umgekehrt proportional ändert, hat man es in der Hand, durch Vergrößerung des Spiegeldurchmessers, freilich mit Zunahme des Trägheitsmomentes, genügende Bildschärfe und zugleich genügende Lichtintensität zu erzielen. Frank³⁷⁾ (S. 428) verwendet z. B. meist plangeschliffene Spiegel von nur 0,2 mm Dicke und 1 cm Durchmesser. Anwendung noch dünnerer geschliffener Gläser ist wegen der Gefahr des Verziehens nach Frank nicht zu empfehlen. Die Masse μ , auf die Flächeneinheit (qcm) berechnet, beträgt unter den genannten Bedingungen durchschnittlich nur 0,06 g.

Besonders hohe Anforderungen an die Bildschärfe sind bei der Abbildung des Meniskus des Kapillarelektrometers oder der Grenzlinie der Quarzsaite zu stellen. Da man, wenigstens bei Beobachtung von Nervenströmen, bestrebt ist, die Leistungen dieser Instrumente, was die Geschwindigkeit der Reaktion und was die Größe des Ausschlages betrifft, möglichst vollständig auszunutzen, so wird man meistens die stärksten, eben noch anwendbaren Vergrößerungen gebrauchen. Beim Kapillarelektrometer ist der Meniskus durch die Rohrwandung, die Schwefelsäureschicht und das den Trog begrenzende Deckglas meist über 0,5 mm von der freien Deckglasoberfläche, der das Objektiv genähert werden kann, entfernt. Die durch diese gewissermaßen abnorme Deckglasdicke bedingten Abbildungsfehler lassen sich bei den Achromaten, die ja für die photographischen Zwecke meist verwendet werden, leicht korrigieren. So habe ich mir auf Anraten von Herrn Prof. Ambronn von der Firma Zeiss für das Kapillarelektrometer den Achromaten von 8 mm Brennweite mit einer Korrektion auf eine Deckglasdicke von 0,6 oder 0,7 mm herstellen lassen.

Bei dem Einthovenschen Saitengalvanometer habe ich jüngst das umgekehrte Verfahren eingeschlagen und benutze hier, da ja jedes Deckglas fehlt, einen Zeisschen Achromaten von 4 m, Apertur 0,95, der auf die Deckglasdicke 0 korrigiert wurde*). Es dürfte dieses das stärkste Trockensystem sein, das sich ohne Gefährdung der Saite noch anwenden läßt.

Die Verwendung der Achromate mit starker Vergrößerung verlangt zur Ausgleichung der sonst entstehenden Abbildungsfehler den Gebrauch eines Projektionsokulars. Die Projektionsokulare müssen durch Drehen des Kopfstückes so eingestellt werden, daß die Blende im Innern des Projektionsokulares sich mit maximaler Schärfe in der Spaltebene am Kymographion abbildet, denn nur dann wird das Luftbild, das in der Ebene des Okulardiaphragmas entstehen soll, sich ebenfalls in der Spaltebene scharf abbilden. Wie von Koehler⁹⁹⁾ näher ausgeführt wurde, kann man sich die Einstellung ein für allemal durch ein entsprechend geeichtes Meßband erleichtern. Für schwächere Vergrößerungen ist die Benutzung des Projektionsokulars, die ja immer einen gewissen Lichtverlust bedeutet, nicht erforderlich. Der Versuch Hürthles²²⁾, bei der Immersion durch entsprechende Korrektion das Projektionsokular wegzulassen, um mehr Licht zu gewinnen, hat, wie er selbst betont, kein befriedigendes Ergebnis geliefert.

*) Wie Einthoven soeben mitteilt (Pflügers Archiv 1910), hat er genau die gleiche auf Deckglasdicke 0 korrigierte Linse verwendet.

Da bei den Registrierapparaten die Plattenbewegung meist nur in einer Richtung, in der Regel in der Horizontalen erfolgen kann, so wird es vielfach nötig, durch einfach optische Hilfsmittel die Bildebene so weit um die optische Achse zu drehen, daß der betreffende Bewegungsvorgang senkrecht zur Richtung der Plattenbewegung erfolgt. So wird man beispielsweise das Bild der Saite des Saitengalvanometers um 90 Grad drehen müssen, wenn

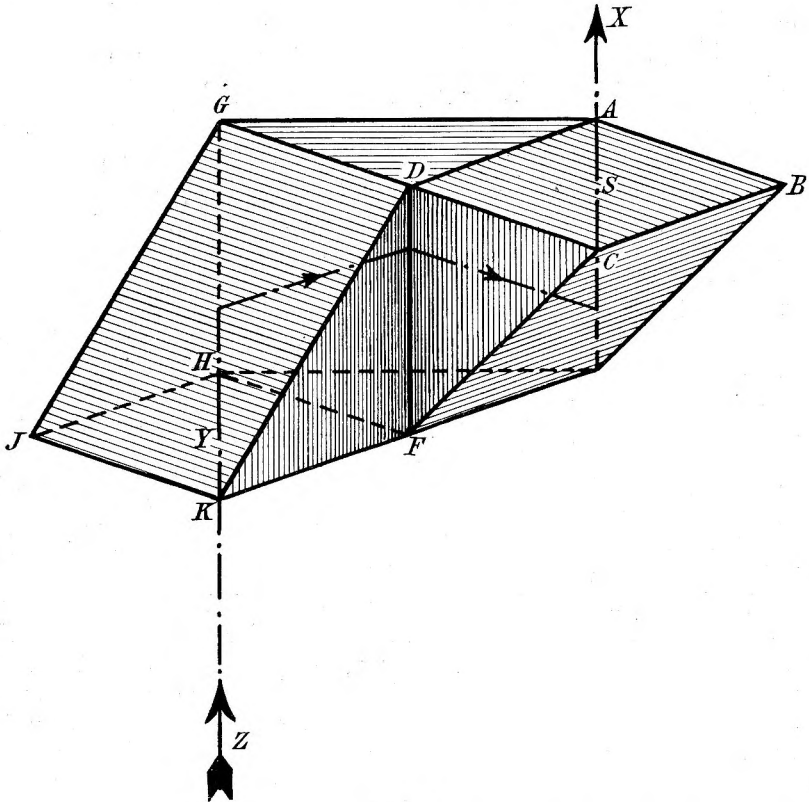


Fig. 10.

Reversionsprisma für das Saitengalvanometer nach einer Skizze der Firma Carl Zeiss, Jena.

man die in vielen Fällen bequemere Verzeichnung auf einem sich um die Vertikalachse drehenden Kymographion vornehmen will, bei der sich also die Schreibfläche in der Horizontalen vorwärts bewegt. Man erreicht eine Drehung der Bildebene um jeden beliebigen Winkel, wie schon Helmholtz¹⁰⁰⁾ gezeigt hat, durch Kombination zweier gleichschenkliger Glasprismen (S. 634).

Aber auch Spiegelung an einfachen Glasspiegelflächen kann unter Umständen, wie z. B. Bose⁵⁷⁾ angibt, zu einer derartigen Drehung des Gesichtsfeldes um die optische Achse benutzt werden. Bei Anwendung der reflektierenden Prismen ist der Lichtverlust ein verhältnismäßig geringfügiger und infolgedessen ist diese Anordnung auch wohl schon mehrfach verwendet

worden, z. B. von Weiss⁶⁶⁾ (S. 385) und insbesondere von Einthoven, wie aus einer Angabe von Cremer¹⁰¹⁾ hervorgeht, zur Drehung des Bildes der Quarzsaite. Ich selbst habe mir von Zeiss eine derartige Prismenkombination anfertigen lassen, die sich direkt am Kopf des Projektionsokulars anschrauben läßt. Eine merkliche Beeinträchtigung der Bildschärfe tritt nach meinen Erfahrungen bei dieser Anordnung nicht ein, auch ist der Lichtverlust nicht sehr groß. Gelingt es doch trotz der geringen Lichtintensität einer Bogenlampe von nur 20 Ampère noch bei 4 m Plattengeschwindigkeit brauchbare Kurven zu erhalten.

In der von der Firma Zeiss gelieferten Prismenkombination (vergl. Fig. 10) trifft der Strahl ZY senkrecht auf die Seitenfläche KIH F des ersten gleichschenkelig rechtwinkligen Prismas auf, wird dann auf die Hypotenusenfläche GHA eines zweiten mit dem ersten verkitteten Prismas ADGH F gespiegelt und endlich von der Hypotenusenfläche des dritten Prismas DABCF so reflektiert, daß der Strahl die eine Kathetenfläche ABCD in S wieder senkrecht durchsetzt. Die spiegelnden Prismenflächen sind gut versilbert.

Oft ist es erwünscht, denselben Vorgang in seinem Beginn bei großer Plattengeschwindigkeit und gleichzeitig oder unmittelbar danach den ganzen Verlauf des Prozesses bei langsamer Bewegung der Schreibfläche zu registrieren. Dieses läßt sich besonders leicht am Saitengalvanometer ausführen. Während der obere Teil der Saite auf dem Spaltschirm des Apparates für schnelle Verzeichnung entworfen wird, kann man den unteren Teil der Saite durch Einschaltung eines Spiegels auf den Spaltschirm des Kymographions mit langsamem Gang projizieren. Ich verwendete dazu das von mir 1904 beschriebene Kymographion, während zur raschen Aufzeichnung der von Cremer¹⁰¹⁾ beschriebene Fallapparat Verwendung fand. Am Kapillarelektrometer, wo sich eine solche Teilung des Bildes nicht wie bei der Saite vornehmen läßt, würde man, soweit dies möglich ist, wohl am besten durch Wiederholung des Versuches nachträglich bei langsamem Gang die Verzeichnung vornehmen. Übrigens gibt es ja Kymographien (siehe unten), die einen sehr raschen Wechsel der Geschwindigkeit gestatten.

Spalt und Zylinderlinse.

Die Bedeutung des Spaltes liegt darin, von den Bildern der mehr oder weniger ausgedehnten Objekte, deren Bewegung registriert wird, eine Linie, oder richtiger einen schmalen Streifen auszuschneiden, der dann allein zur Abbildung kommt. Dieser Streifen würde sich bei bewegter Schreibfläche zeitlich nacheinander auf verschiedenen Stellen derselben abbilden.

Entbehrlich ist der Spalt nur in dem Falle, wo sich eine leuchtende Fläche von sehr kleiner Ausdehnung (Induktionsfunke) in der Vertikalen auf- und abbewegt. Registriert man durch einen vor dem Spalt sich drehenden Muskelhebel die Kontraktion eines, z. B. an demselben Hebel angreifenden Muskels, so hat man, gegenüber der gewöhnlichen Tangentialschreibung auf berufter Trommel den Vorzug, daß erstens die Punkte gleicher Zeiten vertikal übereinander stehen, zweitens das Abheben der Schreibfeder von der Trommelfläche bei großen Exkursionen nicht mehr in Betracht kommt, und drittens, daß die Hebung des Schattenbildes des Hebels der Längenänderung des Muskels

bei kleinen Exkursionen nahezu direkt proportional ist. Bei großen Exkursionen wird die Kontraktion im Schattenbilde unverhältnismäßig stark vergrößert.

Einfluß der Spaltbreite und der Geschwindigkeit der Objektbewegung auf die Schärfe der Kurve.

Sehr häufig beobachtet man, daß bei Hebung eines solchen Schattenbildes sich die dunkle Linie ganz außerordentlich verschmälert, ja in gewissen Fällen bei zu langsamem Gang der Schreibfläche, bzw. zu weitem Spalt oder auch zu rascher Hebung wird die Kurve während des steilen Anstieges überhaupt unsichtbar. Dies tritt in zahlreichen Kardiogrammen hervor, wo die Saite, die hier die Rolle des schattengebenden Hebels spielt, besonders steile Ausschläge macht.

Als Beispiel für dieses, den meisten bekannte Verhalten mag Figur 11 dienen, wo die weitgehende Verschmälерung des Saitenbildes ohne weiteres

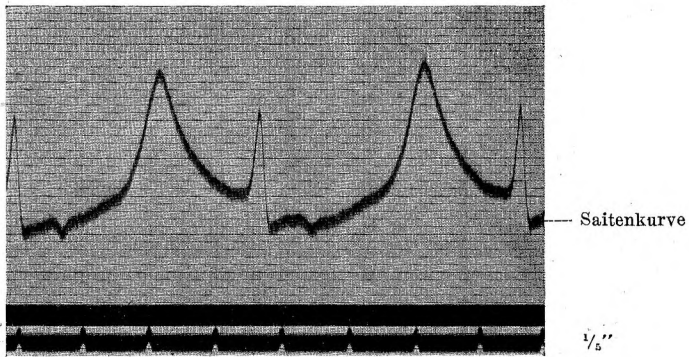


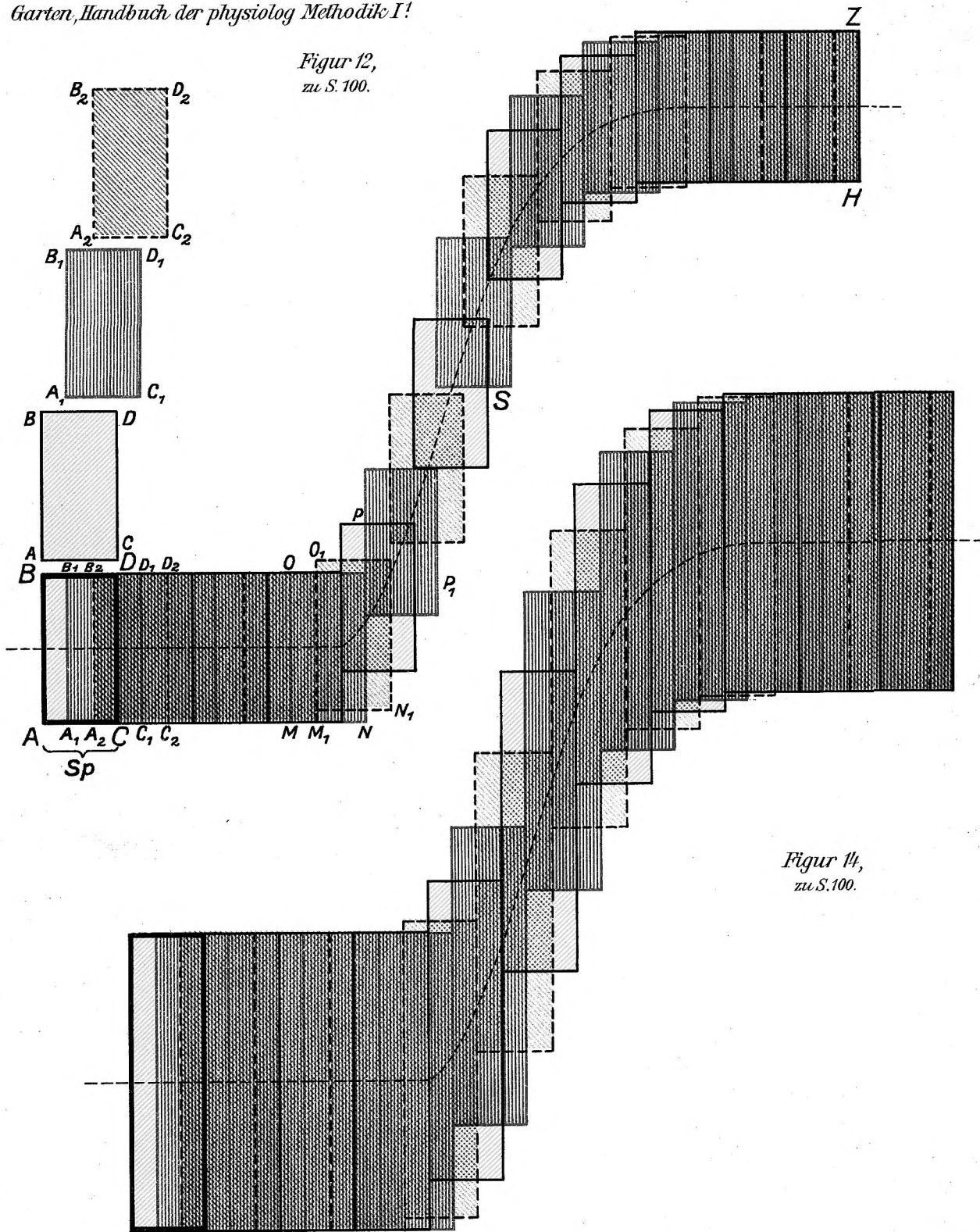
Fig. 11.

Elektrokardiogramm vom Menschen, bei Ableitung von beiden Armen.

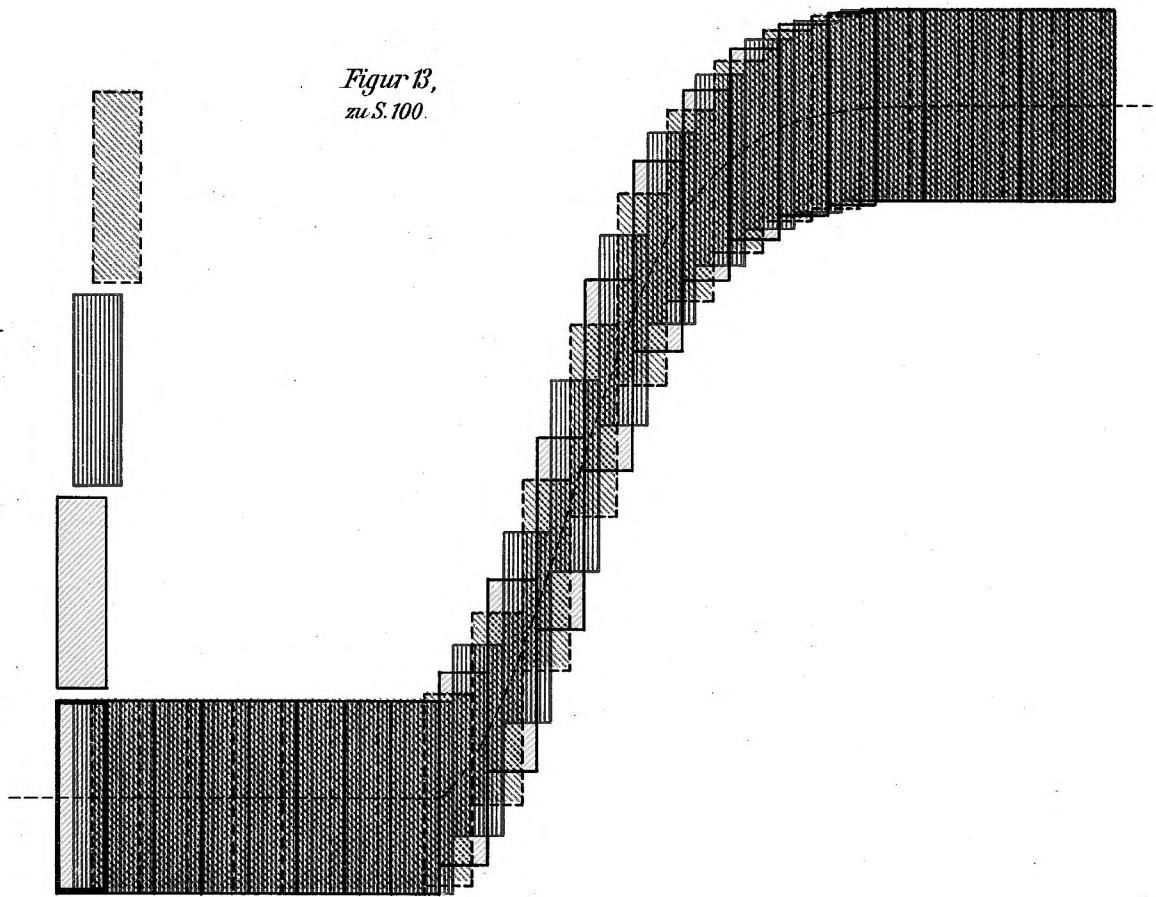
auffällt. Da bisher für dieses selbstverständlich scheinende Phänomen keine ausführliche Erklärung gegeben ist, sei in beistehenden schematischen Figuren die Ursache auseinandergesetzt.

Es sei in Figur 12, 13 und 14 von einem Hebel von der Breite AB das Band $ABXZ$ registriert worden und der Spalt habe die Breite Sp . Der einfachen Darstellung halber wird im folgenden angenommen, daß es sich um einen leuchtenden Hebel handle, der sich auf dunklem Grunde abbilden mag. Nimmt man an, daß statt der kontinuierlichen schwachen Belichtung z. B. nur 3 entsprechend intensivere „Momentanbelichtungen“ erfolgen, während sich die Schreibfläche zur Längsrichtung des Spaltes um eine Spaltbreite nach links verschiebt, so würden die Bilder des Spaltes, um je $\frac{1}{3}$ Spaltbreite verschoben, partiell aufeinander fallen, also $ACDB$ auf $A_1C_1D_1B_1$ und dieses auf $A_2C_2D_2B_2$ usw. Es wird also, nachdem $\frac{2}{3}$ Spaltbreite vorübergegangen sind, solange der Hebel ruht, eine vollkommene dreifache Überdeckung der Bilder stattfinden. Dagegen wird die photographische Wirkung an der Stelle AA_1B_1B während des Vorübergehens vom ersten Drittel des

Figur 12,
zu S. 100.



Figur 14,
zu S. 100.



Figur 13,
zu S. 100.

Spaltes ganz schwach sein und auch in dem Rechteck $A_1 B_1 B_2 A_2$ beträgt die Wirkung nur $\frac{2}{3}$ derjenigen, die während des übrigen Kurvenverlaufes zu beobachten ist.

Nehmen wir nun an, daß die schematische Kurve im Punkte K plötzlich ansteigt, dann wird, nachdem die Fläche MN OP kurz belichtet ist, die $\frac{1}{3}$ Spaltbreite später erfolgende Belichtung eine Fläche der empfindlichen Schicht bedecken, die, etwas höher gelegen, nur noch zum Teil mit der zuvor belichteten zusammenfällt ($M_1 N_1 O_1 P_1$). Und verfolgen wir das Bild des Hebels, wie es nach Verschiebung um $\frac{1}{3}$ Spaltbreite wieder entworfen wird, so deckt dieses die beiden vorhergegangenen Spaltbilder nur noch mit einer ganz geringen Fläche und in ähnlicher Weise zeigt sich an den steilsten Stellen der Kurve besonders, daß eine Deckung aller 3 einander folgenden Spaltbilder überhaupt nicht mehr zustande kommt, ja an der Stelle S sogar nur ein einziges Spaltbild sich eine Strecke weit abbildet. Entsprechend der kürzeren Exposition wird die Kurve hier vielleicht gar nicht mehr sichtbar sein, an den benachbarten Stellen aber nur in sehr verschmälert Form, nämlich nur dort, wo sich 2 oder alle 3 Spaltbilder überdecken. Man erhält also eine verschmälerte und deshalb vielfach schärfer erscheinende Kurve an den Stellen raschen Anstiegs oder steileren Abfalls. Die nur schwach belichteten Nachbarteile treten zurück, weil meist der Spalt im Vergleich zur Breite des Hebels außerordentlich schmal ist. Die gleichen Überlegungen bleiben bestehen, wenn man, statt 3 Belichtungen, beliebig oder auch unendlich viel Belichtungen während der Verschiebung um eine Spaltbreite annimmt. Bei Zerlegung in eine große Zahl von Einzelbelichtungen wird jede einzelne eine dementsprechend viel geringere chemische Wirkung besitzen.

Sehr wesentlich anders wird das Bild, wenn man, wie in Figur 13, einen viel engeren Spalt annimmt. Hier wird bei derselben Breite des Objektes die Kurve überall sichtbar bleiben müssen. Die Anwendung eines sehr engen Spaltes ist also bei ausreichender Belichtung zu empfehlen, um auch die steilsten Kurventeile noch sichtbar zu machen. Andererseits kann man, wie in Figur 14, bei gleicher Spaltbreite, wie in Figur 12, statt des schmalen, einen breiten Hebel abbilden. Hierfür ist das Saitengalvanometer am ungünstigsten, das Kapillarelektrometer das günstigste Objekt. Auf diesen Punkt hat jüngst, worauf mich Herr Dr v. Brücke gütigst aufmerksam machte, A. Samojloff¹⁰²⁾ hingewiesen. Er hatte am Myographionhebel eine kleine Kartonplatte befestigt und bemerkt hierzu: „Dadurch wurde bewirkt, daß der entworfenen Schatten keinen doppelten, sondern einen einfachen Kontur gab. Diese Maßregel ist zuweilen von großer Bedeutung, denn nimmt man im Falle einer langsamen Bewegung der Platte einen dünnen Hebel, der eine relativ rasche Erhebung und Senkung, wie bei der Muskelzuckung der Fall ist, ausführt, so kann dabei infolge stärkerer Einwirkung des Lichtes auf der nur langsam den Spalt verlassenden Plattenstelle zuweilen jede Spur einer Kurve fehlen. Durch die angeklebte Kartonscheibe haben wir für die Photographie des Hebels etwa dieselben Verhältnisse geschaffen, wie für die Photographie des Hg-meniskus von selbst gegeben sind.“

Daß bei breitem Spalt und breitem Hebel die Konturlinie im anstei-

genden Teil weniger scharf wird als in Figur 13, geht ohne weiteres aus der Abbildung hervor. Es sei noch bemerkt, daß in allen 3 Figuren der Kurvenlauf genau der gleiche ist und in Figur 14 nur die Spaltbreite variiert ist.

Für eine ausreichende Belichtung der Schreibfläche ist es von großer Wichtigkeit, daß der Spalt eine hinreichende Breite besitzt. Für eine scharfe Wiedergabe des Bewegungsvorganges ist dagegen, wie schon aus obiger Darlegung hervorgeht, ein möglichst schmales Spaltbild erforderlich. Man hat deswegen schon frühzeitig (vergl. z. B. Burch 1892) den Kunstgriff angewendet, zunächst einen verhältnismäßig breiten Spalt und in gewisser Entfernung dahinter eine Zylinderlinse anzubringen. Die durch den Spalt tretenden Strahlenbündel werden durch Einschaltung einer Zylinderlinse, deren Längsachse der Längsrichtung des Spaltes genau parallel läuft, zu einer schmalen Lichtlinie zusammengebrochen. Übrigens ist auch der umgekehrte Weg eingeschlagen worden. Man hat die Zylinderlinse vor den Spalt gebracht, so daß auf der Spaltebene ein in einer Dimension verkleinertes und zugleich lichtstärkeres Bild des abzubildenden Objektes zustande kam. Nur von dem Teil des Bildes, der sich auf dem schmalen Spalt abbildet, werden Lichtstrahlen ausgehen, welche die dicht hinter dem Spalt gelegene lichtempfindliche Fläche treffen (vergl. Einthoven⁸⁹⁾ und Frank¹¹⁾*)).

Wie Burch mit Recht hervorhebt, gibt ein enger Spalt allein schon Veranlassung zur unscharfen Abbildung durch Beugungserscheinungen. Dies fällt natürlich weg, wenn wir die Zylinderlinse zwischen Spalt und Schreibfläche anbringen, nach dem von Burch eingeschlagenen Verfahren¹⁰³⁾. Allerdings empfiehlt es sich wohl nicht, eine so schwache Zylinderlinse anzuwenden, wie sie Burch früher brauchte (25 mm Brennweite), bei der er den Spalt 25 cm vor der Linse aufstellte.

Ich benutze vielmehr jetzt Zylinderlinsen von 2 und neuerdings sogar von 1 cm Brennweite**) und kann, was wohl nicht näher auseinander gesetzt zu werden braucht, den Spalt der Linse bis auf wenige Zentimeter annähern, wobei ich immer noch ein stark verschmälertes Bild des Spaltes auf der lichtempfindlichen Schicht erhalte. Den Spalt vor der Zylinderlinse anzubringen, ist besonders dann angezeigt, wenn die Grenzlinie zwischen heller und dunkler Fläche nicht ganz eben ist und, wie z. B. beim Kapillarelektrometer, einen Kreisbogen darstellt, oder grobe Hervorragungen besitzt, wie bei den versilberten Quarzsaiten. Hier ist es von größter Wichtigkeit, einen Teil des abzubildenden Objektes auf dem Spalt zu entwerfen, dessen Grenzlinie möglichst wenig von der Geraden abweicht.

Ferner ist es, wie weiter unten noch auseinander zu setzen ist, wichtig, zur Kurvenauswertung Horizontallinien auf die Schreibfläche zu entwerfen, und dies läßt sich, wie ich seinerzeit beschrieb, am leichtesten dadurch erreichen, daß man auf der Planseite der Zylinderlinse eine Millimeterteilung anbringen läßt, die, wenn sie der Schreibfläche nahe genug liegt, als Schatten

*) Anmerkung. Auch an dem Cremerschen Fallapparat ist von Edelmann die Zylinderlinse vor einem Spalt angebracht worden, und zwar liegt sie hier direkt auf dem Spalt.

**) Anmerkung. Geliefert von Zeiss, Jena. 100 mm sind geteilt; Breite der Striche 0,04 für die feineren, 0,08 für die dickeren Striche; Länge der Striche 5 mm.

sehr scharfe Horizontallinien liefert. Ist dagegen die Zylinderlinse zu weit von der Schreibfläche entfernt, so muß man, wie es Einthoven tat, noch eine Glasplatte mit Teilung einschieben, was immerhin einen gewissen Lichtverlust mit sich bringt. Die Breite des Spaltes richtet sich nach dem Grade der Unschärfe, der im gegebenen Falle zulässig erscheint. Bei Verwendung der Zylinderlinse wäre zwischen dem primären Spalt und dem terminalen Spaltbild zu unterscheiden, dessen Breite sich, wie bei jeder Konvexlinse, in bekannter Weise berechnen läßt. Die Unschärfe stellt sich z. B. bei einem im Winkel α ansteigenden Kurventeil, wenn wir von der Unschärfe des ruhenden Objektes absehen, durch einen Streifen dar, der dem Produkt aus der Breite des terminalen Spaltes und $\sin \alpha$ entspricht. In dieser Breite würde die Weißlichkeit des Grundes allmählich in die Schwärzlichkeit übergehen, und man kann annehmen, daß 0,1 mm für die gewöhnliche Betrachtung das oberste Maß der Unschärfe darstellt.

Meist ist am ruhenden Objekt die Grenzlinie zwischen hellem und dunklem Teil, z. B. an dem Quecksilbermeniskus, keine scharfe, sondern es geht, selbst bei günstigster Einstellung, die Schwärzlichkeit des Grundes nur allmählich in die Weißlichkeit des Objektes über. Bemerkenswerterweise ist diese Unschärfe, wenn man mit einem hinreichend engen Spalt arbeitet, bei ruhendem Objekt, also beim horizontalen Kurvenstreifen am größten und verliert sich mit der Geschwindigkeit der Bewegung (Steilheit der Kurve), wovon man sich besonders an zahlreichen Kapillarelektrometerkurven überzeugen kann. Am besten läßt sich ja auch hier geometrisch das Verschwinden der Unschärfe bei steilem Kurvenanstieg dadurch erklären, daß die dem Rand des Meniskus entsprechenden Zerstreungskreise sich bei steilem Anstieg zum größeren Teile überdecken. Die Konstruktion wäre entsprechend der in Figur 14 auszuführen.

Eine besondere Vorsichtsmaßregel ist dann zu beobachten, wenn man gleichzeitig mehrere ganz verschiedenartige Vorgänge auf der gleichen Schreibfläche registrieren will. So wurden z. B. vom Verfasser⁷²⁾ bei der Verzeichnung der rhythmisch-elektrischen Erscheinungen am Muskel dadurch gleichzeitig die mechanischen Vorgänge registriert, daß der Muskel unter isometrischer Bedingung mittels kurzen Hebels einen festgespannten Draht um ein geringes Ausmaß torquierte. Die geringe Winkelbewegung wurde durch ein am Hebel befestigtes Spiegelchen in bekannter Weise dadurch sichtbar gemacht, daß ein Strahlenbüschel, das von einer zweiten Lichtquelle stammt, auf der lichtempfindlichen Platte ein Bild dieser Lichtquelle erzeugte. Da es bei solcher Mehrfachregistrierung, wo z. B. Latenzzeiten und dergl. bestimmt werden sollen, sehr darauf ankommt, daß die zu gleichen Zeiten registrierten Bilder in die gleiche Vertikalebene der Schreibfläche fallen, muß man darauf achten, daß die Mitte des Spiegelchens genau vertikal über oder unter der Verbindungslinie zwischen Projektionsokular und Spalt zu liegen kommen. Man kann übrigens leicht bei stehender Trommel durch eine kurze Belichtung mit beiden Lichtquellen sich eine Lagedifferenz sichtbar machen. Später hat Frank, mit Hilfe der Spiegelmethode ausführlich das Prinzip der Mehrfachverzeichnung dargestellt und hierbei für eine genaue Einstellung von 3 verschiedenen Spiegelkapseln eine geeignete fixe Anordnung empfohlen⁹²⁾ (S. 519, siehe auch oben S. 95).

Photokymographien.

Bis in die jüngste Zeit haben sich eine Reihe von Forschern der gewöhnlichen Kymographien bedient, die man teils im Dunkelzimmer aufstellte, und dann nur durch Schirme und dergl. vor falschem Licht schützte, oder es wurde das ganze Kymographion in einen Kasten eingeschlossen und dieser mußte dann zum Überziehen mit lichtempfindlichem Papier jeweilig ins Dunkelzimmer transportiert werden, bzw. muß der Experimentierraum selbst vorübergehend verdunkelt werden. Es ist nicht zu leugnen, daß auch mit solchen einfachen Mitteln von der Hand geübter Untersucher ganz ausgezeichnete Kurven erhalten worden sind.

So benutzte z. B. Hermann⁵³⁾ für seine phonographischen Untersuchungen ein Baltzersches Kymographion, das in einem improvisierten Schutzkasten untergebracht war und gestattete, zahlreiche Kurven durch Heben der Trommel auf dem gleichen Papierstreifen aufzunehmen. Und an anderer Stelle erwähnt er, daß er sich auch einer Kassette bediente, die einfach mit der Hand hinter dem vertikalen Spalte horizontal verschoben wurde. In gleicher Weise benutzte auch Boruttau⁵³⁾ 1901 noch die Handverschiebung der Kassette, die, wie er mit Recht betont, den Vorteil gewährt, daß durch Verlangsamung der Bewegung am Schluß neben den raschen Veränderungen im Beginn in gedrängter Kürze auch noch der ganze Ablauf der Erscheinungen in großen Zügen verfolgt werden kann. Immerhin wurden andererseits frühzeitig auch schon besondere Photokymographien konstruiert, die wenigstens teilweise nicht die Übelstände der früheren Registrierapparate besaßen.

Man könnte die Photokymographien in solche einteilen, die nur im Dunkelzimmer gebraucht werden können, und solche, bei denen sich die Kassette oder das lichtempfindliche Papier durch geeignete Vorrichtungen im Hellen in den Apparat einziehen läßt, so daß nur zur Entwicklung überhaupt eine Dunkelkammer nötig wird.

Für den Gebrauch im Dunkelzimmer wurde ein sehr einfacher und dabei zuverlässig arbeitender Apparat von Burch^{81 und 103)} (Fig. 8 S. 23) angegeben, den er als „Pendulum Motor“ bezeichnet (Fig. 15). Derselbe beruht auf dem Prinzip der Atwoodschen Fallmaschine. Ein schwerer, um 0 drehbarer doppelarmiger Balken A—A wird durch ein an dem Seitenarm befestigtes Gewicht in drehende Bewegung gesetzt, sobald man die Arretierung bei G löst. Das Gewicht E fällt auf die Tischplatte F auf, und von diesem Moment an bewegt sich praktisch A—A mit konstanter Geschwindigkeit weiter. Bei diesem Apparat wird auf der bei C—S in eine Kassette eingeschobenen Platte der Bewegungsvorgang im Polarkoordinatensystem verzeichnet. Die Punkte gleicher Zeiten liegen auf Linien, die radiär zu dem Drehpunkt 0 gerichtet sind, während sich ein ruhender Hebelrand und dgl. um den Drehpunkt 0 auf konzentrischen Kreisbögen abbilden. Im Beginn der Plattenpassage vor dem vertikalen Schlitz wird ferner durch den Hebel M der zur Reizung dienende Kontakt K geöffnet und endlich wird das äquilibrierte Pendel nach Vorbeischwingen am Schlitz durch die Arretierung X gefangen.

Wie Burch dargelegt hat, bietet die Verzeichnung im Polarkoordinatensystem für die Ausmessung der Kapillarelektrometerkurven gewisse Vorzüge (vgl. Garten⁸⁸⁾). Ich selbst habe jahrelang einen derartigen Apparat benutzt, bei dem die Bewegung durch Federkraft herbeigeführt wurde. Man kann mit dem Apparat sehr rasch arbeiten (schneller Plattenwechsel) und

hat den Vorteil, Glasplatten als Träger der empfindlichen Schicht verwenden zu können. Auf diesen ist bei sehr empfindlichen Emulsionen die Gefahr der „spontanen“ Schleierbildung geringer. Auch sind die Verziehungen der Schicht, die zu Fehlern in der Längenmessung werden können, bei Glasplatten so gut wie ausgeschlossen.

Für die Verzeichnung im rechtwinkligen Koordinatensystem wurde vom Verfasser eine Schleudertrommel konstruiert, die ebenfalls für das Dunkelzimmer eingerichtet war und gestattete Geschwindigkeiten bis zu 2 m beim Registrieren anzuwenden.

Bei den bisher genannten Anordnungen befinden sich Lichtquelle, Kapillarelektrometer oder ein anderes Instrument, dessen Bewegungsvorgänge aufzuzeichnen sind, in einem Hellzimmer, und nur die, aus dem Projektionsokular des Mikroskopes austretenden Strahlenbüschel werden mit einem photographischen Verschluss durch eine Öffnung der Wand des angrenzenden Dunkelzimmers in dieses eingelassen. Man versteht zweckmäßig bei solchen Doppelzimmeranordnungen die Bretterwand mit einer Holzklappe und außerdem mit einer Öffnung, die durch einen längeren Tuchärmel geschlossen ist, so daß man jederzeit von innen die Mikrometerschraube des Mikroskopes und dgl. bedienen kann.

Bei den großen Vorzügen, die das Arbeiten im Tageslicht gewährt, dürften im allgemeinen Photokymographien für Verzeichnungen im hellen Raume vorzuziehen sein.

Von mehr improvisierten derartigen Konstruktionen aus älterer Zeit sei das Photokymographion von Stein erwähnt, bei dem eine Kassette auf einer horizontalen Schlittenbahn verschoben wurde. Dasselbe Prinzip wurde übrigens schon von Burdon-Sanderson und Page 1883 angewendet. Nach einer kurzen Angabe Uexkülls¹⁰⁴⁾ hat Schönlein ein gewöhnliches Kymographion durch eine, nicht näher beschriebene Konstruktion zur Lichtschreibung im Hellen eingerichtet, von der nur angegeben ist, daß die Trommel nach Überziehen mit lichtempfindlichem Papier im Dunkelzimmer in einem Kasten ins Hellzimmer transportiert werden konnte und hier durch geeignete Schiebvorrichtungen in den lichtdichten Kasten des Kymographions gebracht wurde.

Die auch sonst vielfach übliche Benutzung gewöhnlicher Kymographien zur Vorwärtsbewegung der Papierfläche, hat, wie schon v. Kries⁹⁶⁾ hervorhob, den Nachteil, daß infolge der stoßweisen Bewegung durch den Zahntrieb, das Kurvenblatt Ungleichförmigkeiten in der Belichtung zeigt, „Ungleichförmigkeiten, welche bei einer gewöhnlichen chronographischen Kurve noch kaum eine merkliche Deformation der Zeichnung ergeben“. Später ist dieser Übelstand noch mehrfach bemerkt worden, besonders aber trat er in der von Bernstein und Tschermak⁸⁷⁾ gebrauchten Registriermethode hervor, bei der statt der Plattenbewegung ein auf der Achse eines Baltzerschen Kymographions befindlicher Spiegel die relative Verschiebung des Spaltbildes gegen

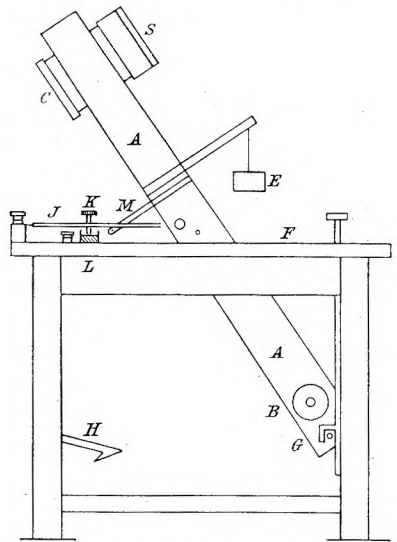


Fig. 15.

Aus: Burch, The capillary electrometer in theory and practice. London, Tucker 1906. Reprints from the Electricism.

die Schreibfläche bewirkt. Hier sieht man direkt sogar kleine Zählungen der Kapillarelektrometerkurve, die höchst wahrscheinlich der durch den Spiegel vergrößerten ruckweisen Bewegung des Uhrwerkmotors ihr Dasein verdanken. Immerhin ist die von Bernstein und Tschermak gebrauchte Anordnung, die wohl auf die von R. du Bois-Reymond⁹⁷⁾ benutzte zurückgeht, geeignet, mutatis mutandis einen guten Verzeichnungsapparat abzugeben, nur muß man wegen mehrfacher Lichtverluste eine hinreichend intensive Lichtquelle zur Verfügung haben.*)

Für längere Aufnahmen hatte Belarminoff³³⁾ eine Einrichtung konstruiert, bei der ein Kasten, der 3 Rollen enthielt, die um vertikale Achsen drehbar waren, an die Stelle der Kassette eines photographischen Apparates gebracht wurde. Auf der einen Rolle war das lichtempfindliche Papier aufgewickelt. Dasselbe lief über die zweite Rolle, die direkt hinter dem Spalt sich befand, um auf der dritten Rolle aufgewickelt zu werden. Die Bewegung dieser dritten Achse wurde durch ein an der Außenseite der Kassette angebrachtes Triebrad vermittelt. Bei dieser einfachen Anordnung ist entsprechend der Zunahme des Durchmessers der aufwickelnden Rolle die Geschwindigkeit nie konstant.

Eine wesentlich vollkommenerere Einrichtung für die Verzeichnung auf photographischem Papier oder Film hat Frank (Ztschr. f. Biologie Bd. 41) angegeben, bei der nach dem Prinzip der Tageslichtfilms im Hellzimmer das lichtempfindliche Papier auf einer Spule in das Kymographiongehäuse eingeführt werden kann. Das Film läuft dann von der Vorratsspule über eine größere Kymographiontrommel, um sich auf einer zweiten Spule, deren Drehung durch ein gewisses Übergewicht bewirkt wird, aufzuwickeln. Infolge der Reibung auf der großen Fläche der Kymographiontrommel erfolgt eine Vorwärtsbewegung der Papierfläche aber nur dann, wenn die Kymographiontrommel in Bewegung gesetzt wird. Durch eine geeignete Zeigervorrichtung an der Außenfläche des Kymographions läßt sich die jeweilige Abwicklung des Papiers kontrollieren. Ich kann auf eine nähere Darlegung dieses Apparates verzichten, da neuerdings ein wesentlich vervollkommneter derartiger Apparat von Frank für Registrierung auf längeren Papier- oder Filmstreifen hergestellt worden ist.**)

Das Prinzip des in Fig. 17 in Seitenansicht in Fig. 16 von oben skizzierten Hauptteils des Apparates ist kurz folgendes: Eine in einem zylindrischen Gehäuse eingeschlossene Metalltrommel***) hat an einem Teil ihrer Peripherie einen Ausschnitt (F. R. in Fig. 16, Ansicht von oben). Zentralwärts von dieser Stelle lassen sich im Innern des Hohlraumes der Trommel zwei Filmspulen einsetzen, in derselben Weise, wie es bei den Kodakapparaten geschieht. Es wird zunächst das auf der einen Seite mit schwarzem Papier umkleidete Film in der Dunkelkammer auf einer Spule aufgewickelt und durch ein längeres Band aus schwarzem Papier noch verlängert. Man kann dann ohne Gefahr des Schleierns die Spule im Hellen einsetzen und dann zieht man den Anfang des schwarzen Streifens um die Film-

*) Ich selbst habe in Gießen längere Zeit mit einer derartigen improvisierten Anordnung gearbeitet. Der Spiegel wurde durch einen, nach dem Atwoodschen Prinzip bewegten Hebel gedreht und die ganze Anordnung gestattete es, mit Kassetten im Tageslicht zu arbeiten. Trotz der Lichtverluste durch Reflexion usw. konnte ich die Geschwindigkeit bis zu 1 m steigern.

**) Zu beziehen durch Herrn Mechaniker Schmidt, Gießen.

***) Der lichtdichte Abschluß am oberen Trommelrand (Fig. 2) durch mehrfache winklige Knickung des Gehäusezylinders entspricht der von Einthoven verwendeten Abdichtung an seiner Gleitkassette.

trommel herum (vgl. die punktierte Linie in Fig. 16), um ihn auf der zweiten Spule wieder aufzuwickeln. Ist das erste Ende auf dieser letzteren befestigt, so wird die Tür des Trommelgehäuses geschlossen und man kann durch Drehen an einem Handgriff Z in Fig. 17 ein bestimmtes Stück Film von der ersten Vorratsrolle auf die große Trommelfläche herüberziehen. Da die Bewegung des Films von außen durch einen Tourenzähler kontrolliert werden kann, ist man in stande, die für jede Aufnahme nötige Papierstrecke abzuwickeln. Für den Versuch wird dann die große Trommel nebst den in ihrem Innern untergebrachten Filmspulen durch einen Motor (Phonographenuhrwerk oder Elektromotor) in gleichmäßige Drehung versetzt. Ferner

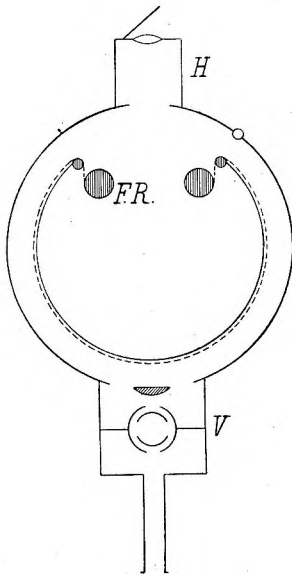


Fig. 16.

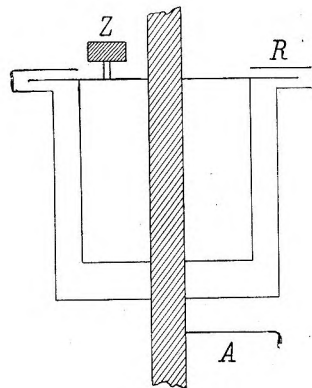


Fig. 17.

Aus: Frank: Ein Kymographion für photographische Registrierung. Ztschr. f. biolog. Technik und Methodik, Bd. I, 1908. Straßburg, J. Trübner.

hat Frank die sinnreiche Methode angewendet, durch einen kleinen, am Gehäuse angebrachten photographischen Apparat hinter jeder Aufnahme auf dem Papierstreifen direkt Nummer und Datum des Versuchs photographisch aufzuzeichnen. Durch Kontaktapparate, deren Beschreibung hier zu weit führen würde, ist es möglich, während des gleichmäßigen Trommelganges den Verschlussspalt auf elektromagnetischem Wege zu öffnen, die Reizung auszuführen und nach nahezu einer Umdrehung den Spalt zu verschließen, um einer Mehrfachbelichtung vorzubeugen. Zwischen jeder Aufnahme ist weiter nichts erforderlich, als die eine Filmrolle genau wie bei jedem Eastman-Kodak weiter aufzuwickeln. Der Apparat ist für die Verzeichnung relativ langsamerer Vorgänge (bspw. Blutdruckschreibung) sehr geeignet und entspricht etwa dem Baltzerschen Kymographion in bezug auf die Geschwindigkeit der Schreibfläche.

Neuerdings wurde ein dem ursprünglichen Frankschen Apparat für Registrierung auf endlosem Papier ähnliches Kymographion nach Angaben desselben Forschers durch Herrn Mechaniker Schmidt (Gießen) konstruiert. Herr Professor Frank hatte die Güte, mir zu gestatten, bereits an dieser Stelle das Prinzip des Apparates kurz darzulegen. In Figur 18 sieht man 3 miteinander kommunizierende zylindrische Hohlräume von oben. In dem ersten befindet sich das auf einer Rolle A aufgespulte lichtempfindliche Papier. Dasselbe ist durch einen Schlitz in den zweiten Hohlraum hinübergezogen und läuft hier über eine Kymographiontrommel B. An diese kann es durch 3 übereinander angeordnete Rollen C mittels Elektromagnets angepreßt werden und wird dann von der Trommel B mitgenommen, wenn diese durch ein Uhrwerk oder dgl. in Bewegung gesetzt wird, aber nur so lange, als die Rollen von C elektromagnetisch gegen B gepreßt werden. Sobald die Rollen von C sich von der Trommel B entfernen, hört die Bewegung des Papiers auf, obgleich die Kymographion-

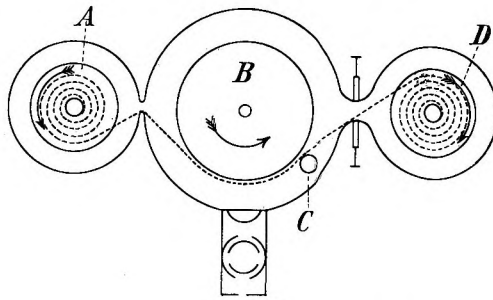


Fig. 18.

Neues Kymographion mit endlosem lichtempfindlichen Papier nach O. Frank.

trommel B weiter rotiert. Das durch die Bewegung von B am Spalt vorbeigeschobene Papier gelangt dann in einen dritten Hohlraum D, der sich durch Schiebervorrichtungen vom Kymographion lichtdicht abschließen und leicht vom übrigen Apparat entfernen läßt. Er allein braucht zur Entwicklung in die Dunkelkammer gebracht zu werden. Durch einen zwischen B und D angebrachten Schlitz kann ein dolchförmiges Messer eingeschoben und dadurch jederzeit das belichtete Papier abgetrennt werden. Da die Achse, welche die Rädchen bei C trägt, zugleich mit einem Zählwerk verbunden ist, läßt sich ohne weiteres die Länge des verbrauchten Papierstreifens ablesen. Es sei noch erwähnt, daß gleichzeitig mit dem Anlegen der Rädchen von C an die Trommel B und damit der Fortbewegung des Papiers elektromagnetisch der Momentverschluß geöffnet wird, der dann so lange geöffnet bleibt, als die Rollen bei C das Papier an B anpressen und damit eine Vorwärtsbewegung des Streifens bedingen. Der Hohlraum D, in den das belichtete Papier einläuft, besitzt einen rotierenden Boden. Hierdurch wird eine Aufwicklung des belichteten Papiers erreicht, so daß in D ein größeres Quantum Papier Platz finden kann. Sowohl diese von Herrn Mechaniker Schmidt ausgeführte Einrichtung der Aufwicklung des Papiers, als auch die Durchschneidung mit dem dolchförmigen Instrument

sind nach privaten Mitteilungen auf ältere Vorschläge Franks zurückzuführen.

Bereits vor einem Jahr hat auch Edelmann jun. einen Apparat zur Verzeichnung auf endlosem Papier angegeben, der nach dem gleichen Prinzip gebaut ist. Betreffs Einzelheiten der Konstruktion muß hier auf die Originalabhandlung ¹⁰⁵⁾ hingewiesen werden. Auch die anderen Registrier-
vorrichtungen Edelmanns sind in den leicht zugänglichen Mitteilungen der betreffenden Firma genügend beschrieben worden.

Für die Verzeichnung auf bewegter Trockenplatte sind 2 im Prinzip ähnliche Apparate von Einthoven ⁸⁴⁾ und von Hermann angegeben worden. In sehr sinnreicher Weise hat Einthoven, wie aus beistehender Fig. 19

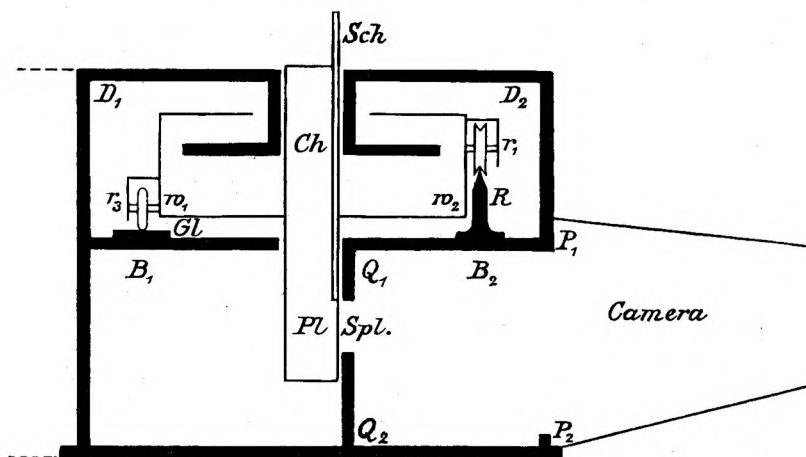


Fig. 19.

Seitenansicht des Einthovenschen Apparates zur photographischen Registrierung auf bewegter Trockenplatte. Aus Pflügers Arch. Bd. 79. Verlag Hager, Bonn.

hervorgeht, die Lichtdichtung seiner Kassette, die in einer Dose auf einem Rollwagen horizontal verschoben wird, bewirkt. Die Geschwindigkeit der Bewegung kann bei seiner Anordnung zwischen 2 cm und 1 m per Sekunde variiert werden. Eigenartig ist bei ihm das Prinzip der Vorwärtsbewegung der Kassette; es wird durch ein großes, von einem Elektromotor getriebenes Schwungrad durch Niederdrücken eines Hebels die Kassette mitgenommen und vorwärtsgeschoben, bis der Hebel in geeigneter Weise am Ende der Bahn arretiert wird.

Hermann und Gildemeister ¹⁰⁶⁾ verwenden neuerdings (1905) einen von Edelmann solid gebauten Apparat, bei dem die Kassette ähnlich wie bei einer früher benutzten, mehr improvisierten Einrichtung in der Horizontalen mit konstanter Geschwindigkeit nach dem Prinzip der Atwoodschen Fallmaschine vorwärts geschoben wird. Eine ähnliche, mehr improvisierte Konstruktion wurde von ihm schon 1903 und zuerst von Boruttau 1901 für kapillarelektrometrische Registrierung verwendet. Der die Platte tragende Wagen läuft unten auf zwei Rädern, während er oben durch Gleithülse an

einem Stahldraht entlang geführt wird. Nach Abhebung des Gewichtes wird die gleichförmige Geschwindigkeit erreicht und am Ende der Bahn erfolgt die Arretierung durch Luftbremse.

Recht bequem ist auch die Form der Atwoodschen Fallmaschine für die Verzeichnung am Saitengalvanometer, bei der die Platte vor einem horizontalen Spalt*) herabfällt. Es ist das die nach Cremers¹⁰⁷⁾ Angaben von Edelmann ausgeführte Konstruktion. Da die Metallkassetten in sinnreicher Weise sich nach Einthoven in dem Apparat von außen öffnen und schließen lassen, kann mit dieser Einrichtung ebenfalls bei Tageslicht gearbeitet werden. Der Kassettenträger läuft in einer vertikalen, vollständig vor Licht geschützten metallenen Schlittenbahn auf- und abwärts und wird von einer Darmsaite gehalten. Diese geht über die Nut einer Kupferscheibe am oberen Ende des Apparates und auf der Rückseite trägt sie ein Gegengewicht, das je nach der gewünschten Geschwindigkeit mehr oder weniger vollkommen den Kassettenträger äquilibriert. Durch die Kupferscheibe, die sich beim

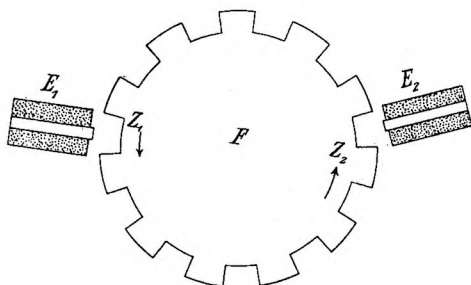


Fig. 20.

Tonrad von Paul de la Cour.

Herabfallen des Kassettenträgers zwischen zwei kräftigen Elektromagneten dreht, wird eine sehr starke Foucaultsche Dämpfung herbeigeführt, so daß die Geschwindigkeit bald nach Anfang der Fallbewegung zu einer gleichförmigen wird, indem sich ein Gleichgewicht herstellt zwischen der drehenden Kraft des Übergewichtes und der Gegenkraft der elektromagnetischen Dämpfung in der Scheibe. Ein auf Schlitten verstellbarer Helmholtzscher Schließungs- und Öffnungskontakt, der durch den Fallkörper in Tätigkeit gesetzt wird, erlaubt es, die Reizung im geeigneten Zeitmoment während des Falles der Platte vorzunehmen. Ist die Geschwindigkeit sehr gering, z. B. nur wenige Millimeter, so treten auch bei diesem Apparat Unregelmäßigkeiten auf. Immerhin ist die Geschwindigkeit bei diesem Apparat in weiten Grenzen zu variieren, und die Bewegung bleibt dabei eine äußerst gleichförmige. Im Leipziger Institut hat sich der Apparat für die Registrierung am Saitengalvanometer gut bewährt.

Auch das hydraulische Prinzip hat mit Erfolg zur Verschiebung der photographischen Platte Verwendung gefunden. So gibt Burch¹⁰³⁾ (l. c. S. 18)

*) Hierbei fällt die meines Wissens auch von Einthoven gebrauchte Drehung des Gesichtsfeldes durch eine Prismenkonstruktion, die ja immer einen gewissen Lichtverlust bedingt, weg.

eine Anordnung an, bei der ein Kolben durch Wasserdruck in einem horizontalen Rohr verschoben wird und sich durch einen Präzisionshahn der Wasserabfluß und damit die Plattengeschwindigkeit zwischen 0,3—5 cm variieren läßt. Neuerdings (1907) wendet Wertheim-Salomonson, wohl ohne den Burchschen Apparat zu kennen, für den Fallapparat das gleiche Prinzip an. Platten 9×18 werden dadurch mit konstanter Geschwindigkeit in der Vertikalen verschoben, daß ein Kolben durch Wasserdruck vorwärts getrieben wird. Ein Präzisionshahn erlaubt auch hier die Geschwindigkeit,

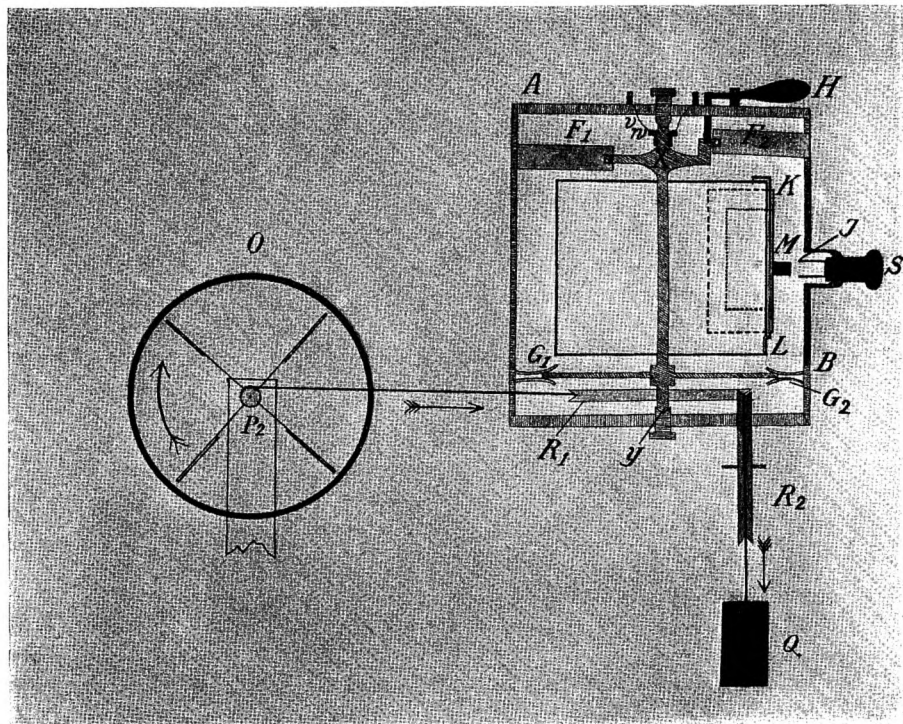


Fig. 21.

Photokymographion des Verf. Schematische Seitenansicht.

und zwar zwischen 1 — 150 mm, einzustellen, und bei Benutzung einer Übertragung kann die Geschwindigkeit bis auf 600 mm gesteigert werden. Erst unterhalb von 4 mm treten Unregelmäßigkeiten in der Bewegung auf.*) Ferner wurde die Kolbenbewegung nach einer mündlichen Mitteilung von Herrn Prof. Hofmann in einem Kymographion von Dodge und neuerdings in einem von Herrn Prof. Hofmann selbst konstruierten Kymographion verwendet.

*) Aus älterer Zeit (1887) sei hier auch das mittels einer schwingenden Feder in eigenartiger Weise elektrisch betriebene Kymographion von Kronecker¹⁰⁹⁾ genannt. Für die Drehungsgeschwindigkeit ist die Schwingungsfrequenz der Feder maßgebend.

Endlich sei hier noch darauf hingewiesen, daß die elektrisch angetriebenen Kymographien von Straub¹⁰⁸⁾ und Blix sich für gewisse photographische Zwecke wegen ihrer konstanten Geschwindigkeit, bzw. ihrer leicht durchzuführenden Variierung der Geschwindigkeit besonders eignen.

Im Institut Marey hatte ich Gelegenheit, ein neues, nach dem Prinzip von de la Cour von Bull konstruiertes Kymographion kennen zu lernen, das, wie Herr Kollege Bull mir an Kurven demonstrierte, an Genauigkeit des Ganges nichts zu wünschen übrig läßt.

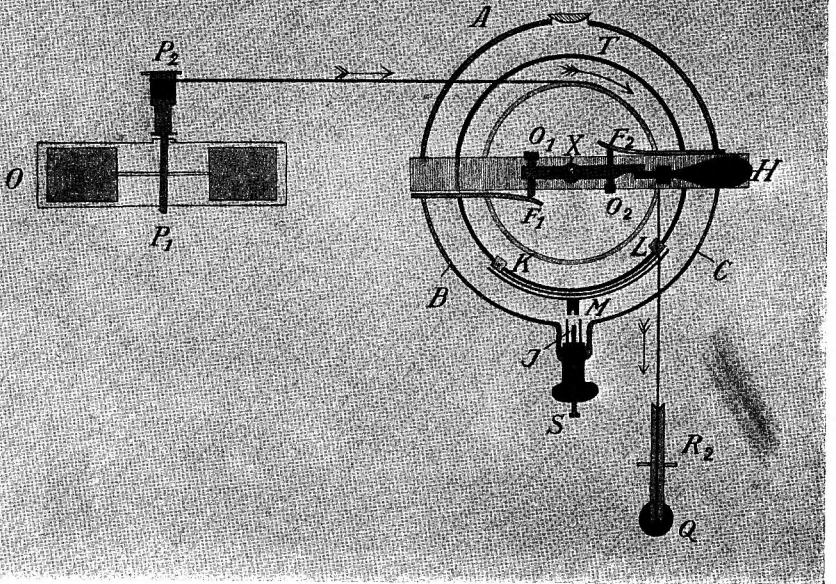


Fig. 22.

Photokymographion des Verf. Schematische Ansicht von oben.

Das Prinzip des de la Courschen Rades ist folgendes: Eine Stimmgabel gibt z. B. 50 Schließungen in 1" in einem Stromkreis, in dem die beiden Elektromagneten E_1 und E_2 eingeschaltet sind. Dreht sich das Rad F mit einer solchen Geschwindigkeit, daß bei jeder Schließung sich je ein Zahn, z. B. Z_1 und Z_2 etc. (Fig. 20), dem Pole nähert, so bekommt die Scheibe eine Beschleunigung; dreht sie sich rascher, so erfolgt eine Verzögerung der Bewegung. Dadurch wird aber eine durch einen Anstoß herbeigeführte Bewegung in eine solche mit konstanter Geschwindigkeit verwandelt. Prinzipiell ist es möglich, dem Rade die 2, 3fache etc. Geschwindigkeit zu erteilen, so daß nun jeder zweite oder dritte Zahn bei der An-

näherung an den Pol einen Anstoß erhalte; doch ist, wenigstens bei dem von Bull gebrauchten Apparat, durch einfachen Anstoß eine solche Geschwindigkeit gar nicht zu erzielen. Von Bull wurde auch nach gleichem Prinzip ein kleines Photokymographion konstruiert, das, sehr leicht gebaut, zum Bespannen mit lichtempfindlichem Papier in toto in die Dunkelkammer gebracht wird.

Neu ist hierbei besonders die Anwendung einer Stimmgabel, deren eine Zinke sich in eine kurze Feder verlängert. Mit ihrem anderen Ende ist diese Feder an einem festen Klotz befestigt. Dadurch wird es möglich, sehr gleichmäßige Unterbrechungen zu erhalten, ohne die Kontaktschrauben, die an jener Feder den Kontakt geben, häufig nachstellen zu müssen. Durch feine Drähte, die zwischen je zwei Kontaktpunkten ausgespannt sind, ist zur Vermeidung rascher Oxydation an der Funkenstelle eine gut leitende Nebenschließung gegeben.

Neuerdings verwende ich ein Kymographion, das mit Kassetten versehen ist und ein recht bequemes Arbeiten bei Tageslicht gestattet. Es eignet sich für Registrierung bei sehr verschiedenen großen Geschwindigkeiten von 1 cm bis 4 m in der Sekunde. Der Apparat, wie er von Herrn Mechaniker Schmidt in Gießen auf meine Veranlassung konstruiert wurde, ist in Figur 21 in Seitenansicht, in Figur 22 im Grundriß schematisch wiedergegeben. Wie Figur 22 zeigt, befindet sich in dem zylindrischen Blechkasten A eine Trommel T, die aus dünnem Aluminium hergestellt ist und sich außerordentlich leicht und sicher um die Achse XY dreht. Auf der Trommel lassen sich nach Öffnen einer Tür BC des Blechgehäuses mit einem Handgriff Aluminiumkassetten (KL) aufsetzen. Diese sind zylindrisch, konzentrisch zur Achse XY gebogen und sind außer dem soliden, mehrfach überfangenden Deckel aus dünnem Aluminiumblech hergestellt.

Der wichtigste Mechanismus bei der Anordnung ist nun die von Herrn Mechaniker Schmidt ausgearbeitete Methode der bequemen Öffnung des Verschlusses der Kassette in dem geschlossenen Blechgehäuse, die an den Mechanismus des Cremerschen Fallapparates erinnert. Der Kassettendeckel trägt in seiner Mitte ein solides rechteckiges Metallprisma M (Fig. 21 und 22) und dieses paßt genau in ein hohles Metallprisma I, das am Ende eines soliden Metallschiebers S sitzt, der in einer Führung läuft, die im Zentrum der Türe des Gehäuses beweglich angebracht ist. Es kann also, sobald die Kassette eingesetzt und die Tür geschlossen ist, bei einer außen sichtbaren Stellung der Trommel durch Verschieben des Hohlprismas I das Prisma M des Kassettendeckels gefaßt werden. Es genügt dann, eine Umdrehung der Trommel um die Achse XY, um die Kassette aufzuziehen, und es ist nur noch notwendig, den Handgriff S etwas zurückzuziehen, so daß jetzt die Trommel mit der aufgezogenen Kassette an dem Kassettenschieber vorbeigeht, der jetzt von dem Hohlprisma I getragen wird. Es sei nur noch erwähnt, daß zur Sicherung an dem Schieber S eine kleine Schraube angebracht ist, durch die das Metallprisma des Kassettendeckels noch fixiert werden kann. In der gleichen Weise wird durch Umdrehen der Trommel die Kassette wieder geschlossen, nachdem zuvor der Deckel wieder gegen die Trommel vorge-schoben worden ist.

Für Aufzeichnungen bei raschem Gang wird die Trommel durch Federkraft herumgeschleudert. Hierzu werden die beiden Federn F_1 , F_2 zunächst durch die beiden Stellschrauben O_1 , O_2 , wie besonders in Figur 22 deutlich angegeben, gespannt, und durch Niederdrücken des Handgriffes H kann die Arretierung jederzeit gelöst werden. Nach einem Umgang wird die Trommel durch die Federn G_1 und G_2 sofort gefangen, so daß ein Zurückprallen der Kassette ausgeschlossen ist. Hat man eine Reihe Kassetten zur Hand, so kann man sehr rasch hintereinander mit dem Apparate eine Reihe von Aufnahmen vornehmen. Nur das Einschieben der Planfilms in die Kassetten

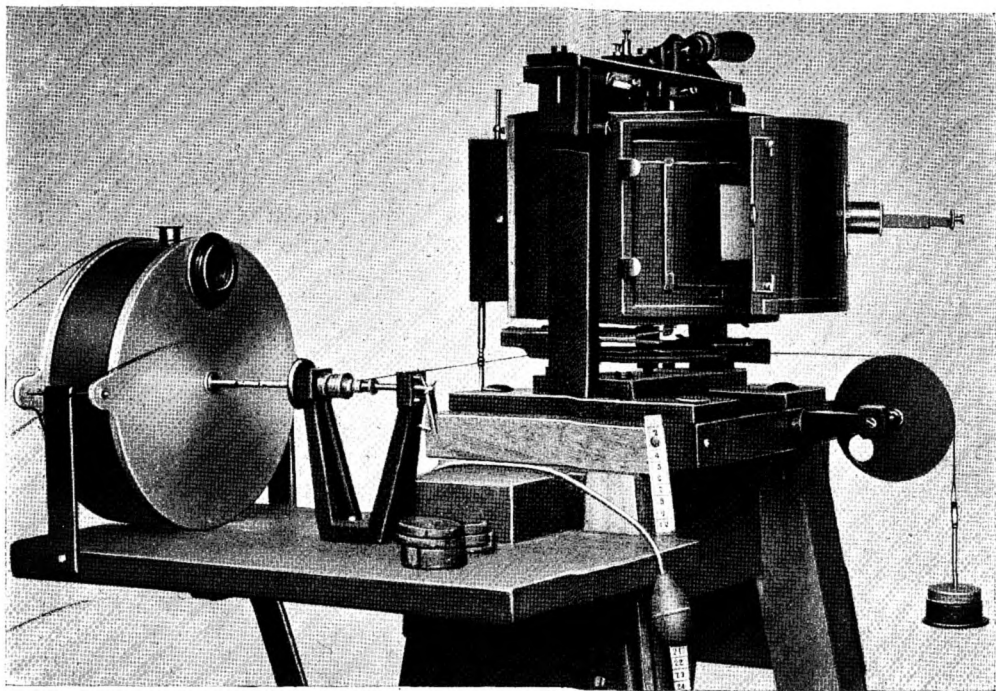


Fig. 23.

Photokymographion des Verf. Perspektivische Seitenansicht.

muß im Dunkelzimmer ausgeführt werden. Zu diesem Zweck hat die Kassette am oberen Rand einen schmalen Spalt, durch den man das Film einschiebt, das sich sehr gut der bogenförmigen Fläche der Kassettenwand anlegt. Bis jetzt verwendete ich für die größten Geschwindigkeiten die von der Firma Dr. Schleussner-Frankfurt extra angefertigten Planfilms. Zur Prüfung der Konstanz der Geschwindigkeit wurde für mittlere Federspannung der folgende Versuch gemacht. Zunächst erfolgte eine Aufnahme bei 1,59 m Geschwindigkeit, dann wurden 30 blinde Schüsse abgegeben und endlich eine zweite Aufnahme vorgenommen. Ich erhielt für die Schwingungen der Zungenpfeife (106,4 Schw. in 1") und auch der Ordinaten von je 0,889 σ auf der Filmstrecke von 10 cm vollständige Deckung beim Übereinander-

legen beider Aufnahmen. In der Hauptsache dürfte es von der Güte der Federn abhängen, ob eine so weitgehende Konstanz sich an allen Apparaten wird erreichen lassen*).

Um recht langsame und doch gleichmäßige Bewegung zu erhalten, verwendete ich die Öldämpfung in folgender Weise. Neben dem Kymographion befindet sich ein im Vertikalschnitt kreisförmiges Gefäß O, in dessen Innern sich 4 Schaufelräder um die Achse $P_1 P_2$ drehen. Da das Gefäß

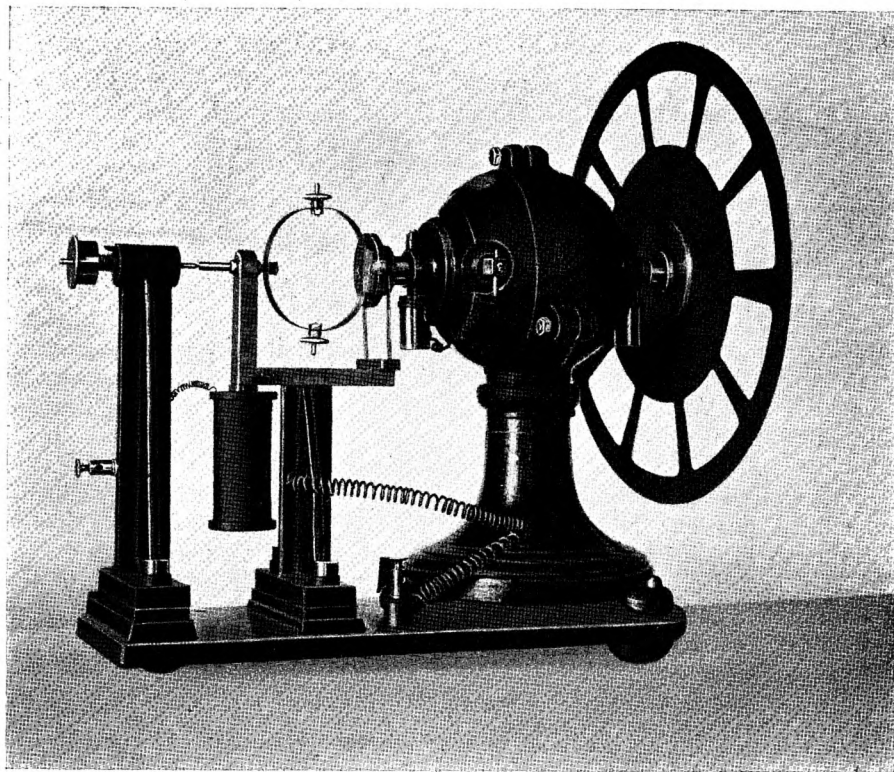


Fig. 24.

Elektromotor mit Zentrifugalregulator und Speichenrad nach dem Verf. (Konstruiert von Herrn Mechaniker Heder, Leipzig.)

vollständig mit Öl gefüllt ist, setzt es der Bewegung der Schaufeln einen sehr großen Widerstand entgegen. Von der Achse des Rades $P_1 P_2$ wickelt sich nun ein Faden ab, der über ein auf die Achse des Kymographions leicht aufschiebbares Triebrad R_1 und ein zweites vertikal stehendes Rad R_2 läuft, um dann das Gewicht Q zu tragen. Da sich der Faden von der verhältnismäßig dünnen Achse abwickelt, erzielt man, was gegen alle früheren Kymographionkonstruktionen hervorgehoben sei, ohne Zwischenschaltung

*) Vor kurzem (nach $\frac{3}{4}$ jährigem Gebrauch) beobachtete ich zufällig recht merkwürdige Differenzen in der Geschwindigkeit, die aber wohl leicht durch Auswechslung des auslösenden Stiftes oder dergl. zu beheben sind.

von Zahnrädern einen außerordentlich langsamen und gleichmäßigen Gang*). Für Variationen der Geschwindigkeit dienen verschiedene starke Hohlzylinder, die sich auf der Achse $P_1 P_2$ aufstecken lassen. In gleicher Weise wirkt eine Veränderung des Gewichts Q . Mit dieser Anordnung habe ich sehr konstante Werte für die Geschwindigkeit erzielt: in dem Intervall von 90 mm pro Sekunde bis zu 10 mm pro Sekunde. Erst bei 5 mm Geschwindigkeit fand ich größere Abweichungen bis zu 4,5 %. Neuerdings konnte durch eine kleine Veränderung in der Konstruktion auch noch ein viel langsamerer Gang angewendet werden.

Als Kontakteinrichtung dient mir ein auf der Achse des Kymographions XY mit einer gewissen Reibung verschieblicher Ring W, dessen Peripherie teilweise aus Hartgummi, teilweise aus Metall besteht. Derselbe läßt sich leicht so einstellen, daß der Metallteil des Ringes im Moment, wo der Film-anfang den Spalt passiert, an die Feder V anstreift, und dadurch einen Kontakt herstellt, der während des ganzen weiteren Umganges der Kassette bestehen bleibt. Der Kontakt dient zumeist dazu, den Elektromagneten meines Kontaktapparates zu betätigen, der, vor dem Spalte aufgestellt, die Reizmomente äußerst genau optisch verzeichnet. Als Beispiel für die Leistungsfähigkeit des Apparates mag Abb. 7 dienen, auf der die Schließung eines konstanten Stromes bei 3,618 m Geschwindigkeit mittels Saitengalvanometers registriert wurde. Figur 23 zeigt den beschriebenen Apparat in perspektivischer Ansicht. Auf der Rückseite ist die Tür des Gehäuses geöffnet, und man erkennt auf der Trommel die aufgezugene Kassette mit dem eingelegten Film. Auf der gegenüberliegenden Seite ist der Spaltkasten mit pneumatischem Verschuß und Zylinderlinse angebracht. Links in der Figur steht das zur Dämpfung dienende Ölgefäß. Auf der die Flügel tragenden Achse sind außerhalb des Gefäßes mehrere Rollen angebracht, von denen sich der Faden abwickelt, der dann über das Triebrad unter dem Kymographion und die rechts in der Figur sichtbare Scheibe läuft und dann an dem Gewicht angreift.

Die Registrierung des Koordinatensystems.

Da bei den im rechtwinkligen Koordinatensystem registrierten Kurven der Abstand zweier Punkte in vertikaler Richtung im allgemeinen der Größe der Exkursion des Objektes, der Abstand in der Horizontalen der Zeit entspricht, ist es für die Auswertung der Kurven von Wichtigkeit, mit ihnen zugleich ein den Koordinaten entsprechendes Liniensystem photographisch zu erzeugen, das direkt die Ablesung der Zeitdifferenz zwischen zwei Kurvenpunkten und ihres Vertikalabstandes gestattet. Zugleich liefern diese

*) Ist auch die Öldämpfung schon mehrfach zur Verlangsamung an Kymographien verwendet worden — nach einer Diskussionsbemerkung von Herrn Hofrat Exner auf der diesjährigen Naturforscherversammlung hatte sie bezw. schon Helmholtz benutzt und neuerdings fand sie im Würzburger Institut durch Herrn O. Meyer Verwendung —, so ist doch die obige Kombination neu, daß ohne Zwischenschaltung von Zahnrädern der das Gewicht tragende Faden sich direkt von der Achse des Dämpfungsrades abwickelt. Aber gerade durch diese Beseitigung jeglichen Zahngetriebes mit seinen wechselnden Widerständen ist es eben möglich auch bei sehr langsamen Geschwindigkeiten noch recht gleichmäßige Bewegungen der Schreibfläche zu erhalten.

Zeitordinaten den Beweis, daß eine bestimmte Geschwindigkeit wirklich während der Aufnahmen innegehalten wurde.

Von diesem Gesichtspunkt ausgehend, habe ich ⁷²⁾ zunächst 1900 für das von mir noch verwendete Polarkoordinatensystem diese Verzeichnungsart durchgeführt. Die vertikalen (bzw. beim Polarkoordinatensystem radiär) verlaufenden Linien wurden dadurch erzeugt, daß vor dem Projektionsokular eine auf Elektromotorachse direkt montierte Pappscheibe rotierte, die 40 zirkulär angeordnete Ausschnitte trug. Zwischen ihnen blieben demnach 40 Speichen stehen, die bei ihrem Vorübergehen am Okular für ein kurzes Zeitteilchen das auf den Spalt fallende Strahlenbüschel abblendeten, dadurch blieb aber, wenn gleichzeitig die lichtempfindliche Platte vorbeibewegt wurde, ein, je nach Plattengeschwindigkeit und Dauer der Verdunklung breiterer oder schmälerer Streifen unbelichtet. Natürlich genügt es vielfach auch, die Speichen so schmal zu machen, daß nur vorübergehend eine geringe Verdunklung des Bildes entsteht. Es wird dann eine sehr zarte vertikale Ordinate, die den Kurvenverlauf weniger beeinträchtigt, entstehen. Bei sehr feinen Speichen, wie sie bei großen Geschwindigkeiten der Schreibfläche gebraucht werden, empfiehlt es sich, nach Art der Fahrräder feine Drähte zwischen einer inneren Metallscheibe und einem äußeren Metallring auszuspannen ¹¹⁰⁾. Ferner ist es für bequeme Kurvenmessung von Wichtigkeit, jede fünfte oder zehnte Vertikale etwa zu verstärken, was man leicht dadurch erzielt, daß man die Speiche etwas dicker macht, als die übrigen. Im allgemeinen gilt als Regel, um den Kurvenlauf nicht zu sehr zu stören, die Speichen so schmal zu machen, daß die resultierenden Ordinaten nur eben noch deutlich zu erkennen sind.

Um den Zeitwert der Ordinaten immer möglichst konstant zu erhalten, befindet sich die Episkotisterscheibe direkt auf der Achse eines Elektromotors angeschraubt, dessen Gang durch einen Zentrifugalregulator genau eingestellt wird. Und zwar habe ich mich bei dem von Herrn Mechaniker Heder, Leipzig, angefertigten Motor, Fig. 24 (S. 115), des von d'Arsonval angegebenen Regulationsprinzipes bedient: die Motorachse endet in einem Ring aus Uhrfeder, der beiderseits zwei kleine Gewichte trägt. Bei raschem Gang wirken die beiden Gewichte durch die Zentrifugalkraft abplattend auf den Ring und führen bei einer bestimmten Geschwindigkeit zu einer partiellen Stromunterbrechung. Wie mir frühere Versuche mit Stimmgabeln ergeben hatten, waren die Geschwindigkeitsänderungen außerordentlich gering. Um auch bei geringerer Geschwindigkeit der Schreibfläche mit dem Motor Ordinaten zu erhalten, braucht man nur die Episkotisterscheibe gegen eine solche mit weniger Ausschnitten zu vertauschen. Sehr bequem ist auch bei Ordinaten von relativ großer Zeitdifferenz, — z. B. bei Intervall von $5-3\sigma$, — die Anwendung der durch Wasserluftpumpe getriebenen Zungenpfeife. Nur muß das mit der Zunge verbundene Fähnchen so gestellt sein, daß die Ausschläge nach beiden Seiten symmetrisch sind.

Um die Abszissenlinien zu erzielen, bediene ich mich einer feinen Millimeterteilung, die direkt auf der planen Seite der Zylinderlinse hergestellt ist. Je nach der Distanz der Zylinderlinse von der Schreibfläche wird die Millimeterteilung etwas gröber oder feiner zu halten sein. Bei einer Zylinderlinse von 10 mm Brennweite benutze ich bspw. jetzt eine

Teilung, wo jeder Strich 0,04 mm dick ist, während die Zehner die doppelte Dicke haben. Ist die Millimeterteilung relativ weit von der Schreibfläche entfernt, wie bei sehr schwachen Zylinderlinsen, so werden die Teile auf der Schreibfläche etwas vergrößert abgebildet, was sich natürlich leicht durch Benutzung einer entsprechenden Teilung korrigieren ließe. Man kann sehr gut, wie dies Einthoven gezeigt hat, die Schreibfläche und den Motor in ihrer Geschwindigkeit so regulieren, daß die Zeitlinien, wie bei dem üblichen Millimeterpapier sich in 1 mm Horizontalabstand abbilden und womöglich einem runden Zeitwert, z. B. 1σ oder 10σ entsprechen.

Das Prinzip der Ordinaten-schreibung durch periodische Abdeckung eines Strahlenbündels ist verhältnismäßig alt. Doch wurde die Verdunklung meist nur dazu benutzt, um die durch einen leuchtenden Körper geschriebene Lichtlinie periodisch zu unterbrechen. So erwähnt schon 1894 Marey¹¹⁾, daß man durch Verdunklung eines Lichtstrahles, wie bei der Morseschrift, eine Strichreihe erzielen könne, wobei jeder Strich einem bestimmten Zeitwert entspräche. Oder Hermann und Matthias⁵⁵⁾ bestimmen an ihren Rheotachogrammen den Zeitwert, in dem sie den als leuchtendes Objekt dienenden Spalt periodisch abdecken. In ähnlicher Weise benutzt Bernstein⁴⁹⁾ 1890 zu einer in Perioden von 2" erfolgenden Abdeckung das Metronom. Besonders erinnert aber die Ordinaten-schreibung an die Aufnahme eines bewegten Objektes durch Marey, z. B. an die Photographie der fallenden Kugel auf stehender Platte (vgl. oben Fig. 2 S. 79), bei der die zur periodischen Belichtung benutzte Scheibe, die vor dem Objekte rotierte, Fenster besaß, von denen jedes zehnte doppelt so groß als die übrigen war. Dadurch konnte die Lage der Kugel in den einzelnen Zeitteilchen leicht festgestellt werden, da jede zehnte Aufnahme der Kugel sich durch die längere Exposition deutlicher abhob.

Ferner hat O. Frank, unabhängig von mir, nach dem gleichen Prinzip sich eine Ordinaten-schreibung hergestellt, (vgl. 77 1904). Auch schon früher hatte er übrigens ebenso wie die obengenannten Forscher durch periodische Verdunklungen vom Spiegel des Herzindikators punktierte Kurvenlinien erzeugt, deren Unterbrechungen zur Zeitmessung dienten. (Sitzber. d. Ges. f. Morphol. München 1898). Und endlich könnte man hierher auch die von Fischer und Braune 1895 diskontinuierlichen von den Geisslerschen Röhren erhaltenen Kurven auf feststehender Platte rechnen, oder die oben genannten beim Lidschlag auf bewegtem Film verzeichneten Funkenreihen.

Eine neue Methode der Ordinaten-schreibung.

Im letzten Jahre war ich gezwungen, alle Erschütterungen durch den rotierenden Episkotister, insbesondere bei Versuchen über Schallregistrierung fernzuhalten und dadurch bin ich auf eine Modifikation meiner früheren Methode gekommen, die den Vorzug hat, daß keine Unterbrechung der Kurven stattfindet, und man sowohl bei dunklem Gesichtsfeld, wenn nur einzelne Lichtpunkte auf den Spalt treffen (Spiegelmethode), als auch dann, wenn eine diffuse Beleuchtung des Spaltes auftritt (Saitengalvanometer, Kapillarelektrometer), die Ordinatenverzeichnung leicht durchführen kann. Die Methode gründet sich darauf, daß periodisch der ganze Spalt durch Zuspiegelung erleuchtet wird (Ordinaten) und andererseits kann auch, was ich bisher noch nicht praktisch durchgeführt habe, das Bild einer feinen Skala, die klare Teilstriche auf dunklem Grunde enthält, mit ihrer Längsachse parallel zur Längsrichtung des Spaltes auf diesem erzeugt werden.

Zur Herstellung der leuchtenden Ordinaten wird in meinem Falle, z. B. ca. 5,5 m von der Versuchsanordnung entfernt das Bild eines glühenden Nernststabes mit einer gewöhnlichen Kondensorlinse auf einen schmalen Spalt entworfen (Fig. 25). Direkt hinter diesem, bei N_1 , rotiert eine aus

Metallblech geschnittene Episkotisterscheibe E, die gewissermaßen das Negativ des gewöhnlichen Episkotisters darstellt. Eine Reihe schmaler radiärer Ausschnitte sind in der Peripherie angebracht und jeder zehnte besitzt die doppelte Breite der übrigen. Mit Hilfe einer schwachen Linse von großem Durchmesser wird nun, wobei es gar nicht auf eine scharfe Abbildung ankommt, das bei Rotation der Episkotisterscheibe periodisch aufblitzende Bild von N auf den Spaltschirm geworfen und zwar ist in den Strahlengang ein Spiegel R_1 R_2 eingeschaltet, der etwa 1,5 m vom Spaltschirm entfernt senkrecht über der optischen Achse der übrigen Versuchsanordnung (Saitengalvanometer, Spalt, Zylinderlinse) steht. In allen Fällen, wo das ganze Gesichtsfeld erleuchtet ist, reicht diese Art der Ordinaterzeugung

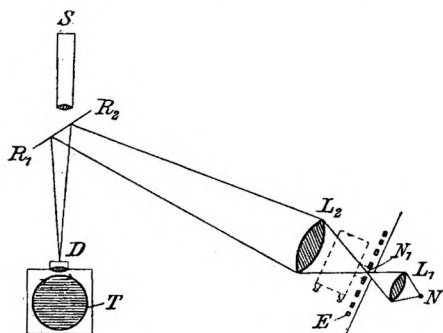


Fig. 25.

Aus: Garten, Beiträge zur Kenntnis des Erregungsvorganges im Nerven und Muskel des Warmblüters. Ztschr. f. Biologie, Bd. 52. Verlag Oldenbourg, München.

allein aus (vgl. obenstehendes Beispiel, Fig. 7 S. 93). Soll aber ein vollständiges Koordinatensystem in unbeleuchtetem Felde, wie bei allen Spiegelregistrierungen, erzeugt werden, so dürfte es sich empfehlen, das Bild einer feinen Millimeterskala, das klare Teilstriche auf dunklem Grunde trägt, außerdem noch in ganz der ähnlichen Weise auf den Spaltschirm zu projizieren*).

*) Die geschilderte Methode der Ordinatenschreibung, und nur diese konnte ich kürzlich dazu verwenden, bei gleichzeitiger Registrierung der Bewegungen der Saite des Einthovenschen Galvanometers und der Quecksilbersäule des Kapillarelektrometers auf derselben Schreibfläche für beide Kurven die sicher gleichen Zeitmomente zu markieren.

Literatur.

- 1) Eder, Handbuch der Photographie. Halle a. d. Saale 1895—1905.
- 2) Cowl, Über lineare Kinematographie etc. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1900, Suppl. S. 331.
- 3) Luther, Die chemischen Vorgänge in der Photographie, Halle 1899.
- 4) Lüppo-Cramer, Kolloidchemie und Photographie, Dresden, Th. Steinkopff 1903.
- 5) Liesegang, Handbuch der praktischen Kinematographie, Leipzig, 1908 (M. Eger).
- 6) Marey, Développement de la méthode graphique, Paris 1885.
- 7) Janssen, Bulletin de la Société française de Photogr. 14. Déc. 1876.
- 8) Onimus und Martin, 1865 (zit. nach Marey, Le mouvement S. 48, 1894).
- 9) Stillmann, The horse in motion 1882 (Muydbridge).
- 10) Marey, Analyse du mécanisme de la locomotion au moyen d'une série d'images photographiques recueillies sur une même plaque et représentant les phases successives du mouvement. Compt. rend. T. 95, 1882, S. 14.
- 11) Marey, Emploi de la photographie pour déterminer la trajectoire des corps en mouvement avec leurs vitesses à chaque instant et leurs positions relatives. Compt. rend. T. 95, 1882, S. 267.
- 12) Marey, Analyse des mouvements du vol des oiseaux par la photographie. Compt. rend. T. 96, 1883, 14. Mai.
- 13) Marey, La méthode graphique. Supplément S. 13, 1885.
- 14) Bull, La chronophotographie des mouvements rapides. Extr. d. Bullet. d. la société philomathique 1904 und Travaux de l'Assoc. de l'Institut Marey 1905, S. 121.
- 15) Hürthle, Über die Struktur der quergestreiften Muskelfasern. Pflügers Arch. 126, h. 1—4, 1909.
- 16) Weiss, Die Chronophotographie. Ergebn. d. Physiol. 1906.
- 17) Braune und Fischer, Gang des Menschen. 1. Teil. Versuche am unbelasteten und belasteten Menschen. Abh. d. mathemat. phys. Kl. d. königl. Sächs. Ges. d. W. XXI Bd. Nr. 4, 1895, siehe auch Fischer, dieses Handbuch II, 3, S. 283.
- 18) Marey, Rapport. Institut de France, Académie de Sciences. Premiers travaux de la commission internat. de controle des instruments enregistreurs et d'unification des méthodes en physiologie. Assoc. internation. des Académies.
- 19) Athanasiu, Travaux de l'Assoc. de l'Institut Marey, 1905.
- 20) Bull, La synthèse en chronophotographie. Bullet. d. l. Soc. philomath. 12. Novembre 1904.
- 21) Meiwowsky, Neue Unters. über die Totenstarre quergestreifter und glatter Muskeln. Einleitung von Hermann. Pflügers Arch. 78, 1899, S. 64.
- 22) Hürthle, Über die Struktur der quergestr. Muskelfasern von Hydrophilus. Bonn 1909.
- 23) Noguès, Travaux de l'Assoc. de l'Institut Marey, 1905.

24) Carvallo, Rapport présenté au VIIème Congrès de Physiologie au nom de l'Assoc. intern. de l'institut Marey.

25) Eykman, Der Schlingakt, dargestellt nach Bewegungsphotographien mittels Röntgenstrahlen. Pflügers Arch. 99, 1903, S. 513.

26) François-Frank, La chronophotographie simultanée du cœur et des courbes cardiographiques chez les mammifères. Compt. rend. de la Soc. de Biol. Bd. 54, 1902.

27) François-Frank, Nouvelles recherches sur l'action des muscles respiratoire instantée. Compt. rend. de la Soc. de Biol. 56, 1904.

28) François-Frank, Note sur quelque points de technique relative à la photographie et la chronophotographie avec le magnésium à déflagration lente. Compt. rend. de la Soc. de Biol. 55, 1903, p. 1538.

29) Garten, Über die Veränderungen des Sehpurpurs durch Licht. Arch. f. Ophth. 1905.

30) Lewin, Miethel und Stenger, Über die durch Photographie nachweisbaren spektralen Eigenschaften der Blutfarbstoffe und anderer Farbstoffe des tier. Körpers. Pflügers Arch. 118, 1907, S. 80.

31) Rost, Die Photographie des Blutsppektrums. Physiol. Ges. Berlin 15. Jan. 1909 aus Med. Klin. 1909, Nr. 7.

32) Helmholtz, Physiol. Optik 1896, 2. Aufl.

33) Marey, Le mouvement dans les fonctions de la vie. Paris 1868.

34) Stein, Das Licht im Dienste der wissenschaftl. Forsch. Halle 1888.

35) Czermak, Ges. Abh. I, 2, Sphygmographische Studien, Leipzig, 1879.

36) Kronecker, Marey. Travaux de l'Assoc. de l'institut Marey, 1905, S. 19.

37) Frank, Konstruktion und Durchrechnung von Registrierspiegeln. Ztschr. für Biol. XXVIII, 1905.

38) Bernstein, Phototelephonische Unters. des zeitl. Verlaufes elektr. Ströme. Sitzber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1890, S. 153.

39) Bellarminoff, Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung der Pupillenbewegung. Pflügers Arch. 37, 1885.

40) Cybulski, Bestimmung der Stromgeschw. des Blutes in den Gefäßen mit dem Photohämatometer. Pflügers Arch. 37, 1885.

41) v. Kries, Ein Verfahren zur quantitat. Beobachtung der Wellenbewegung des Blutes. Du Bois-Reymonds Arch. 1887, S. 279.

42) Garten, Beiträge zur Kenntnis des zeitl. Ablaufes der Pupillarreaktion nach Verdunklung. Pflügers Arch. Bd. 68. 1897, S. 68.

43) Nagel und Samojloff, Einige Versuche über die Übertragung von Schall-schwingungen auf das Mittelohr. Arch. f. Physiol. 1898, S. 505.

44) Cowl, Über lineare Kinematographie insbesondere die Photographie des Pulses. Du Bois-Reymonds Arch. 1900, Suppl. S. 331.

45) Garten, Zur Kenntnis des zeitlichen Ablaufes der Lidschläge. Pflügers Archiv, Bd. 71, 1898.

46) Samojloff, Über rhythmische Tätigkeit des quergestreiften Muskels. Archiv f. Anat. u. Phys., physiol. Abt. 1907, S. 145.

47) O. Frank, Die unmittelbare Registrierung der Herztöne. Münchener med. Wochenschr. LI 22, S. 953, 1904.

48) O. Frank, Die Registrierung des Pulses durch einen Spiegelsphygmographen. Münchener med. Wochenschr., Nr. 42, 1903.

49) Bernstein, Sphygmographische Versuche. Fortschr. d. Mediz., 15. Febr. 1890, Ref. Ztbl. 1890.

50) Gerhartz, Die Aufzeichnung von Schallerscheinungen, insbesondere die des Perkussionschalles. Zeitschr. f. experim. Pathol. u. Ther. V. 1909 (H. 1, 27, 1908).

51) Gerhartz, Registrierung von Bewegungsvorgängen mit feuchten Membranen. Pflügers Archiv 124, 1908.

- 52) Gerhartz, Zur Frage der Registrierung von Bewegungsvorgängen mit feuchten Membranen. Pflügers Archiv 128, S. 600, 1909.
- 53) Hermann, Phonographische Unters. Pflügers Archiv 45, 1889.
- 54) Hermann, Über Rheotachygraphie. Ein Verfahren zur Registrierung schneller elektrischer Vorgänge. Pflügers Archiv 49, 1891, S. 539.
- 55) Matthias, Über graphische Darstellung der Aktionsströme des Muskels. Pflügers Archiv 63, 1893, S. 70.
- 56) Boruttau, Graphische Rheotomversuche. Pflügers Archiv 63, 1896.
- 57) Bose, Komparative Elektrophysiologie 1907. Longmanns, Green u. Comp.
- 58) Waller, Galvanométrie et galvanographie. 31. Aug. 1904. Travaux de l'Assoc. de l'Institut Marey. Paris Masson 1905.
- 59) Waller, Tier. Elektrizität. Leipzig 1899.
- 60) Waller, On the influence of reagents on the electr. excitability of isolated nerve. Brain 19, 1896, S. 289.
- 61) Tarchanoff, Über die graphische Darstellung der Schwankungen des Galvanometerzeigers auf photographischem Wege. Pflügers Archiv, Bd. 40, 1887.
- 62) Bernstein, Über die Latenzdauer der Muskelzuckung. Pflügers Archiv 67, 1897, S. 207.
- 63) Garten, Über ein neues Verfahren zur Verzeichnung von Bewegungsvorgängen und seine Anwendung auf den Volumenpuls. Pflügers Archiv 104, 1904, S. 351.
- 64) O. Frank, Eine Vorrichtung zur photographischen Registrierung von Bewegungsvorgängen. Zeitschr. f. Biol. LII, 1901.
- 65) Burdon-Sanderson, Electrical response of muscle. Journ. of Physiol. XVIII, 1895.
- 66) Weiss und Joachim, Registrierung und Reproduktion menschlicher Herztöne und Geräusche. Pflügers Archiv 123, 1908.
- 67) O. Weiss, Über einige Einwände gegen die Verwendung von Flüssigkeitslamellen zur Schallregistrierung. Pflügers Archiv, Bd. 127, Heft 1—3.
- 68) O. Weiss, Das Phonoskop. Zeitschr. f. biol. Methodik, Bd. 1, 1908.
- 69) May und Lindemann, Graphische Darstellung des Perkussionsschalles. Münchener med. Wochenchr. 1906, Nr. 17.
- 70) May und Lindemann, Graphische Studien über tympanitischen und nicht tympanitischen Perkussionsschall. Deutsch. Archiv f. klin. Mediz., Bd. 93, 1908.
- 71) Samojloff, Zur Vokalfrage. Pflügers Archiv 78, 1899, S. 1.
- 72) Garten, Über rhythmisch elektrische Vorgänge im quergestreiften Skelettmuskel. Sitzber. d. Königl. Sächs. Akad. d. Wissensch. 1900.
- 73) O. Frank, Konstruktion und Theorie eines neuen Tachographen. Zeitschr. f. Biol., Bd. 50.
- 74) O. Weiss, Die photographische Registrierung geflüsterter Vokale und der Konsonanten Sch und S. Physiol. Zentralbl. 14. Dez. 1907.
- 75) Marey, Le Mouvement. Paris, Masson 1894.
- 76) O. Frank, Benutzung des Prinzips der Pitotschen Röhren zur Bestimmung der Blutgeschwindigkeit. Zeitschr. f. Biol. XXXVII, 1899.
- 77) O. Frank, Kritik der elastischen Manometer. Zeitschr. f. Biol., Bd. 44, S. 453, 1903.
- 78) Bernstein, Phototelephonische Untersuchungen des zeitlichen Verlaufs elektrischer Ströme. Sitzber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. 1890, 1, S. 153.
- 79) Marey, Le mouvement. Paris, Masson 1894 und Compt. rend. 83, 1876, S. 975.
- 80) Burdon-Sanderson und Page, On the electrical phenomena of the excitatory process of the frog. Journ. of Physiol. IV, 1889.

- 81) Burch, On the time relations of the excursions of the capillary electrometer with a description of using it for the investigation of electrical changes of short duration. *Phil. Transact.* 183A, 1892.
- 82) Schenk, Über den Einfluß der Spannung auf die negative Schwankung des Muskelstromes. *Pflügers Archiv* 63, 1896.
- 83) Einthoven, Über die Form des menschlichen Elektrokardiogramms. *Pflügers Archiv* 60, 1895.
- 84) Einthoven, Eine Vorrichtung zur photographischen Registrierung der Ausschläge des Lippmannschen Kapillarelektrometers. *Pflügers Archiv* 79, 1900.
- 85) Borutttau, Die Aktionsströme und die Theorie der Nervenleitung. *Pflügers Archiv* 84, 1901, S. 309.
- 86) Bernstein und Tschermak, Über die Beziehungen der negativen Schwankungen des Muskelstromes zur Arbeitsleistung des Muskels. *Pflügers Archiv* 89, 1902, S. 289.
- 87) Bernstein und Tschermak, Über die Frage: Präexistenztheorie oder Alterationstheorie des Muskelstromes. *Pflügers Archiv* 103, 1904.
- 88) Garten, Über ein einfaches Verfahren zur Ausmessung der Kapillarelektrometerkurven. *Pflügers Archiv* 89, 1902.
- 89) Einthoven, Ein neues Galvanometer. *Ann. d. Phys.* IV, Folge 12, 1903, desgl. Bd. 14, 1904 und die späteren Abhandlungen in den *Annalen* und in *Pflügers Archiv*.
- 90) Einthoven, Die Registrierung der menschlichen Herztöne mittels des Saitengalvanometers. *Pflügers Archiv* 117, 1907.
- 91) Borutttau, Elektrophysiologische Neuigkeiten. *Physiol. Zentralbl.* 1908, S. 317.
- 92) O. Frank, Der Puls in den Arterien. *Zeitschr. f. Biol.*, N. F. XXVIII, 1905.
- 93) O. Frank, Optischer Transmissionssphygmograph. *Münchener med. Wochenschr.*, Nr. 42, 1908.
- 94) J. Seemann, Neue Aufnahmen der menschlichen Stimme. *Zeitschr. f. biol. Techn.* 1908, Bd. 1, S. 112.
- 95) Samojloff, Aktionsströme bei summierten Muskelzuckungen. *Engelmanns Arch.* 1908, Suppl. 1.
- 96) v. Kries, Über ein neues Verfahren zur quantitativen Beobachtung der Wellenbewegung des Blutes. *Du Bois-Reymonds Archiv* 1887, S. 279.
- 97) R. Du Bois-Reymond, Über die Aufzeichnung der negativen Schwankung mittels des Elektrokapillarelektrometers. *Physiol. Zentralbl.* XII, 1898, S. 145.
- 98) Köhler, Ein lichtstarkes Sammellinsensystem für Mikroprojektion. *Zeitschr. f. wissenschaftl. Mikroskopie*, Bd. 19, 1901.
- 99) Köhler, Meßband zum Einstellen der Projektionsokulare. *Zeitschr. f. wissenschaftl. Mikroskopie*, Bd. 18, 1901.
- 100) Helmholtz, *Physiologische Optik*, 2. Aufl., 1896.
- 101) Cremer, Eine photographische Registriervorrichtung. *Sitzber. d. Gesellsch. f. Morpholog. u. Physiol. in München* 1905.
- 102) Samojloff, Einige elektrophysiologische Versuche. *Le Physiologiste Russe* 1908, Bd. V, Nr. 86—90.
- 103) Burch, *The capillary electrometer in Theory and Practice*. London 1896. Reprinted from the *electrician*, London, Tucker 1896.
- 104) Uexküll, Vergleichende sinnesphysiologische Untersuchungen. *Zeitschr. f. Biol.* XXXIV, 1896, S. 321.
- 105) Edelmann, Über ein komplettes Instrumentarium zur Aufnahme von menschlichen Elektrokardiogrammen. *Mitt.* Nr. 5, Weihnachten 1908.

106) Hermann und Gildemeister, Eine Vorrichtung zur photographischen Registrierung. Pflügers Archiv 110, 1905, S. 88.

107) Cremer, Eine photographische Registriervorrichtung. Sitzber. d. Gesellsch. f. Morpholog. u. Physiol. in München 1905, Heft 1.

108) Straub, Ein neues Kymographion mit Antrieb durch Elektromotor. Pflügers Archiv 81, 1900, S. 579.

109) Kronecker, Ein Elektrokymographion. Zeitschr. f. Biol. XXIII, 1887.

110) Garten, Experimentelle Nachprüfung der Untersuchungen von Herrn Prof. Bernstein etc. Pflügers Archiv 105, 1904, S. 304 Anm.

111) R. Ohm, Beitrag zur photographischen Pulsregistr. Münchener Med. Wochenschr. Nr. 7, 1910.