

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Leipzig.)

Zwei einfache Vorrichtungen zur photographischen Registrierung von Bewegungsvorgängen.

Von

Siegfried Garten.

(Mit 8 Textfiguren.)

I. Die Schleudertrommel.

Zur photographischen Kurvenzeichnung im Dunkelmzimmer habe ich seit mehreren Jahren die unten näher beschriebene „Schleudertrommel“ benutzt. Sie dient namentlich zur Verzeichnung von Bewegungsvorgängen, bei denen zwecks bestimmter Ausmessungen (Eichungen) für eine längere Versuchsreihe, wie beispielsweise bei Kapillarelektrometerkurven, immer die gleiche, und zwar meist eine ziemlich grosse Geschwindigkeit der Schreibfläche (bis zu 2 m in der Sekunde) verwendet werden soll. Es lässt sich dieses in der einfachsten Weise dadurch erreichen, dass man eine grosse Holztrommel, in deren Peripherie Bleigewichte eingelassen sind, durch Entspannung einer äusserst kräftigen Feder einmal herumschleudert und am Schluss der einmaligen Umdrehung die Trommel durch eine entsprechende Einrichtung wieder fängt. Im Prinzip stimmt also die Einrichtung mit dem Schleudermechanismus des Engelmann'schen Pantokymographions überein¹⁾. Die Anwendung der einfachen Holztrommel empfiehlt sich hier besonders deswegen, weil auf ihr die lichtempfindlichen Papiere in der einfachsten Weise in beliebiger Länge zu befestigen sind und man für bestimmte Längen an der Trommel auch leicht Klemmfedern anbringen kann, die einen äusserst raschen Wechsel des Papiers gestatten. Ausserdem aber erfordert eine solche Trommel keine grösseren Ausgaben.

1) Engelmann, Das Pantokymographion. Pflüger's Archiv Bd. 60 S. 28. 1895.

Die bewegten Massen sind so gross gewählt (siehe die einzelnen in die Trommel eingelassenen Bleigewichte auf Fig. 2), dass für die kurze Zeit, während der die Filmstrecke F_1F_2 vor dem Spalt vorübergeht, die Geschwindigkeit sich nur wenig ändert, wenigstens solange man mit den grossen Geschwindigkeiten arbeitet. Die Trommel wird nach einem Umlauf durch eine federnde Doppelgabel K gefangen, in die sich die Schneide L hineinschiebt.

Die Geschwindigkeit der Trommelbewegung lässt sich durch Verstellen der Schraube B in weiten Grenzen ändern. Ist die Schraube B durch den sie tragenden Metallbock, der, wie Fig. 1 zeigt, der oberen Trommelfläche aufsitzt, weiter vorgeschraubt, so wird beim Spannen die Feder A weiter durchgebogen und infolgedessen beim Loslassen der Trommel eine grössere Beschleunigung erteilt. Man kann so die Geschwindigkeit bis auf 2 m in der Sekunde einstellen ¹⁾.

Um anderseits die Trommel für geringe Geschwindigkeiten (1—10 cm in der Sekunde) zu benutzen, braucht man nur mit wenigen Handgriffen die Feder A und die Schneide L nach Lockerung ihrer Flügelschrauben um 90° zu drehen und dann mit Hilfe des Schnurlaufs R (Fig. 1) die Trommel durch einen Elektromotor in Bewegung zu setzen. In meiner Arbeit über die Physiologie der marklosen Nerven ²⁾ habe ich den Apparat sehr häufig, oft in raschem Wechsel während eines Versuches, bald in dieser Weise, bald als Schleudertrommel verwendet. Man kann unter Umständen bei dem grossen Trommeldurchmesser Films bis zu 0,75 m Länge zur Verzeichnung verwenden. Zur Verlangsamung der Motorbewegung diente mir mit gutem Erfolg nach dem am Straub'schen ³⁾ Kymographion durchgeführten Prinzip eine Schraube ohne Ende.

Will man den Apparat zur Verzeichnung sehr rasch verlaufender Vorgänge, also mit der Feder A , benutzen, so ist noch die auf der oberen Fläche der Trommel angebrachte Kontakteinrichtung MN von Bedeutung. Der auf der Trommel befindliche Stift M streift

1) Um bei raschestem Gang die Triebfeder nicht übermässig spannen zu müssen, entferne ich die Bleigewichte durch Herausziehen. Dieser Verlust an Schwungmasse ist für grosse Geschwindigkeiten von nur geringer Bedeutung.

2) Garten, Beiträge zur Physiologie der marklosen Nerven. Nach Untersuchungen am Riechnerven des Hechtes. Fischer, Jena 1903.

3) Straub, Ein neues Kymographion mit Antrieb durch Elektromotor. Pflüger's Archiv Bd. 81 S. 574. 1900.

nämlich gerade, wenn der Anfang des Films den Spalt passiert, leicht gegen die Feder N , die, wie Fig. 1 zeigt, an einem mit dem Gestell verschraubten Metallarm angebracht ist. Es wird hierdurch für kurze Zeit ein Stromkreis geschlossen, in dem ein Relais enthalten ist. Dieses wiederum gibt eine Dauerschliessung in einem zweiten Stromkreis, in dem sich der Magnet meines Kontaktapparates befindet.

Wie aus Fig. 2 ersichtlich, ist der die Feder N tragende Metallwinkel verstellbar, so dass der Kontakt zwischen M und N an jeder beliebigen Stelle des Films F_1F_2 stattfinden kann.

Bei zahlreichen Kapillarelektrometerkurven und ebenso auch bei einer Reihe von Versuchen über die Anwendbarkeit der Seifenblasenmethode hat mir der beschriebene Apparat gute Dienste geleistet. Dass bei längeren Kurvenstrecken die Geschwindigkeit allmählich abnimmt, lässt sich bei der beschriebenen Konstruktion nicht vermeiden. Für eine kürzere Trommelstrecke aber, wie sie ja bei den meisten Kapillarelektrometerversuchen nur gebraucht wird, ist die Geschwindigkeit hinreichend konstant.

Auch bei der Verzeichnung einer grösseren Zahl von Kurven nacheinander wird die Geschwindigkeit infolge der Durchbiegung der Feder sehr langsam geändert. Nur muss man beachten, dass, wenn man für eine grössere Zahl von Versuchen von neuem eine starke Federspannung anwendet, bei etwa den ersten 50 Schleuderungen noch ein recht merklicher Nachlass in der Geschwindigkeit (bezogen auf die gleiche Trommelstelle) eintritt, dass aber weiterhin für eine grössere Kurvenreihe, wie es ja namentlich für die Eichung der Kapillarelektrometerkurven in Betracht kommt, die Geschwindigkeit für die einzelnen Kurven als gleich angenommen werden kann.

Bei einer derartigen Prüfung hatten z. B. 100 Skalenteile auf der Kurve:

Nach	10 Schleuderungen eine Länge von	105	mm
"	20	" " " "	104,1 "
"	50	" " " "	102,95 "
"	70	" " " "	102,95 "
"	90	" " " "	102,3 "
"	110	" " " "	101,4 "
"	130	" " " "	100,8 "
"	150	" " " "	100,2 "

Die Skalenteile können hier sehr gut als Zeitmass dienen, da dieselben mit einer Episkotisterscheibe (einer mit einzelnen Speichen versehenen Pappscheibe) erzeugt wurden, welche direkt auf der Achse eines mit Zentrifugalregulator versehenen Elektromotors aufsass, der, wie frühere Versuche ergeben hatten, mit sehr gleichmässiger Geschwindigkeit umlief. Ein Skalenteil hatte bei der obigen Prüfung den Wert von 0,0011". Es bestand also am Schluss der Versuche eine Geschwindigkeit von 0,91 m in der Sekunde, und die Änderung der Geschwindigkeit nach 20 Einzelversuchen betrug nur 0,6 %.

Es ist hieraus die Regel zu entnehmen, dass, wenn man für eine längere Versuchsreihe die Geschwindigkeit möglichst gleich haben will, man zunächst „blind“ eine grössere Zahl von Schleuderungen vornimmt.

In Textfigur 3 sind die bei der 131. und 151. Schleuderung aufgenommenen Photographien übereinander kopiert. Man sieht sehr



Fig. 3.

deutlich, wie links in der Figur sich zunächst die Skalenteile beider Kurven vollständig decken, und wie erst gegen das rechte Ende der Figur hin die Skalenteile beider Kurven differieren.

II. Kymographion zur photographischen Verzeichnung im Tageslicht.

Im folgenden bezeichne ich mit „vorn“ diejenige Seite des Kymographions, die der Lichtquelle und der Projektionseinrichtung zugekehrt ist. Die ganze Einrichtung besteht aus einer, oder vielmehr zum Wechsel aus zwei Kassetten, in denen sich leicht drehbare Holztrommeln befinden, auf denen das lichtempfindliche Papier aufgespannt wird. Die Kassetten können jederzeit auf das sich drehende Triebwerk gesetzt werden. Während des Ganges wird dann nach Belieben durch einen in der Frontfläche der Kassette angebrachten Schieber die Schreibfläche dem Licht ausgesetzt.

Fig. 8 zeigt den Apparat in perspektivischer Zeichnung schräg von hinten gesehen mit der zur Hälfte aufgeklappten Kassette. Rechts vom Apparat liegt in Fig. 8 eine zweite Kassette, und zwar ist die Frontfläche derselben dem Beobachter zugekehrt. Fig. 5 zeigt die Frontansicht des Apparates bei Projektion der Hauptteile auf eine Ebene. Darunter ist in Fig. 6 der Frontteil des Apparates mit Spalt und Zylinderlinse im Grundriss dargestellt.

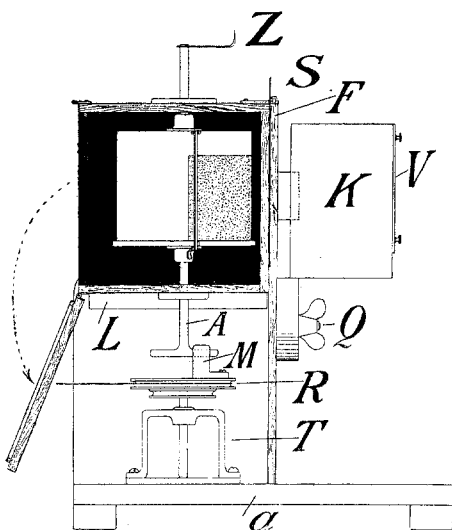


Fig. 4.

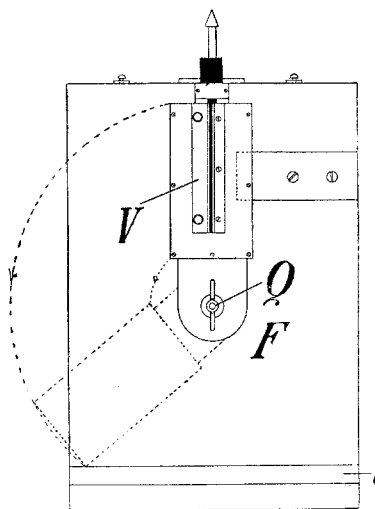


Fig. 5.

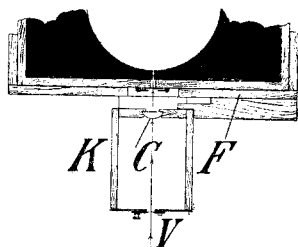


Fig. 6.

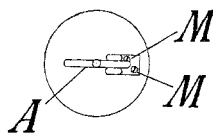


Fig. 7.

Fig. 4 zeigt einen Medianschnitt durch den Apparat, und Fig. 7 endlich erläutert die Einrichtung des sogenannten Mitnehmers.

Auf einem festen Grundbrett *a* (vergl. Fig. 8) ist ein eisernes Achsenlager *T* aufgeschraubt, in dem eine Achse läuft, die an ihrem oberen, freien Ende die Riemenscheibe *R* trägt (Fig. 4). Auf dieser letzteren befinden sich zwei Mitnehmer *M*, in die ein horizontaler Fortsatz der Kymographionachse *A* gerade hineinpasst.

Die Kymographiontrommel selbst befindet sich in einem lichtdicht schliessenden Holzkasten (*H*; vergl. Fig. 8), der, wie Fig. 8 auf der linken Seite zeigt, nach hinten, d. h. nach dem Beschauer zu, geöffnet werden kann. Die Achse der Kymographiontrommel geht durch den Boden und Deckel der Kassette lichtdicht hindurch und ist hier in zwei Metalllagern leicht drehbar. Nach oben läuft die Achse in den Zeiger *Z* aus, dessen Stellung die Lage des auf der Trommel aufgespannten Films weit erkennbar angibt.

Die Kassette trägt auf der Frontfläche einen leichtgehenden Metallschieber *S*, nach dessen Öffnung das Licht durch einen breiten

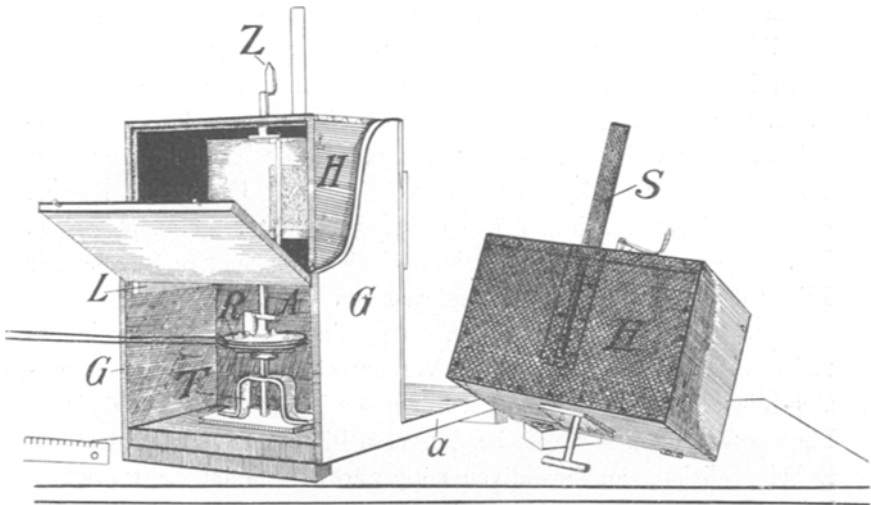


Fig. 8.

vertikalen Spalt auf die Trommel fallen kann. Die Befestigung des Papiers auf der Trommel wird durch denselben Federmechanismus bewirkt, den ich bereits bei der Schleudertrommel beschrieben habe.

Die Kassette wird (vergl. Fig. 4 u. 8) in einen Holzrahmen eingesetzt, so dass die Trommelachse senkrecht über der Riemenscheibe steht. Der Holzrahmen besteht aus einem vertikalen Frontbrett *F* (Fig. 4 u. 5) und zwei seitlichen Brettern *G* (Fig. 8). An diesen letzteren sind links und rechts zwei horizontale Holzleisten *L* angebracht, auf denen die Kassette ruht. Die Trommel wird dann durch den Mitnehmer *M*, wenn die Riemenscheibe *R* durch einen Motor angetrieben ist, in gleichmässige Drehung versetzt.

In dem Frontbrett des Holzrahmens (vergl. den Grundriss Fig. 6) befindet sich ein breiter vertikaler Spalt, so dass bei Öffnung des

Kassettenschiebers S das von vorn auftreffende Licht zur Trommel gelangen kann. Vor der Frontfläche des Holzrahmens befindet sich (vergl. Fig. 4, 5 u. 6) ein Holzkasten K , der an seiner Vorderfläche einen verstellbaren Metallspalt V trägt, während in seine Hinterfläche eine mit Millimeterteilung versehene Zylinderlinse eingefügt ist. Durch diese wird das durch den Spalt V tretende Licht so gebrochen, dass gerade auf der Trommelfläche, wenn der Schieber S geöffnet ist, ein schmaler, äusserst scharfer Lichtstreifen entsteht.

Zum Zwecke der scharfen Einstellung der Schreibhebelbilder usw. wird nach Wegnahme der Kassette ein mit Mattscheibe versehener Rahmen (in der Zeichnung nicht angegeben) in den breiten Spalt der Frontfläche eingesetzt. Der Rahmen ist so konstruiert, dass die Mattscheibe genau die gleiche Entfernung von der Frontfläche F hat wie nach Einsetzen der Kassette der hinter dem Spalt vorübergehende Trommelteil. Ausserdem wird für die Einstellung auf der Mattscheibe der die Zylinderlinse und den Spalt V tragende Kasten, der um die Schraube Q drehbar ist, nach unten geklappt (vergl. Fig. 5), so dass man auf der Mattscheibe eine längere Strecke der Bilder der Schreibhebel usw. wahrnehmen kann.

Zur Orientierung über den Gang eines Versuches genügt es meist vollständig, die auf der Vorderfläche des Spaltkastens entstehenden, hier noch unscharfen Bilder der Hebel usw. zu betrachten. Doch würde man, wenn es bei kürzeren Bildabständen von dem die Hebel projizierenden Objektiven nötig wäre, gar keine Schwierigkeit haben, nach der Methode von O. Frank¹⁾ durch eine feine Glasplatte vor dem Spalt V einen Teil der auftreffenden Lichtstrahlen nach der Seite zu reflektieren und hier zum Zwecke der Einstellung und Beobachtung in entsprechendem Abstände eine Mattscheibe anzubringen.

Durch Benutzung von zwei Kassetten, die sich auch während des Ganges der Riemenscheibe wechseln lassen, ist man, was für zahlreiche Versuche in Betracht kommt, imstande, sehr rasch hintereinander eine Reihe von Kurven aufzunehmen. Das Einlegen neuer Films in die Kassetten wird von einem Gehilfen im Dunkelzimmer besorgt und geht so schnell vonstatten, dass dadurch gar kein Aufenthalt bei dem Versuch verursacht wird.

1) O. Frank, Eine Vorrichtung zur photographischen Registrierung von Bewegungsvorgängen. Zeitschr. f. Biol. Bd. 41 S. 295. 1901.

Für die Exposition kann man, ohne Gefahr zu laufen, dass durch seitlich eindringendes Licht ein Schleiern herbeigeführt wird, bereits $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$ Umdrehung, ehe der mit lichtempfindlichem Papier bespannte Trommelteil an den Schieber herankommt, diesen öffnen, und ebenso genügt es, wenn erst nach einer vollen Umdrehung der Schieber wieder geschlossen wird. Für sehr raschen Gang freilich, für den die Trommel bisher nicht verwendet wurde, dürfte sich die Anbringung einer elektromagnetisch betriebenen Verschlussvorrichtung empfehlen. Die meisten der in meiner Arbeit: Über ein neues Verfahren zur Verzeichnung von Bewegungsvorgängen und seine Anwendung auf den Volumenpuls (dieses Arch. Bd. 104 S. 351), mitgeteilten Pulscurven wurden mit diesem Kymographion aufgezeichnet und können als Beispiele für die Brauchbarkeit der Einrichtung dienen.

Ich verzichte darauf, hier auf die zum Teil technisch feiner ausgearbeiteten Photokymographien einzugehen, wie z. B. den Apparat von Bellarminoff¹⁾ mit endlosem Papier, den Frank'schen²⁾ Apparat mit einer gleichen, nur sehr vervollkommeneten Einrichtung, den für horizontale Plattenbewegung bestimmten Apparat Einthoven's³⁾, das Burch'sche⁴⁾ Pendel für Polarkoordinatenschreibung usf. Es kam mir hier nur darauf an, zu zeigen, wie auch mit verhältnismässig einfachen Mitteln⁵⁾ die Lichtschreibung im rechtwinkligen Koordinatensystem vorgenommen werden kann.

1) Bellarminoff, Anwendung der graphischen Methode zur Untersuchung der Pupillenbewegung. Pflüger's Arch. Bd. 37. 1885.

2) Frank a. a. O.

3) Einthoven, Eine Vorrichtung zum Registrieren der Ausschläge des Kapillarelektrometers. Pflüger's Arch. Bd. 79 S. 25. 1900.

4) B. Sanderson, The electrical response to stimulation of muscle. Journ. of Physiology vol. 18 p. 117. 1895.

5) Herr Mechaniker Hegewald, Leipzig, Hohestr., liefert die Schlender-trommel für etwa 140 Mark, das Kymographion zur Verzeichnung im Tageslicht (ohne Motor) einschliesslich Zylinderlinse, Metallsplatt und zwei Kassetten zu etwa 100 Mark.
