

Untersuchungen

über die

Einleitung.

Vibration des Gewehrlaufs

von

C. Cranz und K. R. Koch.

I. Schwingungen in verticaler Ebene bei horizontal gehaltenem Gewehr.

A. Gewehre vom Typus des Mausergewehrs

Modell 71.

(Mit 6 Tafeln.)

Der Quotient

Untersuchungen

Vibration des Gewehrfaßs

Abhandlung 40

von

von

Dr. C. Grand und K. H. Koch

C. Grand und K. H. Koch

I. Schwingungen in vertikaler Ebene bei horizontal gehaltenem Gewehr.

Der Quotient

A. Gewehr vom Typus des Mausergewehrs

Modell 71.

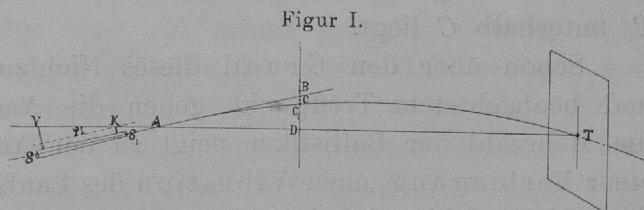
Das Gewehr ist als ein System betrachtet worden, welches aus einem Gewehrfaß und einem Gewehrkörper besteht. Die Vibrationen des Gewehrfaßs sind als ein System betrachtet worden, welches aus einem Gewehrfaß und einem Gewehrkörper besteht.

(Mit 6 Tafeln.)

Einleitung.

Die nachfolgende Arbeit ist aus einer Frage der Praxis entstanden. Schon in den dreissiger Jahren dieses Jahrhunderts wurde beobachtet,¹⁾ dass beim Schiessen aus einem freigehaltenen oder aufgelegten oder eingespannten Gewehr die Anfangstangente der Flugbahn keineswegs, wie man erwarten sollte, mit der verlängerten Seelenachse oder Laufachse, so wie diese unmittelbar vor dem Schuss während des Zielens gegeben ist, übereinstimmt, sondern mehr oder weniger gegen dieselbe geneigt ist, um einen Winkel ϵ , den sog. Abgangsfehlerwinkel. Dieser Winkel behält bei demselben Gewehrsystem im allgemeinen seinen Sinn bei, wechselt jedoch von Schuss zu Schuss und von einem Gewehr-Exemplar zum andern um Beträge bis zu circa $\frac{1}{4}$ Grad; er variirt ferner mit dem Geschossgewicht, der Grösse und Beschaffenheit der Pulverladung, dem mehr oder weniger festen Anliegen der Ringe und des Laufes am Holzschaft; bei successiver Verkürzung des Laufs soll sich jener Winkel meist in der Art ändern, dass er schliesslich den entgegengesetzten Sinn annimmt.²⁾

Daraus ergibt sich folgende Schwierigkeit bei der Anlage einer Schusstafel: Man denke sich z. B. in horizontaler Richtung über Visir V und Korn K hinweg nach dem Punkt T einer etwa 200 m von K entfernten Scheibe gezielt; der wahre mittlere Treffpunkt falle in den Zielpunkt T (vgl. die schematische Figur I); so handelt es sich darum, in die Schusstafel denjenigen Abgangswinkel α , d. h. denjenigen Horizontalneigungswinkel der Anfangstangente der Flugbahn ein-



¹⁾ Vgl. Weygand, Major z. D.: Das Schiessen mit Handfeuerwaffen, eine vereinfachte Schiesslehre, mit besonderer Berücksichtigung des Infanteriegewehrs Modell 71 (Leipzig 1876), III. Nr. 2 „Der Vibrationswinkel“, p. 170 ff. — Hauptmann Hentsch: Ballistik der Handfeuerwaffen (Leipzig 1873), p. 306—311.

²⁾ Weygand l. c. p. 172; Hentsch l. c. p. 307. Betreffs weiterer Einzelheiten über den Abgangsfehlerwinkel und die Methoden zu seiner Bestimmung vgl. Cranz: Compendium der theoret. äusseren Ballistik (Leipzig 1896), p. 340—349.

zutragen, welcher zu dieser Schussweite 200 m bei gegebenem Patronensystem, also constanter Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses gehört. Man sollte zunächst vermuthen, dass dieser Abgangswinkel α nichts anderes sei, als der sog. Visirwinkel φ ($< VAS$ oder BAD), welchen die Seelenachse SS_1 mit der Visirlinie VK bildet — [es wird dieser Visirwinkel dadurch erhalten, dass die Höhe KS_1 des Korns, ebenso diejenige VS des bei 200 m Schussweite angewendeten Visirs V über der Seelenachse mit besonderen Kalibermassstäben ermittelt und zudem die Entfernung VK von Visir und Korn genau gemessen wird, also aus $\sin \varphi = (VS - KS_1) : VK$] —. Indess sind wie bemerkt der Visirwinkel φ und der Abgangswinkel α nicht identisch, sondern um ε verschieden; dieser Fehlerwinkel ε wird durch einen besonderen Beschuss ermittelt: Man stellt eine Scheibe BD in kleiner Entfernung KD vom Korn (meist 10 m) auf und bestimmt auf der Scheibe zunächst den Punkt B , in welchem die verlängerte ruhende Seelenachse SS_1 die Scheibe trifft, [Letzteres kann bei nicht zu grossem Gewehrkaliber in einfacher Weise dadurch geschehen, dass man, nach Herausnehmen der Verschlussheile, von hinten durch den blanken Lauf sieht; meistens jedoch ermittelt man Punkt B durch Rechnung aus Visirwinkel und Entfernung KD , also aus den Abmessungen VS, KS_1, VK, KD]; hierauf geht man von B aus um die kleine Strecke BC abwärts, welche dem freien Fall des Geschosses von der Mündung bis zur Scheibe entspricht (beim Infanteriegewehr M/71 um 2,3 mm), so ist C der ideale, errechnete Treffpunkt, in welchem das Geschoss die Scheibe durchschlagen müsste, wenn die Seelenachse SS_1B während des Schusses ihre Lage nicht änderte. Thatsächlich beobachtet man nun, dass der wirkliche Treffpunkt C_1 entweder höher oder tiefer liegt als der errechnete C ; in der Figur I ist angenommen, dass C_1 unterhalb C liegt.

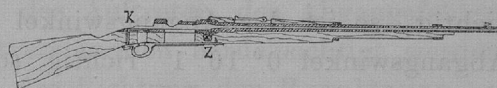
Schon über den Grund dieses Nichtzusammenfallens von errechnetem und beobachtetem Treffpunkt gehen die Ansichten auseinander; bei weitem die Mehrzahl der Ballistiker neigt zu der Ansicht, dass die Erscheinung von einer Verbiegung, einer Vibration des Laufs während des Schusses herrühre; der Abgangsfehlerwinkel heisst deshalb auch vielfach Vibrationswinkel; Einige suchen jedoch noch immer den Grund ausserhalb des Gewehrs.¹⁾

Unter Voraussetzung der Richtigkeit ersterer Annahme wird sodann folgendermassen weitergeschlossen: In dem Fall der Figur I ist die Seelenachse in dem Augenblick, wo das Geschoss die Mündung passirt, mit der Mündung

¹⁾ Vgl. Ew. Thiel, Major z. D.: Das Infanteriegewehr, eine technisch-ballistische Studie (Bonn 1883), p. 37. — Dähne: Neue Theorie der Flugbahnen von Langgeschossen (Berlin 1888).

abwärts verbogen, um einen gewissen Winkel $C \times C_1$, welchen man sodann vom Visirwinkel φ abzieht oder, falls C_1 über C liegt, zu φ addirt, um die Differenz resp. Summe als den gesuchten wahren Abgangswinkel α zunächst für die Anlage der Schusstafel zu verwenden. Indess hat man zur Ermittlung dieses Abgangsfehlerwinkels ε lediglich den Abstand CC_1 zwischen berechnetem und beobachtetem Treffpunkt auf der Scheibe; dagegen über die Spitze dieses Winkels ist nichts bekannt. Dieselbe ist in dem vordersten Ruhepunkt (Knotenpunkt) des Laufs bei dessen Vibration zu suchen. Als dieser Ruhepunkt wird bisher die Stelle des Gewehrs angenommen, in welcher sich beim Rückstoss muthmasslich „zuerst der Lauf gegen den Holzschafft anlehnt“; also bei den älteren Gewehren die beim Kolbenhals liegende Kreuzschraube K , welche Lauf und Schafft verbindet (Figur II); bei den neueren Gewehren der Zapfen Z , den der Lauf meist am hinteren Ende besitzt und der in ein Lager des Schaftes eingreift; jedenfalls also in einem relativ weit hinter der Mündung gelegenen Punkt.

Figur II.



Dieses eben beschriebene Verfahren, welches von Mieg¹⁾ eingehender entwickelt und in neuester Zeit von v. Burgsdorff und v. Recklinghausen²⁾ in der Form einer feststehenden Methode gelehrt wurde, scheint in den meisten Gewehrfabriken Verwendung zu finden. Uebrigens sind sich die Ballistiker³⁾ wohl bewusst, dass wegen der Unkenntniss der Lage jenes Knotens das Verfahren nicht auf sichern Füßen steht. Eine einfache Rechnung zeigt, dass der Fehler, der bei der Ermittlung des Abgangswinkels durch eine falsche Annahme des Knotens entsteht, unter Umständen nicht unbedeutend ist: Bei dem auch im Folgenden in erster Linie zu Grunde gelegten Gewehr M/71 fand Mieg einmal die Strecke $CC_1 = 47$ mm; er nimmt $KD = 10$ m und die Entfernung der Spitze des Abgangsfehlers von der Scheibe zu $10 \text{ m} + 1,04 \text{ m}$; erhält also $\text{tg } \varepsilon = 47:11040$, $\varepsilon = 0^\circ 14' 38''$; würde nun aber gefunden werden, dass jene Spitze nur 15 cm von der Mündung absteht, so würde $\text{tg } \varepsilon = 47:10150$, $\varepsilon = 0^\circ 15' 57''$; somit wären sämmtliche Abgangswinkel um $1' 19''$, also mehr als eine Bogenminute unrichtig; nun beginnt nach Hebler die Schusstafel desselben Gewehrs folgendermassen:

¹⁾ A. Mieg, Major z. D.: Theoretische äussere Ballistik (Berlin 1884), p. 99 ff.

²⁾ v. Burgsdorff und v. Recklinghausen: Tafeln zur Flugbahnberechnung d. Infanteriegeschosse (Berlin 1897), p. 5, Beispiel.

³⁾ Mieg l. c. p. 168 fügt hinzu, dass er nur vorläufig (bis exacte Untersuchungen Gegentheiliges nachgewiesen haben) den vordersten Ruhepunkt in der Entfernung von 104 cm von der Mündung, bei der Kreuzschraube, annahme.

Schussweite m	Abgangswinkel	Auffallwinkel	Flugzeit Sec.	Geschwindigkeit m/Sec.
0	0	0	0	441
100	0° 10' 1"	0° 11' 25"	0,24	384
200	0 22 50	0 28 43	0,52	341
300	0 38 44	0 50 9	0,83	307

Also bringt eine Vergrösserung des Abgangswinkels um 12' 49" eine Vergrösserung der Schussweite um 100 m hervor, eine solche von 1' 19" eine Differenz in der Schussweite von ca. 10,3 m. Ist somit die Schussweite 100 m richtig, so ist der Abgangswinkel 0° 10' 1" falsch um 1' 19", oder ist der Abgangswinkel 0° 10' 1" richtig, so ist die Schussweite 100 m falsch um circa 10,3 m, oder um rund 10 0/0. Dieser Fehler wird allerdings bei den neueren Gewehren mit Zapfenlager auch für kleine Schussweiten gering sein; noch geringer für grössere. Da aber die Abgangswinkel resp. Schussweiten der Schiesstafeln für zahlreiche Zwecke der Praxis und Theorie verwendet werden, so ist es, wie man sieht, immerhin von Werth, zu wissen, ob die Voraussetzungen der Grundmethoden richtig sind oder nicht, und es hat sich das Letztere gezeigt.

Bisher scheint die Lage des vordersten Knotenpunkts, allgemeiner die Verbiegung der Gewehrläufe während des Schusses nicht exact untersucht worden zu sein; wenn General Otto¹⁾ und nach ihm Hauptmann Hentsch²⁾ angaben, dass die Gewehrringe (Figur II) die Knoten bilden müssen, so scheint diese Angabe mehr auf einer Wahrscheinlichkeitsüberlegung, als auf Beobachtung zu beruhen. Major Thiel, der insbesondere der Frage nach der Ursache des Abgangsfehlers beim Infanteriegewehr M/71 ein eigenes Werk gewidmet hat und in die Frage bis jetzt am tiefsten eingedrungen sein dürfte, kommt zu dem Schluss, dass der Lauf nur als Ganzes Schwingungen ausführe, dass übrigens in dem Augenblick, wo das Geschoss die Mündung verlässt, die regelmässigen Schwingungen noch nicht ausgebildet sein können.

General Wille³⁾ bemerkt kurz, dass die Einflüsse, vermöge deren Visirwinkel und Abgangswinkel fast niemals übereinstimmen, weder bei Geschützen noch bei Gewehren völlig klargelegt seien.

Die einzige physikalische Untersuchung über den Gegenstand, welche uns

¹⁾ Weigand l. c. p. 173.

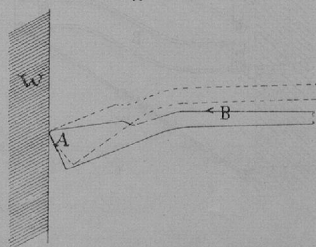
²⁾ Hentsch l. c. p. 311.

³⁾ R. Wille, General z. D.: Waffenlehre (Berlin 1896), p. 244.

bekannt geworden ist, von Crehore und Squier,¹⁾ lieferte ein negatives Resultat; die Autoren erhielten das Ergebniss, dass das Gewehr, welches sie untersuchten, während des Schusses keine merkliche Verbiegung erlitten haben könne. Der Widerspruch, der zwischen diesem Resultat und der allgemeinen Annahme der Ballistiker liegt, war nur geeignet, uns zu einer neuen Erforschung dieser Erscheinungen anzuregen. So entschlossen wir uns, die Schwingungen von Gewehrläufen, zunächst denen grösseren Kalibers, zu constatiren und zu messen, insbesondere die Frage zu lösen: welches ist der vorderste Knotenpunkt bei diesen Schwingungen; welche Gestalt besitzt der Lauf in dem Moment, wo das Geschoss die Mündung passirt; welcher Art sind diese Schwingungen, und lässt sich das Auftreten des Abgangsfehlers mit denselben erklären? (dabei muss selbstverständlich berücksichtigt werden, dass das Geschoss die Mündung verlässt in der Richtung der Resultante aus der Geschwindigkeit entlang der Seelenachse und der Geschwindigkeit senkrecht zu dieser in Folge der Schwingung).

Im Folgenden ist zunächst nur die Schwingung des Laufs in verticaler Ebene behandelt. Das Gewehr wird ja muthmasslich mehrere Bewegungen gleichzeitig ausführen: 1) wird es durch die Rückwirkung der Pulvergase parallel mit sich in der Richtung der Seelenachse als Ganzes zurückgehen, diese Bewegung lässt sich dadurch ausschliessen, dass die Kolbenfläche an eine feste Wand *W* (Figur III) angelegt wird; dann kann sich 2) das Gewehr als Ganzes noch um einen weit rückwärts gelegenen Punkt, vermuthlich einen Punkt *A* der Kolbenfläche, nach rückwärts und oben drehen, auch diese Bewegung wird beseitigt, wenn das Gewehr in dem kräftigsten Metalltheil *B*, der keine Verbiegung erleiden kann, dem Hülsenkopf, in dem der Lauf eingeschraubt ist, festgeklemmt wird; dann sind nur noch Verbiegungen und damit Schwingungen möglich.

Figur III.



¹⁾ A. Cushing Crehore and G. Owen Squier: Note on a photographic method of determining the complete motion of a gun during recoil. Journal of the United States Artillery, Vol. IV, No. 4 oct. 1895, p. 670—676. Sie lassen Licht durch einen durchlochten Carton auf fotogr. Platten fallen. p. 676: „It may be said therefore, that a Springfield rifle does not move appreciably before the bullet leaves the muzzle. Even if the motion were appreciable, its direction is such, that it is parallel to the axis and does not effect the aim of the gun.“

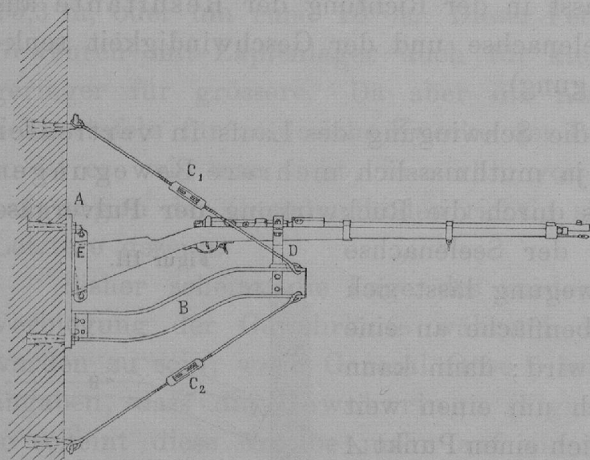
Die feste Aufstellung des Gewehrs.

Um diese Schwingungen des Laufes und Schaftes, die offenbar ihrer Grösse nach nur minimal sind, beobachten zu können, ist die in Obigem als nothwendig nachgewiesene Befestigung der beiden Punkte *A* und *B* (Figur III) in folgender Weise bewirkt.

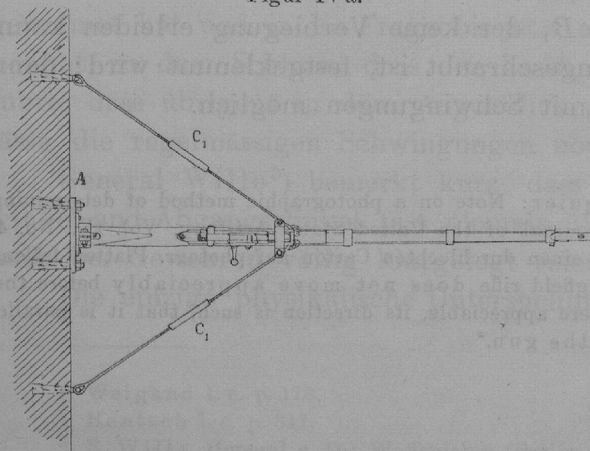
Es wurden zwei verschiedene Aufstellungsverrichtungen benutzt, die hier kurz skizzirt werden mögen.

Aufstellung A. An einer festen Wand (äussere Grundmauer des Gebäudes, an der benützten Stelle circa 1,50 m dick) ist mittelst Schrauben-

Figur IV.



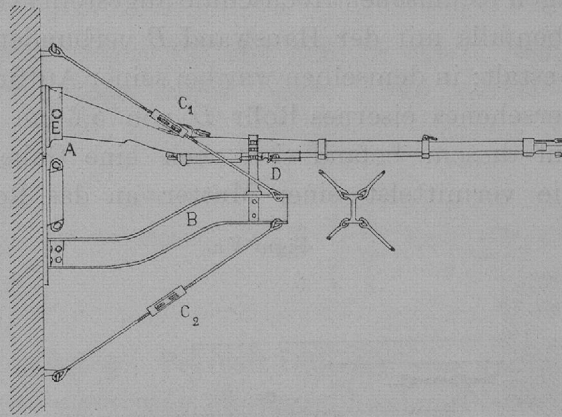
Figur IV a.



Steindollen eine eiserne Platte *A* festgeschraubt; auf dieser ist der eiserne Balken, der die in Figur IV angegebene Form *B* hat, angeschweisst; seitlich nach oben und unten ist derselbe durch 4 Eisenstäbe *C₁ C₁ C₂ C₂* (in der Figur nur 2 gezeichnet) versteift, die durch ihre Verschraubungen beliebig gespannt werden können; bei *D* ist eine Art Gabel angenietet, in die das Gewehr (gewöhnlich am Hülsenkopf) festgeklemmt werden kann (Figur IV a zeigt die Vorrichtung von oben gesehen). Der Kolben stützt sich entweder (Figur IV) nur mit dem Punkt *E* gegen die eiserne Platte *A* oder er ist durch eine Vorrichtung an Platte *A* (Pressbacken) mit derselben fest verbunden. Diese bei unseren Anfangsversuchen angewandte Aufstellung zeigte sich aber nicht ganz stabil. Offenbar wird durch den bei *E* aufgenommenen Rückstoss das Gewehr das Bestreben haben, sich um *E* als Drehpunkt aufwärts

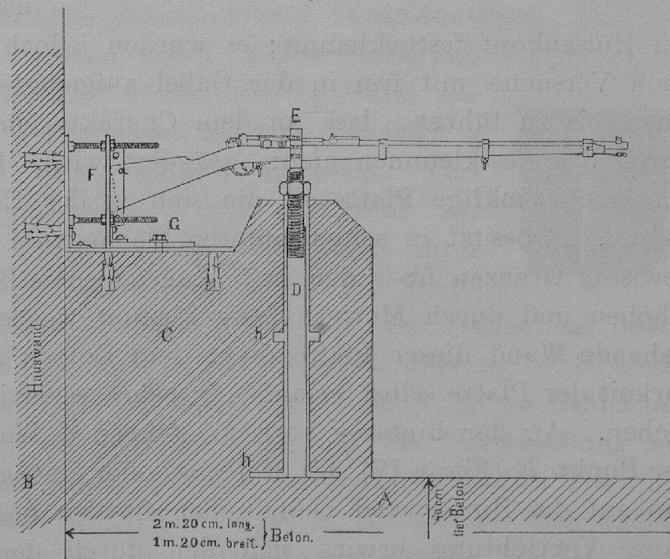
zu drehen, also zu bocken; es wirkt also bei *D* eine aufwärts gerichtete Kraft, die eine Biegung von *B* hervorruft; diese Verbiegung von *B* und damit Aufwärtsbewegung von *D* wird ausser durch die Festigkeit von *B* nur durch die Versteifungen *C*₁ *C*₂ verhindert; da nun, wie der Versuch ergab, diese Theile etwas federn, so lassen sich Eigenschwingungen von *B* nicht vermeiden, welche die Beobachtung der Verbiegungen des Laues selbst fälschen dürften, da es sich um die Feststellung nur sehr kleiner Deformationen handelt. Es wurde deshalb bei den späteren Versuchen die Aufstellung in der Weise abgeändert, dass wir das Gewehr verkehrt einklemmten, wie in Figur IV b angegeben ist. Der Stoss, den *D* erleidet, erfolgt dann nach unten; dieser wird wegen der Form des Balkens *B* zum grossen Theil, wie eine Zerlegung der

Figur IV b.



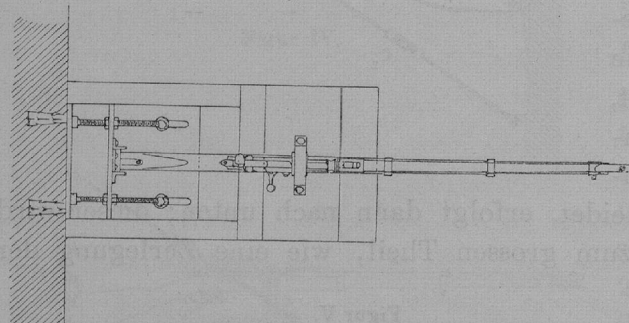
Kräfte nach *B*, *C*₁, *C*₂ ergiebt, von *B* in seiner Längsrichtung aufgenommen, so dass die Deformation der Aufstellvorrichtung beim Schuss nur sehr gering ausfällt. Wie die Beobachtungen, die weiter unten mitgetheilt sind, darthun, ging unser Bestreben jedoch dahin, auch die absoluten Werthe der Verbiegungen des Laues festzustellen; wir construirten deshalb eine zweite Aufstellungsvorrichtung B., bei der diese Fehlerquelle (Auftreten von Deformationen des Halters des Gewehrs) ausgeschlossen ist; jedenfalls waren mit unseren Hilfsmitteln Verschiebungen hierbei nicht wahrzunehmen.

Figur V.



Aufstellung B. Auf einem im gewachsenen Boden ruhenden Betonklotz *A* (Figur V, dasselbe in Figur Va von oben gesehen) von den Dimensionen 220 cm $\times$ 120 cm $\times$ 40 cm, der an einer Seite mit den Fundamentmauern *B* des Gebäudes von über 1,50 m Dicke (die Versuche wurden in einem Souterrainraume der hiesigen technischen Hochschule angestellt) verbunden war, befand sich ein zweiter, *C*, ebenfalls mit der Hauswand *B* verbundener von der aus Figur V ersichtlichen Gestalt; in demselben war bei seiner Aufführung ein mit verschiedenen Haltern *hh* versehenes eisernes Rohr *D* von 5,6 cm Durchmesser mit Cement eingegossen; auf diesem befand sich oben eine Gabel *E* zur Aufnahme des Gewehrlaufes, die vermittelst einer Mutter an das Rohr *D* festgeschraubt werden konnte;

Figur Va.



die Dimensionen von *D* und *E* waren solche, dass auch bei einem Druck von 2000 kg p. cm² eine mit unseren Hilfsmitteln wahrnehmbare Deformation nicht hätte hervorgerufen werden können. In der Gabel *E* wurde in derselben Weise wie bei Aufstellung A. der Lauf vermittelst zwischengelegter Kupferstücke

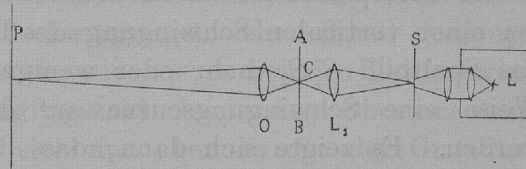
am Hülsenkopf festgeklemmt; es wurden jedoch, wie weiter unten angegeben, auch Versuche mit frei in der Gabel aufgelegtem Gewehr gemacht, um den Nachweis zu führen, dass an dem Charakter der auftretenden Schwingungen durch das Festklemmen nichts geändert wird. Der Kolben stützte sich gegen eine rechtwinklige Platte *F*, die sich in der Einsattelung des Betonklotzes *C* befand. *F* besitzt in seiner unteren Fläche zwei Schlitzte, so dass es innerhalb gewisser Grenzen über den in *C* eingelassenen Befestigungsschrauben *GG* verschoben und durch Muttern festgeklemmt werden kann. Die hintere vertical stehende Wand dieser Platte dient dem Kolben als Widerlager; die Verschiebbarkeit der Platte selbst erlaubt, Gewehre verschiedener Construction zu untersuchen. An der hinteren vertical stehenden Wand stützte sich entweder nur der Punkt *E* (Figur IV) des Kolbens, oder der ganze Kolben konnte zwischen den auf der Hinterwand befindlichen Backen fest eingeklemmt werden. Diese ganze Vorrichtung erwies sich den durch den Schuss ausgelösten Kräften gegenüber als vollkommen starr.

Die Art der Schwingungen.

Um die Art der Schwingungen an den verschiedenen Punkten des Laufes festzustellen, verfahren wir zum Theil nach einer schon mehrfach benutzten Methode.¹⁾

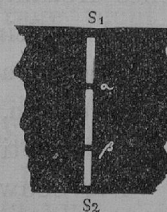
Von einer elektrischen Bogenlampe L (Figur VI), die sich in einem lichtdichten Kasten befand, gelangte durch einen engen Spalt S ein schmales Lichtbündel auf eine Linse L_1 von kurzer Brennweite, dieselbe entwirft ein verkleinertes äusserst lichtstarkes Bild

Figur VI.



des Spaltes S in der Ebene AB ; die von diesem reellen Bilde ausgehenden divergirenden Strahlen gelangen auf eine zweite Linse O (in der Regel ein photogr. Portrait-Objectiv von grossen Dimensionen); durch dieses wird auf einer entfernten photographischen Platte P (Abstand OP circa 3,5 m) ein zweites reelles Bild des Spaltes entworfen. In der Bildebene AB befindet sich nun der Punkt des Gewehrlaufes, dessen Schwingungen untersucht werden sollen, und im Kreuzungspunkt C der Strahlen selbst, also in heller Beleuchtung des Spaltbildes, ein auf dem Gewehrlauf an dieser Stelle befestigtes dünnes kurzes Drahtstückchen, das sich auf der Platte P ebenfalls abbilden wird; wir werden also

Figur VIa.



auf der sensiblen photographischen Platte ein Spaltbild bekommen, das an einer Stelle durch einen dunkeln Schatten α (Bild des Drähtchens) (Figur VI a) getheilt erscheint. Verschieben wir nun die photographische Platte senkrecht zur Längsrichtung des Spaltbildes S_1S_2 , so wird die Platte ihrer ganzen Länge nach, so weit die Beleuchtung durch das Spaltbild stattgefunden hat, geschwärzt erscheinen, nur an den Stellen, an denen sich der Drahtschatten α befunden hat, wird keine Schwärzung statthaben; wenn also der zu beobachtende Punkt des Laufs und damit auch das Drähtchen sich in Ruhe befindet, so wird auf der Platte parallel zur Verschiebung ein ungeschwärztes Band entstehen; führt jedoch der Punkt des Laufes Schwingungen in verticaler Richtung aus, so wird α in jedem Moment an einer andern Stelle des Spaltbildes sich befinden, die unbelichteten Stellen werden nicht

¹⁾ Ueber die Methode vergl.: L. Hermann, Pflüger's Archiv f. Physiolog. 45, p. 582. v. Kries, du Bois' Archiv f. Physiolog. 1887, p. 254. E. Bazzi, Nuov. Cim. (3) 22, p. 155, 1887. Krigar-Menzel und Raps, Wied. Ann. 44, p. 623, 1891. Ebendieselben 50, p. 444, 1893. W. Kaufmann, ebenda 54, p. 675, 1895. Klüchert, ebenda 65, p. 849, 1898.

mehr in einer Geraden, sondern in einer Curve liegen, welche die Schwingungen des beobachteten Punktes darstellt. Selbstverständlich haben wir uns durch Vorversuche davon überzeugt, dass das Drähtchen selbst nicht etwa Eigenschwingungen ausführte; es ergibt sich das ausserdem einwandfrei, wenn man anstatt des Drahtschattens den Schatten des Laufes (resp. der obersten Kante desselben) direct benutzt (in zweien der beigegebenen Curven, z. B. in Tafel I Nr. 3, ist noch die parallele Schattencurve des Gewehrlaufes durch Zufall mitabgebildet und mag als Beweis hierfür gelten), so dass jeweils die eine Hälfte des Spaltbildes durch den Schatten des Laufes verdeckt wird, der Effect bei einer verticalen Schwingung des Laufes wird dann offenbar der sein, dass das Spaltbild $S_1 S_2$ mehr oder weniger lang ist; es muss also auch auf diese Weise eine Schwingungscurve auf der photographischen Platte verzeichnet werden. Es zeigte sich dann, dass die letzterwähnte Curve und die des auf dem Lauf befestigten Drähtchens identisch waren.

Um auch die Schwingungszahl bezw. die Schwingungsdauer der Vibrationen des betrachteten Punktes des Gewehrlaufes festzustellen, bringt man in dem erwähnten Kreuzungspunkte der Strahlen noch einen zweiten horizontalen Draht an, der sich an dem einen Zinken einer Stimmgabel von bekannter Schwingungszahl befindet (β in Figur VI a); es werden sich dann die Schwingungen der Stimmgabel auf derselben Platte in einer zweiten Curve darstellen; die Schwingungszahl der Laufschwingungen lässt sich dann offenbar durch einfaches Abzählen der zwischen zwei Punkten von derselben Schwingungsphase liegenden Stimmgabelschwingungen bestimmen. Die Curven auf den beigegebenen Tafeln I bis V sind photographische Aufzeichnungen der Laufschwingungen, parallel zu ihnen befindet sich auf einigen die von den Schwingungen der Stimmgabel herrührende Curve.

Die Schwingung des Gewehrlaufes ist, wie sofort in die Augen fällt, keine einfache, sondern eine zusammengesetzte; eine langsamere Schwingung ist von einer, die circa 5—6 mal so schnell vor sich geht, überlagert. Dieses Resultat lässt sich nun entweder so erklären, dass die eine Art der Schwingung vom Lauf herrührte, die andere eine Eigenschwingung der Unterlage wäre, oder dass der Gewehrlauf ausser einer Grundtonschwingung noch Obertonschwingungen ausführte. Gegen die erstere Annahme sprechen an sich schon gewisse Erscheinungen. Alle Curven zeigen nämlich eine sehr schnelle Dämpfung der kürzeren Schwingungen. Die kürzeren Schwingungen würden offenbar als Schwingungen der Unterlage aufzufassen sein, während die längeren vom Lauf herrühren müssten. Da die kürzeren die Eigenschwingung einer grossen Masse wären, so sollte man entgegen dem obigen Resultat erwarten, dass die

Schwingungen als Schwingungen einer grossen Masse sehr lange anhalten sollten und nicht eine so schnelle Dämpfung wie thatsächlich zeigen; ferner konnten wir, bei directen Versuchen an der Aufstellungsvorrichtung selbst, beim Schuss keine Schwingungen constatiren, wie schon oben erwähnt; wir werden somit die zweite Annahme als zutreffend anzusehen haben. Es tritt nun aber auch erfahrungsgemäss bei schwingenden Körpern niemals eine bestimmte Schwingung allein auf, sondern es erklingen z. B. beim Tönen derselben bekanntlich mit dem Grundton zusammen immer eine Reihe von Obertönen mehr oder weniger intensiv mit. Diese Obertöne werden jedoch, wie ebenfalls bekannt, bei transversalen Stabschwingungen sehr schnell gedämpft, weil sie anharmonische sind, also gerade so, wie wir es bei den Laufschiwungen feststellen konnten. Die Schwingungszahl des ersten Obertons eines transversal schwingenden Stabes verhält sich nun aber zu der der Grundtonschwingung circa wie $5,5:1$; eine Ausmessung, auf die wir später noch genauer zurückkommen werden, ergiebt nahezu das gleiche Verhältniss für die beiden Laufschiwungen. Wir können also mit Sicherheit den Satz aufstellen:

Die Schwingung des Gewehrlaufes nach dem Schuss geht vor sich im Grundton und ersten Oberton.

Wie weiter unten zu erwähnende Versuche nach feineren Methoden ergaben, treten noch eine Reihe von Obertönen hinzu; die Amplituden dieser Schwingungen sind jedoch so gering, dass sie für unsere Frage nicht in Betracht kommen, wenigstens nicht für dieses Gewehr.

Man kann einen einfachen Versuch leicht anstellen, der zeigt, dass ein an einem Ende eingeklemmter Stab durch einen kurzen Stoss ebenfalls transversale Schwingungen im Grund- und ersten Oberton ausführt. Klemmt man nämlich ein circa 40 cm langes, 3 cm breites, $\frac{1}{2}$ mm dickes Stahlblatt mit seinem einen Ende horizontal in einen Schraubstock und führt gegen das freie Ende einen leichten Stoss in der Längsrichtung, so geräth das Blatt in Schwingungen; bei Betrachtung senkrecht zur Schwingungsrichtung sieht man, wie dasselbe einestheils in seiner ganzen Länge Schwingungen ausführt, ausserdem nimmt man aber deutlich in einem Abstände von circa einem Fünftel der Länge vom freien Ende den Knotenpunkt der Schwingung des ersten Obertons wahr. Beachtet man nun, dass das Gewehr am Punkte *E* (Figur V) wie das Stahlblatt im Schraubstock festgeklemmt ist, dass der Lauf durch die plötzliche Explosion des Pulvers ebenfalls einen axialen Stoss erhält, so erscheint die Analogie der Laufschiwungen mit denen eines festgeklemmten

Stahlblattes ziemlich weitgehend zu sein; auch mit einer festgeklebten Reisschiene gelingt das Experiment leicht.

Wir versuchten nun weiter, den Schwingungsknoten der Obertonschwingung direct auf einfache Weise sichtbar zu machen. Bekanntlich weist man die Schwingungsknoten schwingender Stäbe und Platten in der von Chladni angegebenen Weise mittelst Sandfiguren nach. Um nach dieser Methode den Schwingungsknoten direct nachzuweisen, kitteten wir auf den Lauf seiner ganzen Länge nach mit dem bekannten aus Wachs und Kolophonium gemischten Kitt einen Cartonstreifen auf; für die Gewehrringe waren im Streifen Aussparungen angebracht, die nachher wieder mit Papier überklebt wurden, so dass der Streifen eine zur Seelenachse des horizontal eingeklemmten Gewehrs parallele horizontale Ebene bildete; der Streifen war circa 5 cm breit, seine Ränder auf 1 cm aufgebogen, damit der aufgestreute Sand nicht sogleich beim ersten Schuss herabgeschleudert würde. Man streut nun in bekannter Weise Sand auf den Carton; nach circa drei abgegebenen Schüssen ist der Sand auf der ganzen Länge des Cartons verschwunden, bezw., wenn die Nivellirung quer zum Lauf nicht ganz gelungen, auf die eine Seite gewandert; nur an einer Stelle, circa ein Fünftel der Lauflänge von der Mündung entfernt, ist der Sand nahezu in Ruhe liegen geblieben; bei dem von uns benützten Mausergewehr M/71 lag die Stelle circa 14,5 cm von der Mündung entfernt. Diese Stelle des Laufes hat sich also verhältnissmässig in Ruhe befunden; dass sie nicht ganz ruht, folgt daraus, dass der Lauf, wie die Photogramme ergeben, ausser im ersten Oberton auch im Grundton, also als Ganzes schwingt; es nimmt also der Knoten des Obertons an der Grundtonschwingung theil und es ist desshalb nicht zu erwarten, dass der Knoten sich wie bei der reinen Obertonschwingung durch eine scharf definirte Sandlinie darstellt.

Dieser Knoten des ersten Obertones tritt nun auch auf und ist in der angegebenen Weise durch Sandfiguren sichtbar zu machen, wenn man mit einem kleinen Holzhammer gegen das Gewehr klopft. Es zeigt sich hierbei die merkwürdige Erscheinung, dass die Lage des Knotens sich ändert je nach der Stelle, an der geklopft wird, wie nachstehende Tabelle zeigt:

Es wurde geklopft am:	Der Knoten des ersten Obertons lag:
Achtkant	10 cm von der Mündung
Muttergewinde des Hülsenkopfs	11 " " " "
Hintere Fläche d. Hülsenausschnitts	12 " " " "
Kreuzschraube	13 " " " "
Kolbenhals	14,5 " " " "

Wie man sieht, rückt der Knoten um so weiter nach hinten, je weiter hinten man die Erschütterung erzeugt.

Es möchte hier nun der principielle Einwurf gemacht werden, ob denn bei freihändig gehaltenem Gewehr dieselben Erscheinungen auftreten; ob auch hier der Lauf die beiden Schwingungen im Grund- und ersten Oberton ausführt. Es ist nun nicht möglich, bezw. ist es uns nicht gelungen, bei freihändigem Schiessen die Sandfiguren zu erzeugen; die Gewalt des Rückstosses schleudert die Sandtheilchen von dem Cartonstreifen beim ersten Schuss schon herunter; wir werden später zeigen, dass sich der Nachweis für das gleiche Verhalten bei freihändigem Schiessen auf photographischem Wege erbringen lässt. Wohl aber lassen sich durch Klopfen auf dem freihändig gehaltenen Gewehr die Sandfiguren hervorrufen, wie folgende Tabelle über die Lage des Knotens zeigt:

Es wurde geklopft am:	Der Knoten des ersten Obertons lag:
Achtkant	10,5 cm von der Mündung
Muttergewinde	11,5 " " "
Kammerhülsen-Ausschnitt	(es bildete sich kein Knoten)
Kolbenhals	12,5 cm von der Mündung

Wie man sieht, rückt auch hier der Knoten um so mehr nach hinten, je weiter hinten geklopft wird; dagegen weichen die absoluten Werthe der beiden Tabellen nicht unbeträchtlich von einander ab; es erscheint dies auch nicht weiter merkwürdig, da es eine bekannte Thatsache ist, dass ein fest eingespanntes Gewehr einen etwas andern Treffpunkt besitzt, als ein freihändig gehaltenes. In beiden Fällen ist die Art der Schwingung jedoch dieselbe.

Wir wollen nun zunächst unter vereinfachenden Voraussetzungen die Schwingungsdauer des Gewehrlaufes berechnen und dieselbe dann mit der beobachteten vergleichen; fasst man das Gewehr auf als cylindrisches Rohr — indem man von der Verbindung des Laufes mit dem Schaft absieht — so lässt sich die Schwingungsdauer einer solchen cylindrischen Röhre nach einer bekannten Formel berechnen.

Bezeichnet nämlich

T die Schwingungsdauer,

$\frac{1}{T} = n$ die Anzahl der Schwingungen in der Sekunde,

L die Länge des Rohres in Metern gemessen,

d_1 u. d_2 die äusseren und inneren Durchmesser des Rohres in Metern,

E den Elasticitätscoefficienten des Materials, aus dem das Rohr besteht,
 g die Beschleunigung der Schwere in $\text{mm} = 9810$,
 s das specifische Gewicht des Materials,
 ε_1 eine Constante, deren Werth 0.597 ist,

so besteht die Beziehung:

$$n = \frac{\varepsilon_1 \pi}{8 L^2} \sqrt{\frac{E \cdot g}{s}} \sqrt{d_1^2 + d_2^2}$$

Bei dem benutzten Mausergewehr Modell 71 war

$$E = 20\,000 \text{ kg/mm}^2,$$

$$L = 0.830 \text{ m},$$

d_1 wurde, da der Lauf hinten verdickt, also konisch ist, bestimmt aus dem Mittel der an der Mündung und am Achtkant gemessenen

$$\text{Durchmesser} = \frac{17.6 + 22.5}{2} = 20.05 \text{ mm} = 0.02005 \text{ m},$$

$$d_2 = 0.01100 \text{ m};$$

hieraus ergibt sich

$$n = 23.8 \text{ als Schwingungszahl der Grundtonschwingung.}$$

Die Schwingungszahl n' des ersten Obertones bestimmt sich aus n nach der ebenfalls bekannten Formel

$$n' = n \cdot \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

wo ε_2 eine zweite Constante $= 1.494$ ist. Daraus folgt für die Schwingungszahl des ersten Obertones

$$n' = 148.8$$

Vergleichen wir nun mit diesen berechneten Zahlen die aus unseren Versuchen sich ergebenden. Die Auszählung verschiedener Platten ergab die folgenden Resultate. Die Schwingungsdauer der Vergleichsstimmgabel betrug 0.0023 Sek. Daraus bestimmt sich die Schwingungsdauer des Grund- und ersten Obertones wie folgt:

Schwingungsdauer der Grundtonschwingung	Schwingungsdauer des ersten Obertones
0.0352 Sek.	0.00720 Sek.
0.0380 "	0.00747 "
0.0384 "	0.00715 "
0.0362 "	—
0.0364 "	—
0.0359 "	—
0.0350 "	—
0.0361 "	—
—	0.00706 "
—	0.00707 "
Mittelwerth:	Mittelwerth:
0.0363 Sek.	0.0072 Sek.

Es ergibt sich hieraus als beobachtete

Schwingungszahl der Grundtonschwingung des Laufes $n = 27.6$

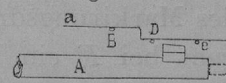
Schwingungszahl der ersten Obertonschwingung des Laufes $n' = 139$.

Zieht man in Betracht, dass der Lauf nicht, wie in der Berechnung angenommen, ein cylindrisches Rohr, sondern ein konisches ist, und dass die Verbindung des Laufes mit dem Schaft nicht berücksichtigt ist, so wird man die Uebereinstimmung zwischen den berechneten und beobachteten Werthen genügend finden.

Von besonderer Wichtigkeit für die Kenntniss des Vibrationsfehlers ist es nun, den Zeitpunkt zu markiren, in welchem das Geschoss den Lauf verlässt; denn so interessant an sich die Schwingungscurven des Laufes nach dem Schuss sind, so wird doch offenbar nur der im Augenblick, in dem das Geschoss den Lauf verlässt, vorhandene Schwingungszustand für die Richtung, in der das Geschoss abgeht, massgebend sein.

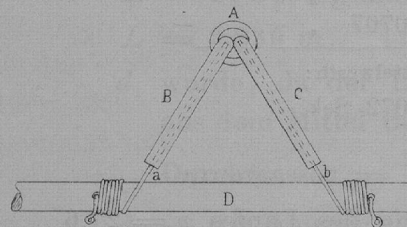
Anfänglich versuchten wir diesen Zeitpunkt dadurch zu markiren, dass wir über dem Lauf *A* (Figur VII) einen rechtwinklig gebogenen Draht *D* auf zwei Glasstäben *B* und *C* lose aufgelegt anbrachten, deren kürzeres vertical abwärts gerichtetes Ende um die Geschosslänge entfernt vor der Laufmündung herabhing; die Länge des horizontalen Theiles war so bemessen, dass sich das Ende *a* noch gerade im reellen Spaltbild, das durch die Linse *L*₁ (Figur VI) erzeugt wurde, befand; es wird dieser Draht mithin auf der Platte *P* ebenfalls mitabgebildet und giebt im Spaltbilde *S*₁*S*₂ in Figur VI a eine dritte Beschattung. Das

Figur VII.



Spaltbild ist also unterbrochen durch den Markierungsdraht 1) des Laufes, 2) der Stimmgabel, 3) des eben erwähnten Drahtes; auf der vorübergezogenen Platte wird sich derselbe also, so lange er da ist, als ein der Abziehrichtung paralleles Band darstellen, das verschwindet im Moment des Austrittes der Kugel aus dem Lauf, weil die Kugel in diesem Augenblick gegen den vertical abwärts gerichteten Theil des Drahtes *D* stossen und den Draht fortreißen wird. Es bewährte sich jedoch diese Methode nicht; auf der entwickelten Platte ist das Verschwinden des Schattens dieses Drahtes kein plötzliches, sondern wegen der Elasticität des Drahtes nur ein allmähliches, so dass der

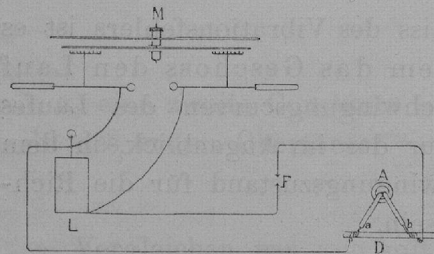
Figur VIII.



Zeitpunkt, in welchem die Kugel den Lauf verlässt, so nicht scharf bestimmt werden kann. Wir verfahren desshalb in anderer Weise. Vor der Mündung *A* (Figur VIII) befanden sich zwei Drähte *a* und *b*, isolirt auf einer Hartgummi-
stange *D* befestigt; ihre Enden waren durch zwei Glasröhrchen ¹⁾ *B* und *C* von einander iso-

lirt; *a* und *b* sind, wie Figur VIIIa zeigt, in Verbindung mit der inneren und äusseren Belegung einer Batterie Leydener Flaschen *L*, die durch eine Influenzmaschine *M* geladen werden. Die beiden Drähte *a* *b* befinden sich in einem Abstände gleich der Länge des angewandten Geschosses, also von 27.5 mm vor der Mündung; die aus dem Lauf austretende

Figur VIII a.



Kugel wird die Glasröhrchen zertrümmern und zwischen *a* und *b* einen Funken auslösen und so eine Entladung der Flaschenbatterie *L* hervorrufen; in der Leitung von *b* nach *L* befindet sich aber bei *F* noch eine zweite kleine Unterbrechungsstelle, es wird also gleichzeitig beim Austritt der Kugel aus dem Lauf und gleichzeitig mit dem Funken zwischen *a* und *b* auch an der Funkenstrecke *F* ein Funke über-

gehen. Es wird nun vermittelt einer Linse von kurzer Brennweite in der Mitte des Spaltbildes *S*₁ *S*₂ (Figur VI a) und zwar in der Mitte des Schattens des Markierungsdrahtes *a* des Laufes ein Bild dieser Funkenstrecke *F* entworfen; geht bei *F* ein Funke über, so wird sich derselbe auf der vorübergezogenen photographischen Platte verkleinert abbilden und wegen seiner grossen Licht-

¹⁾ Diesen Kunstgriff hat zuerst E. Mach bei seiner bekannten Methode zum Photographiren des fliegenden Geschosses verwendet; vgl. E. Mach u. F. Wentzel, Ein Beitrag zur Mechanik der Explosionen. XCH. Bd. der Sitzungsberichte der Kais. Akademie d. Wiss. zu Wien, II. Abth., 1885, Seite 636.

stärke eine punktförmige Schwärzung der Platte in diesem Moment hervorrufen, in den beigegebenen Abbildungen wird mithin der Funke als heller Fleck bemerkbar sein (derselbe ist immer mit γ bezeichnet); da nun Funke und Spalt zusammenfallen, so wird die Lage dieses Punktes in Bezug auf die Schwingungscurven des Laufes und der Stimmgabel die Phase der Laufschiwingung für den Zeitpunkt angeben, in dem die Kugel den Lauf verlässt. Die praktische Ausführung eines derartigen Versuches gestaltete sich nun folgendermassen:

Nachdem der Markierungsdraht auf der zu untersuchenden Stelle des Laufes befestigt, der Stimmgabeldraht unmittelbar über demselben eingestellt, die in Figur VIII a angegebenen Drahtverbindungen hergestellt waren, wurde in der angegebenen Weise ein scharfes Spaltbild $S_1 S_2$ (Figur VI a) auf einem Schirm entworfen, der sich genau an der Stelle befand, an der später die photographische Platte aufgestellt wurde; durch passend angebrachte, genügend enge Blenden und richtige Einstellung der Höhe der Kohlen der elektrischen Bogenlampe gelingt es dann, ein nahezu auch von Beugungserscheinungen freies, scharfes Spaltbild, durchzogen von den Schatten der Markierungsdrähte zu entwerfen; auf die Mitte dieses Spaltbildes und in der Regel zugleich auf die Mitte des Schattens α wurde das Bild der Drahtenden der Funkenstrecke F (Figur VIII a) projicirt, was leicht durch das Hintersetzen einer Kerzenflamme hinter F geschehen kann. Nachdem die Ladung des Gewehrs ebenfalls bewerkstelligt war, kam an die Stelle des Schirmes die photographische Platte,¹⁾ dieselbe befand sich in einer Kassette und hatte eine Grösse von 5×30 cm. Die Kassette stand auf einem kleinen vierräderigen Wagen, der senkrecht zur Richtung der Strahlen, die das Spaltbild $S_1 S_2$ hervorrufen, auf Schienen vorbeigezogen werden konnte. Es wurde nun, nachdem die Influenzmaschine durch einen Elektromotor in Thätigkeit gesetzt war und die Ladung der Flaschenbatterie genügend gross war, nach dem Takte eines Metronoms auf 4 gezählt und auf 4 von dem Einen von uns der Schuss abgegeben und von dem Anderen gleichzeitig die photographische Platte an dem Spaltbilde $S_1 S_2$ vorbeigezogen. Bei einiger Uebung ist es unschwierig, die Gleichzeitigkeit der beiden Vorgänge zu erreichen, so dass sich das Spaltbild im Moment des Schusses in der Mitte der Platte befindet.

Auf diese Weise sind nun die auf den Tafeln I bis V reproducirten Photographieen erzeugt, die später näher beschrieben und discutirt werden sollen. Dieselben sind aus mehreren Hundert Aufnahmen, die in dieser Weise gemacht wurden, herausgegriffen.

¹⁾ Der Raum, in dem die Versuche angestellt wurden, war verdunkelt bzw. nur durch rothes Licht erhellt.

Bei diesen Versuchen war das Gewehr am Hülsenkopf bei *E* (Figur V) eingeklemmt und stützte sich mit Punkt *a* gegen die feste Wand *F*, die den Rückstoss aufnahm; es wurde zunächst mit normaler Ladung, also mit 5 g Schwarzpulver bei einem Gewichte des Geschosses von 25 g geschossen.

Die Beobachtung fand zunächst an einem Punkte des Laufes statt, der unmittelbar hinter der Mündung lag, also an einer noch vor dem Korn befindlichen Stelle, dann auch an anderen Stellen des Laufes. Auf Tafel I stellt Figur 1 die so erhaltene Curve für einen Punkt in der Nähe der Mündung dar. Wir sehen, dass die Schwingungen mit einer kleinen Schwingung nach oben beginnen, auf die dann Schwingungen des ersten Obertones mit grösserer Amplitude folgen, die sich den Grundtonschwingungen überlagern, aber sehr schnell gedämpft sind, weil sie zu ersteren wie erwähnt anharmonisch sind. Ungefähr zu derselben Zeit, in der diese Schwingungen grösserer Amplitude beginnen, verlässt die Kugel den Lauf und man könnte geneigt sein, dies in ursächlichen Zusammenhang zu bringen, indem diese stärkeren Schwingungen gleichsam auf einen Reactionsstoss, den der Lauf bei Trennung von Kugel und Gewehr erhält, zurückzuführen wären. Wie weiter unten mittheilende Versuche mit halber und Viertelladung jedoch ergeben, ist dies nicht der Fall, da hier die grossen Schwingungen schon bedeutend vor dem Zeitpunkt, in dem die Kugel den Lauf verlässt, eintreten.

Aus den bisher beschriebenen Versuchen folgt jedenfalls, dass der Lauf im Moment, in dem das Geschoss ihn verlässt, eine gewisse Deformation besitzt, durch welche die Bahn des Geschosses gegeben ist. Diese Deformation ist zu verschiedenen Zeiten eine verschiedene, entsprechend der Schwingungsphase, in der sich der Lauf im Moment des Austrittes des Geschosses befindet; von dieser Schwingungsphase nach Richtung und Geschwindigkeit der Mündungstheile wird mithin der sog. Abgangsfehler abhängig sein. Ganz allgemein wird man desshalb behaupten können, dass alle Umstände, welche bewirken, dass im Moment des Austrittes des Geschosses die Schwingungsphase eine andere ist, auf den Treffpunkt von Einfluss sein werden.

Deformation des Laufes in dem Augenblick, in dem das Geschoss ihn verlässt.

Es unterliegt mithin wohl keinem Zweifel, dass diese Schwingungen nicht, wie man bisher angenommen hat, reine Grundtonschwingungen oder nur solche eines Obertones sind, sondern dass wir es mit der Combination beider zu thun haben. Massgebend für die Richtung des abgehenden Geschosses, also für den Abgangsfehler, wird natürlich die Obertonschwingung

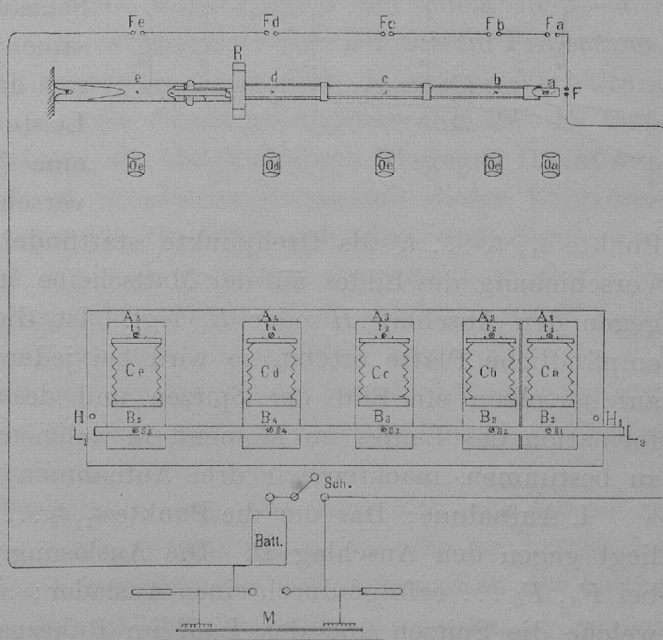
sein, da die langsamere Grundtonschwingung noch erst in der Ausbildung begriffen ist; es wird also der Scheitelpunkt des Vibrationswinkels in den Knotenpunkt des ersten Obertones, also bei dem von uns benützten Mauser-Gewehr Modell 71 Nr. 4184 C circa 14.5 cm hinter der Mündung zu legen sein. Da wir an den verschiedensten Punkten des Laufes die Schwingungscurven photographisch aufgenommen haben, so würde es nicht schwer sein, direct aus den Schwingungscurven die Deformation des Laufes für den Moment, in dem das Geschoss den Lauf verlässt, zu bestimmen, da auf allen dieser Zeitpunkt durch das Bild des elektrischen Funkens gegeben ist. Es schien uns aber doch von Wichtigkeit zu sein, auch noch auf directe Weise diese Deformation zu bestimmen und zu messen.

Die Ermittlung dieser nur äusserst geringen Grössen geschah ebenfalls auf photographischem Wege durch Momentaufnahme des Laufes in folgender Weise: *a, b, c, d, e* (Figur IX) sind zugespitzte Eisenstäbchen, die sich (Figur IX a) auf einer Schiene in geringer Höhe über dem

Gewehrlauf befestigt befinden: *a, c* in der Nähe der Schwingungsbäuche des Obertones, *b* u. *d* in der Nähe des Schwingungsknotens und *e* am Kolbenhals. *R* ist die Halbringklemme, die den Gewehrlauf am Kammerhülsenkopf festhält (wie oben bereits beschrieben). Hinter diesen Spitzen in ca. 20 bis 25 cm Entfernung befinden sich Funkenstrecken *F_a, F_b, F_c, F_d, F_e* (Figur IX); diese Funkenstrecken stehen nebst der Hauptfunkenstrecke *F*, die sich vor der Mündung befindet (vergl. auch Figur VIII), mit

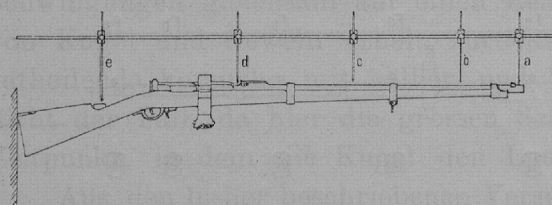
der Leydener Flaschenbatterie und der Influenzmaschine in Verbindung. Die Influenzmaschine war sammt der Leydener Flaschenbatterie in einem geräumigen Schrank von $4 \times 3 \times 2$ m untergebracht, da sie sonst durch den Niederschlag der Pulvergase sofort unbrauchbar wurde. Dieser Schrank wurde auf elektrischem Wege durch einen Strom von 10 bis 15 Ampère nach Bedarf

Figur IX.



geheizt, wodurch ein gutes Functioniren der Maschine etc. bewirkt wurde. Die Maschine wurde durch einen Elektromotor in Rotation versetzt und, damit ein Umladen nicht stattfinden konnte, wurden ihre Belegungen durch eine zweite, kleinere Elektrisirmaschine, die durch denselben Elektromotor getrieben wurde, constant in demselben Sinne geladen. Die Funkenstrecke F , an der das Geschoss im Moment, in dem es den Lauf verlässt, die Auslösung des Funkens bewirken soll, hatte die oben pag. 762 (Figur VIII) beschriebene Form. Wird nun durch das Geschoss bei F ein Funke ausgelöst, so springen auch an den übrigen Unterbrechungsstellen $F_a, F_b \dots$ Funken über, welche Lauf und Spitzen intensiv beleuchten. Photographische Objective $O_a, O_b \dots$ sind so eingestellt, dass sie scharfe Bilder der Spitzen $a, b \dots$ sowie des darunterliegenden Theiles des Laufes in Silhouettenform auf den Mattscheiben ihrer zugehörigen Cameras $C_a, C_b \dots$ geben. Jede Camera steht auf einem Brette $B_1, B_2 \dots B_5$, das um die Achse t_1 , bzw. $t_2 \dots t_5$ drehbar ist. Die hinteren

Figur IX a.



Enden der Bretter sind durch die Schrauben $s_1, s_2 \dots s_5$ mit der gemeinsamen Leiste $L_1 L_2$ verbunden und zwar so, dass bei einer Verschiebung der Leiste $L_1 L_2$ nach links oder rechts eine (und zwar die gleiche) Winkelverschiebung der Cameras um die

Punkte $t_1, t_2 \dots t_5$ als Drehpunkte stattfindet; es findet also hierdurch eine Verschiebung des Bildes auf der Mattscheibe statt, je nachdem man das System gegen den Anschlag H oder H_1 legt. Ist die Mattscheibe durch eine lichtempfindliche Platte ersetzt, so wird bei jeder Auslösung eines Funkens bei F auf derselben ein Bild der Spitzen und des Laufes entstehen. Um die Deformation des Laufes im Moment, in welchem die Kugel aus dem Lauf tritt, zu bestimmen, machten wir drei Aufnahmen auf derselben Platte:

I. Aufnahme: Das um die Punkte $t_1, t_2 \dots$ bewegliche System der Cameras liegt gegen den Anschlag H . Die Auslösung des Funkens bei F und damit bei $F_a, F_b \dots$ erfolgt durch einen Auslader; man erhält eine Momentaufnahme, welche die Spitzen und den Lauf im Ruhezustande darstellt.

II. Aufnahme: Das Camerasystem wird gegen den Anschlag H_1 gelegt; wieder wird durch einen Auslader ein Funke bei F ausgelöst; es entsteht neben dem ersten Bild ein zweites, das uns ebenfalls die Spitzen und den Lauf in nicht-deformirtem Zustande giebt.

III. Aufnahme: Das Camerasystem bleibt am Anschlag H_1 , es wird aber jetzt der Schuss abgegeben, die Auslösung des Funkens bei F erfolgt jetzt

durch das Geschoss; das vorhin erhaltene zweite Bild wird jetzt von einem dritten überlagert, wobei der Deformation des Laufes an den verschiedenen Punkten entsprechend das neue Bild des Laufes höher oder tiefer liegen wird. Die superponirten Bilder der Aufnahmen II und III erlauben eine genaue Messung der Grösse der Verschiebung, die Vergleichung von I mit II und III erlaubt den Sinn der Deformation festzustellen. Die Figuren *a* bis *e* auf Tafel VI geben eine Probe einer solchen Aufnahme. Die absoluten Werthe können in folgender Weise bestimmt werden.

Die Spitzen waren die Enden von 2.50 mm starken Stäbchen, die wie erwähnt an einer eisernen Schiene, die parallel der Seelenachse des Gewehrs lag, verschoben und über den betreffenden Punkten des Gewehrlaufes festgestellt werden konnten (vergl. Figur IX a); eine Strecke des cylindrischen Theiles des Stäbchens wurde jedesmal auf der Photographie mitabgebildet. Die entwickelte, fixirte und getrocknete Platte wurde dann in einen Projectionsapparat gesteckt, also von hinten mit starkem Licht (elektrischer Bogenlampe) erleuchtet und vermittelt eines Linsensystems auf einen in 3—4 m Entfernung aufgestellten weissen Schirm projicirt; der auf diesem Projectionsbild gemessene Durchmesser des Stäbchens giebt dann in seinem Verhältniss zum wahren Durchmesser (2.50 mm) die Gesamtvergrösserung an. Es kann also aus der Grösse der Verschiebung, die die Aufnahme III gegen II auf dem Schirm giebt, (durch Division der so erhaltenen Grösse mit dieser Vergrösserungszahl) der absolute Werth der Verschiebung gefunden und durch Vergleichung von II und III mit I der Sinn derselben festgestellt werden. Da das Stäbchen auf dem Schirm ungefähr 500 mm dick erschien, so war die angewandte Gesamtvergrösserung ungefähr 200 fach. Diese Methode zur Ausmessung photographisch erhaltener Grössen ist der gewöhnlich angewandten (vermittelt eines verschiebbaren Mikroskopes) an Empfindlichkeit überlegen und hat jedenfalls den Vorzug grosser Einfachheit für sich.

Da nun bekanntlich der Treffpunkt eines Gewehres sich von Schuss zu Schuss etwas ändert, da wir ferner nachgewiesen haben, dass die Aenderung des Abgangsfehlers, die diese Variation hervorruft, von der Deformation des Laufes im Moment, in dem das Geschoss ihn verlässt, abhängig sein muss, so werden wir schon von vornherein erwarten müssen, dass diese Deformationen sich nicht immer gleichbleiben werden. Wir haben ferner (pag. 764) darauf aufmerksam gemacht, dass die Deformation, also der Abgangsfehler, von der Schwingungsphase abhängig sein muss und dass mithin alle Umstände, welche eine Aenderung dieser Phase für den Moment des Austritts des Geschosses bewirken, auch von Einfluss auf die Grösse und Art der Deformation in diesem

Augenblicke sein müssen. Desshalb muss eine Aenderung in Ladung, Geschossgewicht, in der Unterstützung und Einklemmung des Gewehres, sowie das Aufstecken des Seitengewehres andere Deformationszustände geben. Man wird es deshalb begreiflich finden, dass bei andersartiger Festklemmung auch die Deformation eine andere sein wird, wie die nachfolgenden Versuche dies auch ergeben. Die Versuche wurden sämtlich mit Gewehr M/71 und normaler Ladung (5 g Schwarzpulver) ausgeführt. Die Lauflänge des Gewehres bis zum Achtkant betrug 77 cm, bis zum Muttergewinde 83 cm.

a) Aufstellung A (s. oben pag. 752).

Die Einheit der Zahlen ist ein Hundertel Millimeter.

+ bedeutet eine Verbiegung vertical nach oben.

— " " " " " unten.

Punkt <i>a</i> Abstand 1 cm v. d. Mündg.	Punkt <i>b</i> Abstand 19 cm v. d. Mündg.	Punkt <i>c</i> Abstand 48 cm v. d. Mündg.	Punkt <i>d</i> Abstand 73 cm v. d. Mündg.
+ 28.5	0	— 37.0	— 5.4
+ 22.2	0	— 49.6	— 2.2
+ 24.4	0	— 43.3	— 1.0
+ 23.1	0	— 43.5	— 1.6
Mittel + 24.5	0	— 43.6	— 2.6

β) Aufstellung B (s. oben pag. 754).

Punkt <i>a</i> Abstand 1 cm v. d. Mündg.	Punkt <i>b</i> Abstand 14.5 cm v. d. Mündg.	Punkt <i>c</i> Abstand 41.5 cm v. d. Mündg.	Punkt <i>d</i> Abstand 82 cm v. d. Mündg.	Punkt <i>e</i> Kolbenhals
+ 45.3	0	+ 14.70	0	—
+ 43.6	0	—	0	— 140.4
+ 37.8	0	+ 13.95	0	—
+ 30.2	0	+ 12.94	0	— 120.0
+ 31.2	0	+ 12.62	0	— 158.5
+ 33.8	0	+ 12.79	0	— 159.5
+ 28.9	0	+ 15.52	0	— 160.0
+ 34.4	0	+ 9.89	0	— 170.0
Mittel + 35.65	0	+ 13.20	0	— 151.4

Die Zahlen in den vorstehenden Tabellen zeigen gewisse Eigenthümlichkeiten. Beide Tabellen stimmen darin überein — und das ist für die Lage des Treffpunktes allein von Bedeutung —, dass das vordere Viertel bis Fünftel des Gewehrlaufes sich im Moment des Austritts der Kugel nach oben verbiegt, dass mithin das Gewehr bei normaler Ladung zu hoch schießen muss — was

auch bei dem von uns benützten Mausergewehr M/71 thatsächlich der Fall war. Anders dagegen verhält es sich mit den Zahlen für die hinter dem Knoten liegenden Punkte. Während man aus den Angaben der Tabelle α auf Schwingungen des ersten Obertones schliessen würde (ein Knoten), erregen die Zahlen der Tabelle β die Vorstellung, dass wir es möglichenfalls mit Schwingungen des zweiten Obertones zu thun hätten, da die Verschiebungen bei Punkt a und c in demselben Sinne erfolgt sind. Wir stellten desshalb sofort Versuche an, indem wir für die Punkte b , c , d und e nach der angegebenen Methode durch Spitzenphotographie die Verbiegungen bestimmten, zugleich jedoch am Punkte a in der früher beschriebenen Weise mittelst Spaltbildes und horizontalen Drähtchens auf vorübergeführter Platte die Schwingung untersuchten. Die Photographieen (für Punkt a) zeigten nur die Grundton- und erste Obertonschwingung, während die Verbiegung am Punkte c dieselbe geblieben war. Um diese merkwürdige Abweichung in der Verschiebung des Punktes c , wie die Zahlen der Tabelle β sie zeigen, aufzuklären, haben wir für verschiedene Punkte des Laufes, an der Mündung beginnend, in der angegebenen Weise mit Spalt und vorübergeführter Platte die Schwingungen untersucht. Die Figuren 1, 3—19 geben die Resultate. Aus der Lage des Bildes des durch das Geschoss ausgelösten Funkens (in den Photographieen ein weisser Punkt) ergibt sich, dass das Geschoss (bei normaler Ladung) den Lauf verlässt, wenn die erste Obertonschwingung im zweiten Viertel ihrer Phase steht. Wie eine Vergleichung der Curven von den Punkten, die 40 bis 45.5 cm von der Mündung entfernt sind (Fig. 11—13), mit denen von einem Punkte, der 9.7 cm (Fig. 3) von der Mündung entfernt, also noch vor dem Knoten liegt, ergibt, sind die Anfangsamplituden für Punkte hinter dem Knoten erheblich grösser als vor ihm. Während also in der Nähe der Mündung ein Punkt (z. B. Punkt a) im Herabgehen mit kleiner Amplitude begriffen ist, sich jedoch noch über seiner normalen Lage befindet, bewegt sich Punkt c aufwärts in viel grösserer Amplitude und hat dabei, da ein Zwangs- und Spannungszustand vorhanden ist und die Schwingungen vielleicht erst in der Ausbildung begriffen sind, schon die normale Lage überschritten. Es ist also die durch die Spitzenphotographie erhaltene positive (nach oben gerichtete) Verschiebung des Punktes c nicht anormal. Wir lassen es dahingestellt, ob die verschiedene Befestigungsart des Gewehres bei den Versuchen, aus denen die Zahlen der beiden Tabellen α und β abgeleitet sind, die Ursache für diese Abweichung bildet, oder ob die Vibrationen des Laufes thatsächlich andere geworden sind.¹⁾

¹⁾ Unterdessen haben weitere Versuche gezeigt, dass das Gewehr sich bei den Versuchen Tabelle β in der That in einem Zwangszustand befunden hatte, d. h. zu fest eingespannt war; wurde dieser Zwang

Die Betrachtung dieser Schwingungscurven in Figur 1, 3—19 der verschiedenen Punkte des Gewehrlaufes giebt uns jedoch noch zu weiteren Bemerkungen Anlass. 1) Zunächst zeigt sich, wie es sein muss, dass die erste Obertonschwingung an Punkten in der Nähe des Knotens am wenigsten ausgeprägt ist (vergl. Figur 4); die Amplituden der ersten Schwingung des Obertones sind ferner, wie schon erwähnt, für Punkte vor dem Knoten kleiner als für solche hinter demselben; die erste Schwingung des Obertones erfolgt vor dem Knoten aufwärts, hinter demselben abwärts. 2) Die Grundtonschwingung besitzt naturgemäss um so kleinere Amplituden, je näher man der Einklemmstelle kommt (vergl. Figur 17 z. B. mit Figur 3); sie beginnt für alle Punkte des Laufes bei der benutzten Einklemmung mit einer aufwärts gerichteten Schwingung. 3) Die diesen regelmässigen Schwingungen vorhergehende geringe Anfangsverbiegung (vergl. z. B. in Figur 12 die Strecke zwischen α und β) ist immer nach oben gerichtet; sie fehlt jedoch bei den Schwingungen des Kolbenhalses, Figur 19. Dass dieselbe nicht etwa, wie man vielleicht geneigt sein möchte anzunehmen, der Beginn der Grundtonschwingung ist, ergibt sich aus der Ausmessung der photographischen Curven, denn diese erste Verbiegung beginnt um circa 0.01 Sek. (= 4 bis 5 Stimmgabelschwingungen) früher, als der Grundton beginnen sollte, wenn man vom letzten Wellenthal um $\frac{3}{4}$ Wellenlänge zurückrechnet.¹⁾ Ferner kann man durch andersartige Befestigung des Gewehrs bewirken, dass die erste Grundtonschwingung nach unten anstatt nach oben erfolgt; trotzdem bleibt der Charakter dieser ersten Verschiebung derselbe, d. h. sie findet nach oben statt. Wir wollen die Natur dieser Verschiebung $\alpha \beta$ erst nachher weiter erörtern. Es kommt übrigens diese Kenntniss für die Bestimmung des sog. Vibrationswinkels nicht in Betracht, denn für die Richtung, in der das Geschoss den Lauf verlässt, kommt es lediglich auf die im Moment des Verlassens vorhandene Deformation desselben an und diese ist, wie übereinstimmend aus den Momentphotographien der Lage des Laufes gegen die Spitzen, wie aus den Beobachtungen über die Schwingungen der verschiedenen Punkte desselben folgt, im Allgemeinen so beschaffen, dass Punkte, die circa $\frac{1}{5}$ der Lauflänge von der Mündung entfernt sind, sich in relativer Ruhe befinden, während die Mündung selbst im Moment des Austritts des Geschosses bei Anwendung normaler Ladung nach oben gebogen ist.

aufgehoben, so ergab sich wieder eine Verbiegung gemäss Tabelle α . Hierüber s. die Fortsetzung der Veröffentlichung.

¹⁾ Berücksichtigt man hiebei in bekannter Weise noch den hiebei auftretenden Einfluss der Dämpfung, so erkennt man, dass jene Annahme um so mehr ausgeschlossen ist.

Im Anschluss hieran mag die Besprechung noch einiger weiterer Versuche hier ihre Stelle finden.

Da ein in einen Schraubstock eingespanntes Gewehr erfahrungsgemäss einen anderen Treffpunkt besitzt als ein freihändig gehaltenes, so haben wir das Gewehr bei einer der Versuchsreihen absolut fest eingespannt unter Benützung der Aufstellungsart B (vergl. oben pag. 754), bei einer zweiten Versuchsreihe dagegen haben wir das Gewehr locker in Filz gebettet. Während die erhaltenen Schwingungscurven bei letzterer Anordnung abgesehen von der Grösse der auftretenden Amplituden mit den bei unseren sonstigen Versuchen erhaltenen übereinstimmten, bei denen das Gewehr an der Kammerhülse festgeklemmt war und (vergl. pag. 753) hinten sich gegen die oben beschriebene eiserne Platte stützte, ergab sich bei ersterer (also bei der Versuchsreihe mit absolut fester Einklemmung des Gewehres) ein Unterschied, wie folgende Zusammenstellung ergibt:

Es erfolgt: für einen Punkt in der Nähe der Mündung	Bei gew. Einklemmung (Gewehr a. d. Hülse fest, Kolben aufgestützt)	Bei absolut fester Einklemmung von Lauf und Kolben	Bei frei in Filz gebettetem Gewehr
die erste Grundtonschwingung	nach oben	nach unten	nach oben
die erste Obertonschwingung	nach oben	nach oben	nach oben
die erste Verbiegung $\alpha\beta$	nach oben	nach oben (vergl. Figur 20)	nach oben (vergl. Figur 21)

Da wie erwähnt der Anfang der ersten Verbiegung nicht mit dem berechneten Anfang der Grundton- noch der ersten Obertonschwingung der Zeit nach zusammenfällt, so kamen wir auf den Gedanken, ob dieselbe etwa gar nicht von dem Stoss der Explosion, sondern von anderen Ursachen herrührte. Durch eine bei weitem empfindlichere Beobachtungsmethode vermittelt eines Spiegel-
fühlhebels, wie ein solcher von Einem von uns¹⁾ angegeben ist, konnten wir zunächst nachweisen, dass ausser der Grundton- und ersten Obertonschwingung noch weitere Obertöne auftreten, nicht nur bei der Explosion selbst (Figur 22), sondern es werden auch beim Abdrücken, bloss durch das Vorfahren des Schlagbolzens, ganz ähnliche Schwingungen wie die, welche beim wirklichen Schuss auftreten, erzeugt (vergl. Figur 23). Diese Nebenschwingungen lassen sich auch mit der gewöhnlichen Methode vermittelt Spaltbild und horizontalem Draht (pag. 755) bei Benützung stärkerer Vergrösserung nachweisen.

¹⁾ K. R. Koch: Elasticität des Eises. Wied. Ann. Bd. 25, p. 439, 1885.

Figg. 24, 25 Tafel IV u. V geben ein Beispiel dafür. In der Curve Figur 24 sind deutlich die Schwingungen eines höheren Obertones wahrzunehmen. Figur 25 zeigt die Schwingungen, die ohne Schuss nur durch das Abdrücken, d. h. also durch das Vorschnellen des Schlagbolzens hervorgerufen werden.

Bei jedem Schuss werden wir mithin folgende Vorgänge haben: 1) Beim Abdrücken wird der Schlagbolzen vorfahren; es werden hierdurch Schwingungen des Laufes erzeugt. 2) Die darauf folgende plötzliche Expansion der Pulvergase bewirkt ebenfalls einen Stoss in Richtung der Seelenachse, der ebenso transversale Schwingungen des Laufes hervorruft; hierdurch wird 3) das Gewehr nach rückwärts und das Geschoss aus der Kammer in die Züge gedrückt und wird ein neuer Impuls für transversale Schwingungen entstehen. Da wir bei nahezu allen Beobachtungen über die Schwingungskurven zugleich die Schwingungskurve der Stimmgabel erhielten, so war es leicht, mit verhältnissmässig grosser Genauigkeit die Zeitdauer vom Beginn der ersten Verbiegung bis zum Austritt des Geschosses (markirt durch das Funkenbild γ auf der Photographie) zu bestimmen; es betrug diese Zeit im Mittel 0.00507 Sekunden. Die genauen Messungen mit dem Siemens'schen Chronographen (vgl. E. Thiel, l. c. Anhang) ergaben bekanntlich für das Mausergewehr M/71 eine Zeit von 0.0023 Sek., welche die Kugel gebraucht, um den Lauf zu durchheilen, diese Zeit gerechnet vom Einpressen in die Züge bis zum Austritt aus dem Lauf; es ist also die durch unsere Versuche constatirte Zeit über doppelt so gross als die mit dem Siemens'schen Chronographen ermittelte. Eine genauere Betrachtung dieser ersten Verbiegung zeigt nun auch, dass die Curve derselben nicht continuirlich sich fortsetzt, sondern ungefähr in der Mitte von $\alpha\gamma$, bei β , findet sich auf den meisten Platten die Andeutung einer neuen Schwingung, auf den in den Figuren 3, 8, 12, 15 etc. Tafel I—III dargestellten und anderen ist diese Schwingung gut ausgeprägt; sie erscheint wie eine Fortsetzung (nach rückwärts) von der Schwingungskurve des ersten Obertones. Man könnte darnach diese erste Verbiegung vielleicht so interpretiren, dass der erste Theil $\alpha—\beta$ derselben durch das Vorschnellen des Schlagbolzens hervorgerufen wird, der zweite Theil $\beta—\gamma$, entsprechend der ersten Obertonschwingung, durch die Explosion bzw. den Stoss, der durch das Einpressen der Kugel in die Züge erfolgt. Die Richtigkeit dieser Auffassung wird bewiesen sein, wenn mit Eliminationen des Stosses des Schlagbolzens auch jener erste Theil der Curve (die erste Verbiegung) verschwindet. Wir construirten deshalb Patronen, die wir ohne Erschütterung elektrisch entzündeten. Wir entfernten zu dem Zweck aus der Patronenhülse das Zünd-

Figur X.



schwindet. Wir construirten deshalb Patronen, die wir ohne Erschütterung elektrisch entzündeten. Wir entfernten zu dem Zweck aus der Patronenhülse das Zünd-

hütchen, durchbohrten in der in Figur X angegebenen Weise den Boden der Patronenhülse, schnitten in dieselbe ein Gewinde ein und schraubten ein Stück Hartgummi oder Fibre ein, in das zwei feine Löcher gebohrt waren, diese waren durch eine 0.10 mm starke Platinspirale verbunden, die sich im Innern der Patrone, also im Pulver, befand; schliesst man durch diese Spirale einen Strom von circa 10 Ampère, so geräth momentan die Spirale in Weissgluth und bewirkt die Entzündung der Pulverladung; es findet dann vor der Explosion keine Erschütterung statt. Der Charakter der Schwingungscurve wurde bei solcher Abfeuerung des Schusses nicht geändert. Die Ausmessung der ersten Verbiegung ergab jedoch eine bedeutend kürzere Dauer derselben (vgl. Figur 26), aus drei Versuchen erhielten wir für diese Dauer 1.1, 1.0, 1.2 Schwingungen unserer Stimmgabel, also eine Zeit von 0.00227 Sekunden, also übereinstimmend mit der chronographischen Messung. Es scheint uns hiernach nicht unwahrscheinlich zu sein, dass diese erste Verbiegung ($\alpha \beta$) eingeleitet wäre durch eine Schwingung, die durch das Vorschnellen des Schlagbolzens hervorgerufen wird; dieser superponirt sich eine zweite Transversalschwingung, die von der Explosion der Pulvergase herrührt.

Wir haben nun auch noch, wie schon erwähnt, Versuche mit schwächeren Pulverladungen, also geringerer Geschossgeschwindigkeit, gemacht. Da das Geschoss hierbei längere Zeit gebraucht, um den Lauf zu durchheilen, so wird es während einer späteren Schwingungsphase austreten und somit wird die Geschossbahn und damit die Lage des Treffpunktes von der Grösse der Pulverladung abhängig sein. Die Figuren 27—29 Tafel V zeigen diese Abhängigkeit des Austrittsmomentes von den verschiedenen Ladungen. So sehen wir in Figur 27 (halbe Ladung), dass der Austritt des Geschosses (wie immer durch γ bezeichnet) nach Ablauf von $\frac{3}{4}$ der ersten Obertonschwingung stattfindet, und zwar ist in diesem Moment die Mündung nach unten abgelenkt; man muss also erwarten, dass der Treffpunkt zu tief liegt; mehrere Versuche ergaben nun auch, dass das Gewehr bei halber Ladung in der That zu tief schoss. Wie Figur 28 (Viertel-Ladung) ergiebt, findet hier der Austritt der Kugel nach 1 bis $1\frac{1}{4}$ Obertonschwingung statt, die Mündung ist mithin nach oben gerichtet und besitzt eine Geschwindigkeit nach oben. Der Treffpunkt sollte also zu hoch liegen, auch dies wurde durch directe Versuche bestätigt. Aehnlich verhält es sich auch bei Anwendung von ein Achtel-Ladung (Figur 29) (circa 0.75 g Schwarzpulver), hier erfolgt der Austritt nach $1\frac{1}{2}$ Schwingungen, der Schuss sitzt mithin ziemlich normal.

Dies hat nun auch eine gewisse praktische Bedeutung. Offenbar wird der Vibrationsfehler um so kleiner ausfallen, je geringer die Vibration ist. Die

Photogramme ergeben nun, dass anfänglich die Laufdeformationen nur gering sind; durchheilt also das Geschoss den Lauf mit immer grösserer Geschwindigkeit, so wird auch die Vibration und damit ihr Winkel und Fehler nur anfangs noch etwas wachsen, bald jedoch immer geringer ausfallen (vergl. γ Fig. 1 Tafel I). Die Treffsicherheit wird also wachsen und es möchte sich mithin empfehlen, möglichst grosse Anfangsgeschwindigkeiten zu erzeugen, sofern nicht bei freihändigem Schiessen noch andere Factoren in Betracht kommen. In einer folgenden Mittheilung werden wir über unsere noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen anderer moderner Gewehrtypen berichten, sowie über Schwingungen des Laufes in horizontaler Richtung. Schon an dieser Stelle möchten wir jedoch Herrn Hauptmann Strölin (Stuttgart), sowie Herrn Commerzienrath Mauser (Oberndorf) für die liebenswürdige Unterstützung unserer Untersuchungen durch Ueberlassen verschiedener Gewehrtypen nebst Munition unseren verbindlichsten Dank aussprechen.

Als Resultate unserer bisherigen Untersuchungen können wir folgende Sätze aufstellen:

Resultate

(für Gewehr M/71 und nur für die Bewegungen des Laufes in der durch die Laufachse gehenden Verticalebene):

- 1) Das Gewehr führt in der Zeit vom Abdrücken bis zu dem Augenblick, wo das Geschoss die Mündung passirt, abgesehen von der bekannten Rücklaufbewegung, Schwingungen aus, und zwar sowohl das eingeklemmte wie das freiliegende Gewehr.
- 2) Die Verbiegungscurve des Laufes, in jenem Augenblick und in jedem beliebigen späteren, lässt sich mit der geschilderten Methode elektrischer Momentphotographie mehrerer Laufstellen für jeden speciellen Fall auf circa einige Tausendstel Millimeter genau bestimmen. Principiell liegt kein Hinderniss vor, dieses Verfahren auch auf die Verbiegungen von Geschützrohren und Laffeten anzuwenden.
- 3) Die beobachteten Laufschwingungen sind sehr ähnlich denen eines Stabes, welcher am einen Ende eingeklemmt ist; nämlich der Lauf schwingt gleichzeitig im Grundton (Schwingungsdauer 0.0363 Sek.) und im ersten Oberton (Schwingungsdauer 0.0072 Sek.). Für die Abgangsrichtung des Geschosses sind in erster Linie die Obertonschwingungen massgebend; bei normaler Ladung ist der vorderste Punkt, welcher im Moment des Geschossaustrittes in relativer Ruhe ist, nicht an einer weit hinten befindlichen Stelle des Laufes

gelegen (Kreuzschraube, Zapfenlager), sondern in dem Knotenpunkt des ersten Obertones; dieser Knoten liegt (nicht in einem Gewehrring, wie mitunter angenommen wurde, sondern) annähernd an derselben Stelle, welche die Theorie des an einem Ende eingeklemmten, transversal schwingenden Stabes verlangt. Dieser Knoten des ersten Obertones kann durch Aufstreuen von Sand auf einen längs des Laufes befestigten Cartonstreifen deutlich sichtbar gemacht werden.

4) Je kleiner die Ladung gewählt wird, desto mehr Schwingungen des Laufes sind abgelaufen, bis das Geschoss aus dem Lauf austritt; dieses Austreten erfolgt desshalb in einer anderen Schwingungsphase und desshalb variirt der Abgangsfehler mit der Ladung.

Physikalisches Institut der technischen Hochschule Stuttgart.

30. November 1898.

Zeitlicher Verlauf der Schwingungen an verschiedenen Stellen des Gewehrs.

(Die Lichtpunktmarke, deren Ort durch den vertikalen Strich γ bezeichnet ist, giebt den Moment an, in welchem das Geschoss aus dem Lauf austritt.)

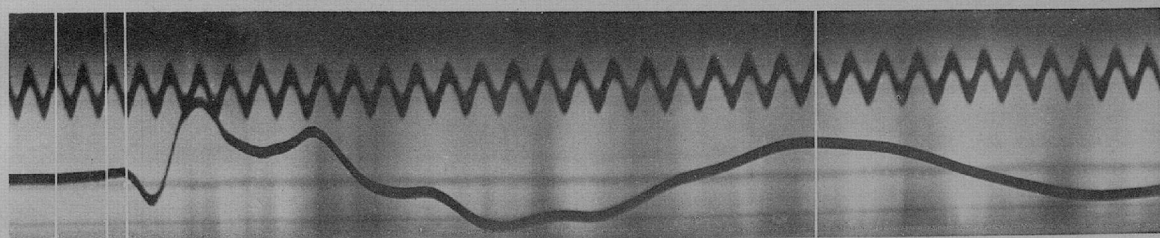


Fig. 1.

α β γ Schwingungcurve eines Punkts, der 1,5 cm von der Mündung entfernt liegt.

Fig. 2 siehe Tafel VI.

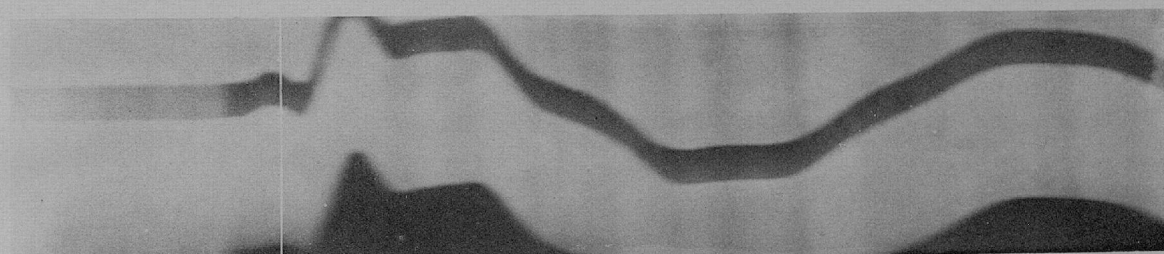


Fig. 3.

γ Schwingungcurve eines Punkts, der 9,7 cm von der Mündung entfernt liegt.



Fig. 4.

γ

Schwingungcurve eines Punkts, der 14,5 cm von der Mündung entfernt liegt (nahe am Knoten).

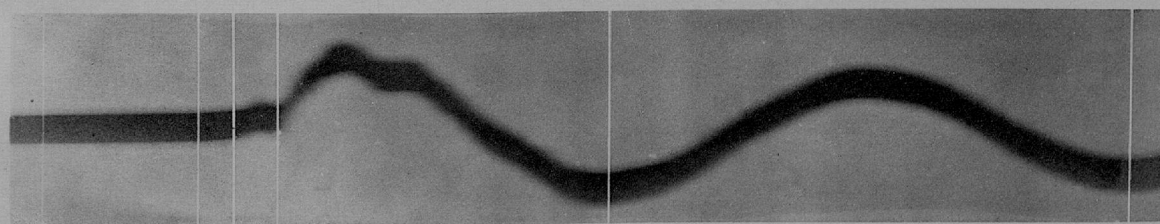


Fig. 5.

γ Schwingungcurve eines Punkts, der 16,5 cm von der Mündung entfernt liegt.

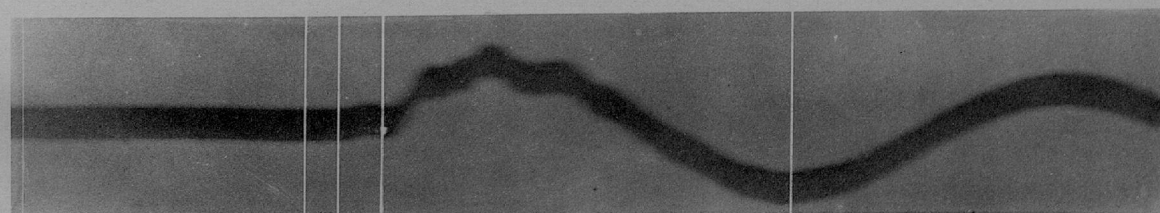
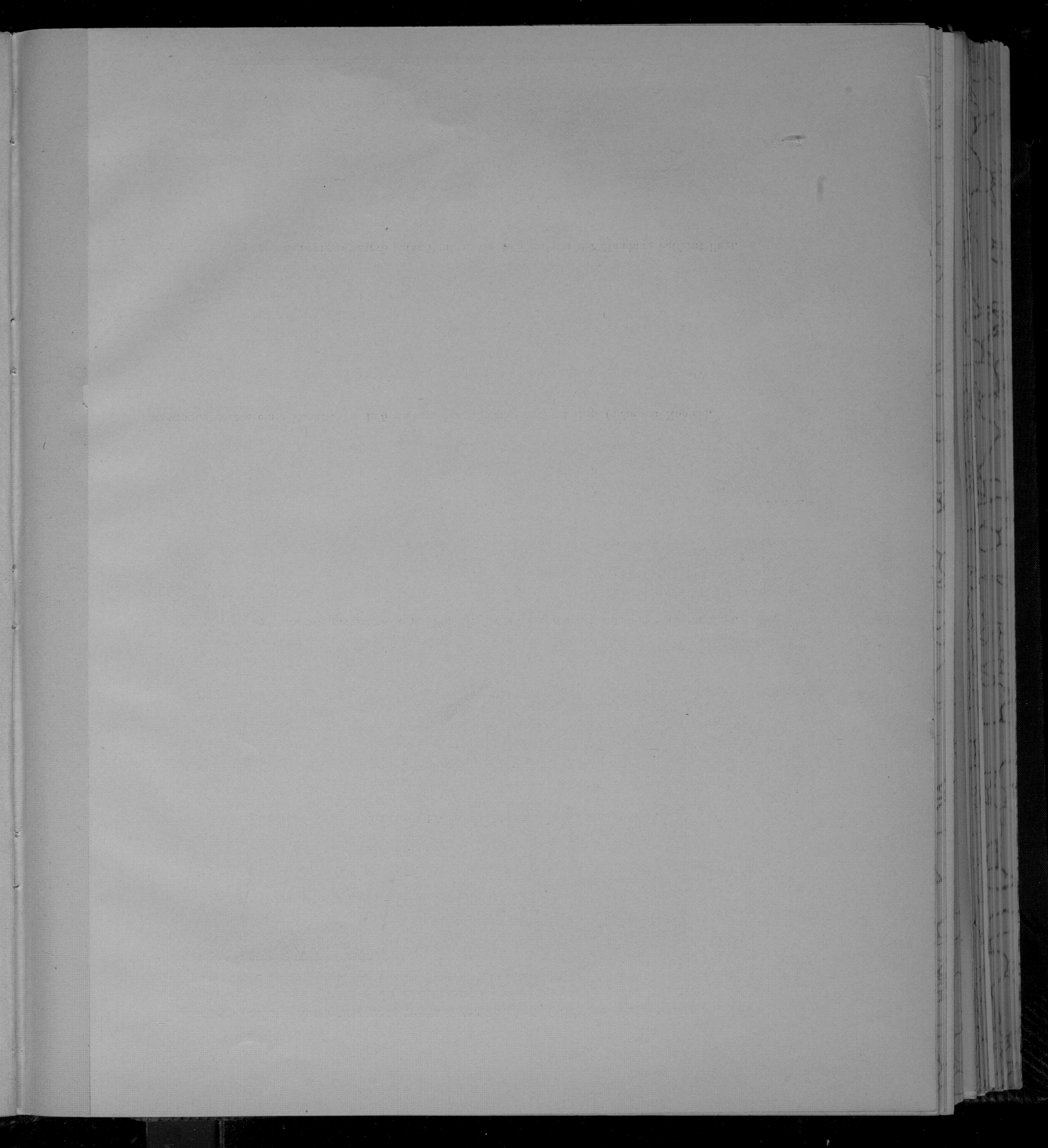


Fig. 6.

α β γ

Schwingungcurve eines Punkts, der 18,5 cm von der Mündung entfernt liegt.



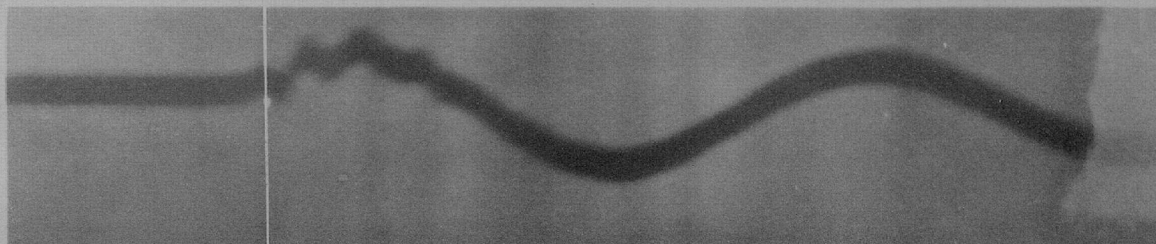


Fig. 7.

γ Schwingungscurve eines Punkts, der 20,5 cm von der Mündung entfernt liegt.



Fig. 8.

γ Schwingungscurve eines Punkts, der 22,5 cm von der Mündung entfernt liegt.

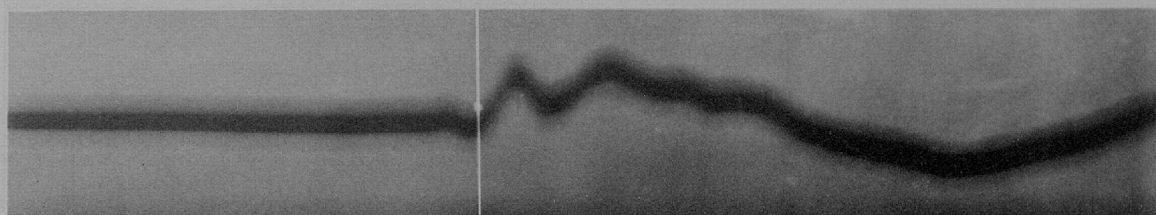


Fig. 9.

γ Schwing. eines Punkts, der 24,5 cm v. d. Münd. entf. liegt.

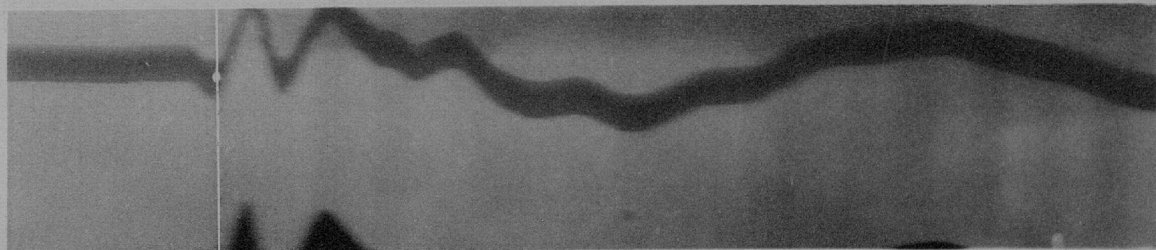


Fig. 10.

γ Schwingungscurve eines Punkts, der 30,0 cm von der Mündung entfernt liegt.

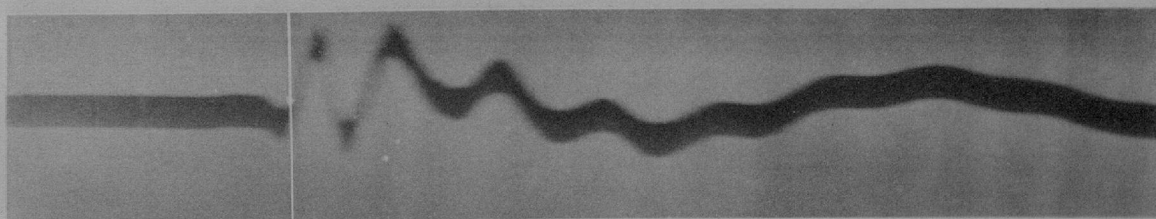


Fig. 11.

γ Schwingungscurve eines Punkts, der 40,0 cm von der Mündung entfernt liegt.

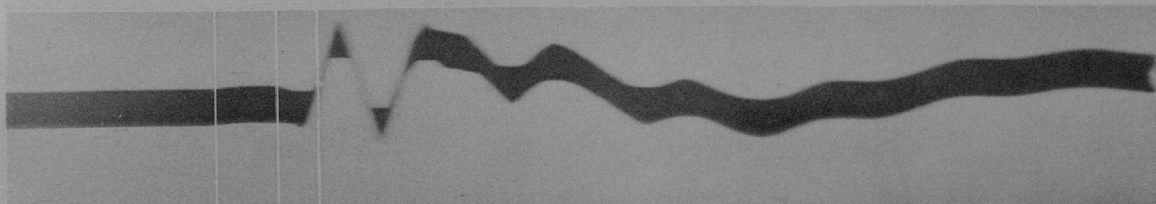
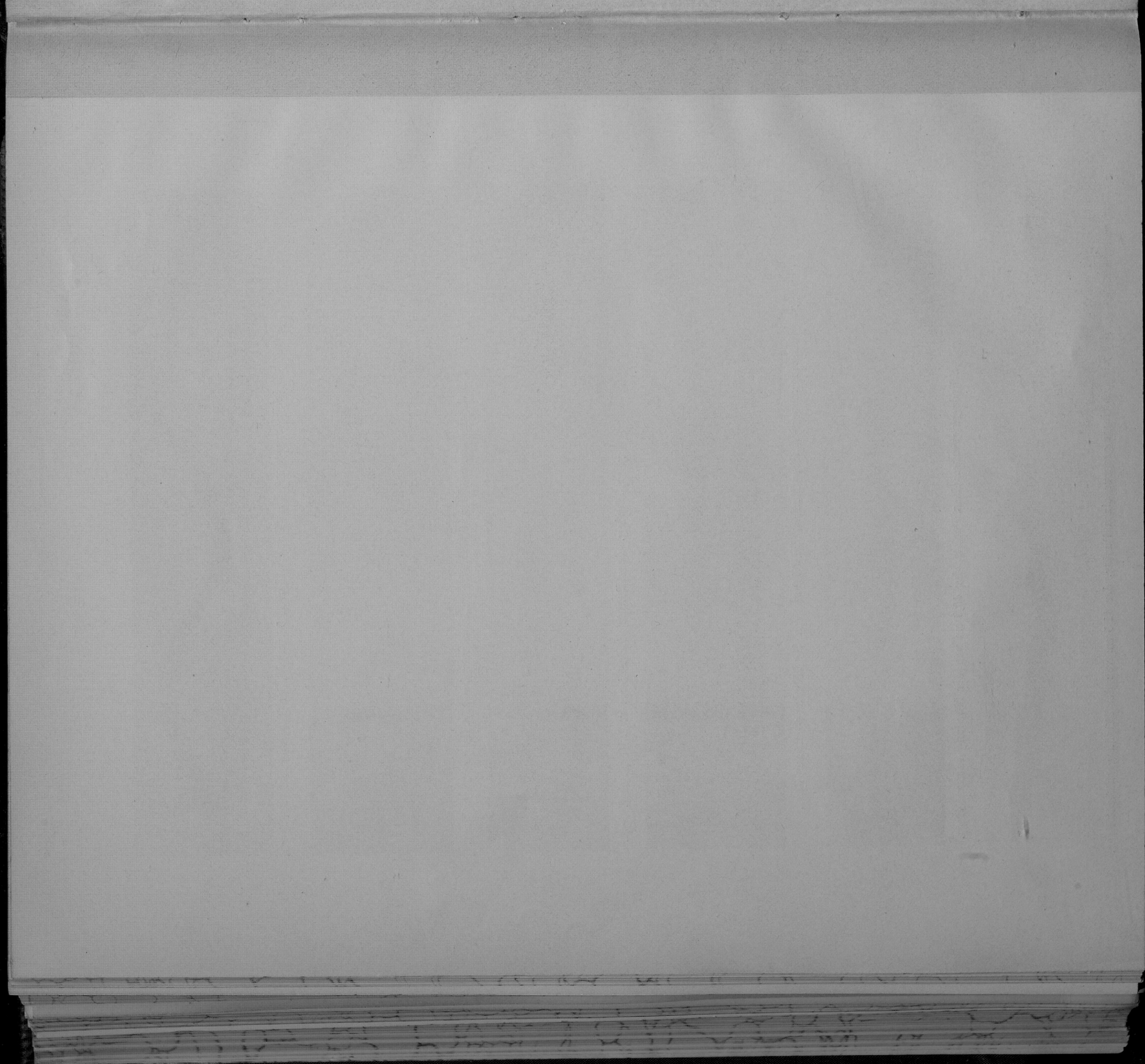


Fig. 12.

α β γ Schwingungscurve eines Punkts, der 41,5 cm von der Mündung entfernt liegt.



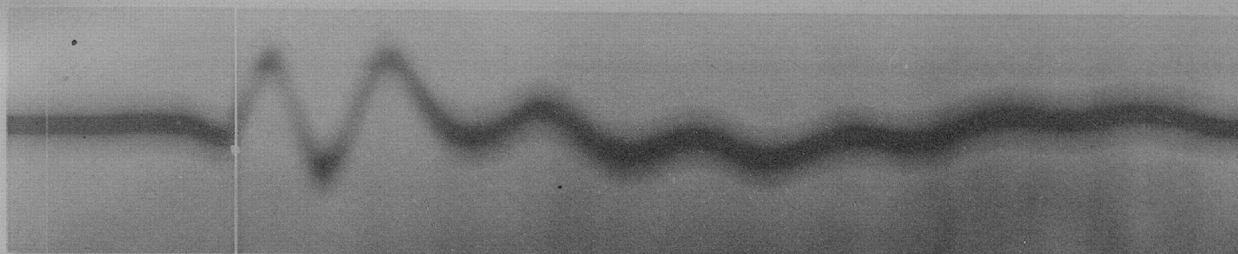


Fig. 13.

γ Schwingungcurve eines Punkts, der 45,5 cm von der Mündung entfernt liegt.

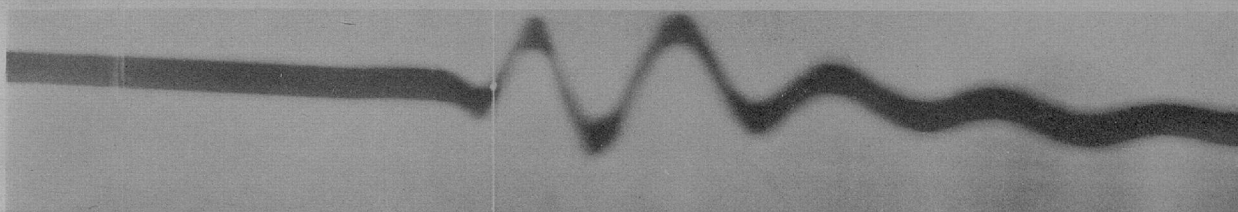


Fig. 14.

γ Schwing. e. Punkts, der 50,0 cm v. d. Münd. entfernt liegt.

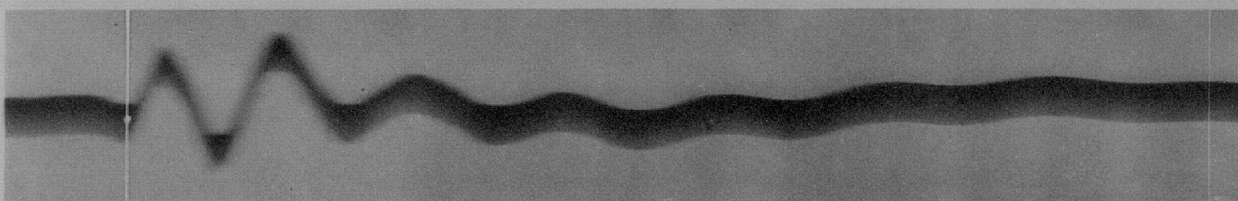


Fig. 15.

γ Schwingungcurve eines Punkts, der 55,0 cm von der Mündung entfernt liegt.

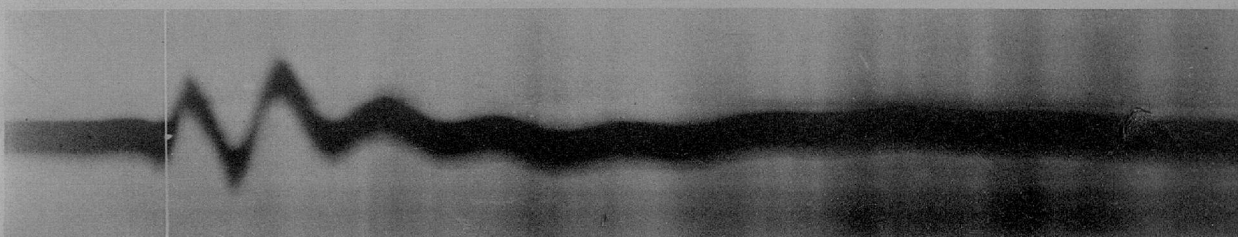


Fig. 16.

γ Schwingungcurve eines Punkts, der 60,0 cm von der Mündung entfernt liegt.

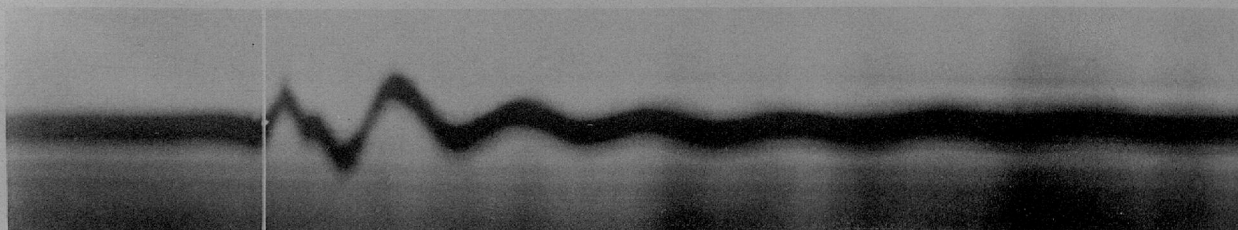


Fig. 17.

γ Schwingungcurve eines Punkts, der 66,6 cm von der Mündung entfernt liegt.



Fig. 18.

γ Schwingungcurve eines Punkts, der 79,5 cm von der Mündung entfernt liegt.



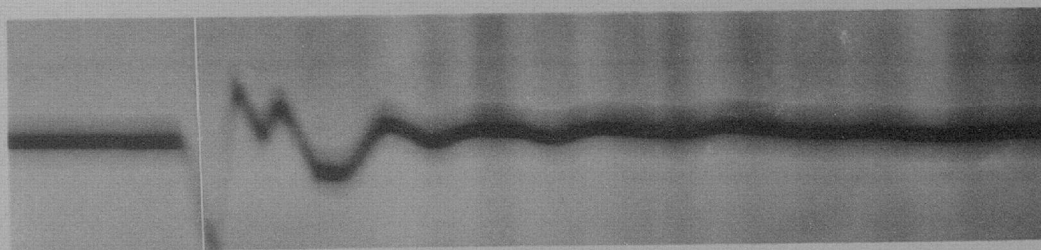


Fig. 19.

γ Schwingungcurve eines Punkts am Kolbenhals, 110,5 cm von der Mündung entfernt.

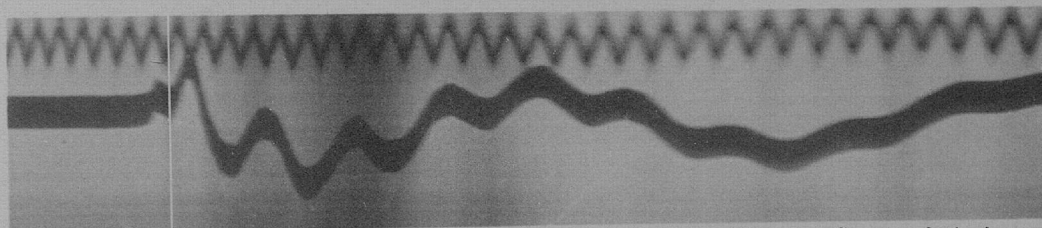


Fig. 20.

γ Schwingungcurve eines Punkts an der Mündung, falls das Gewehr fest eingespannt ist.

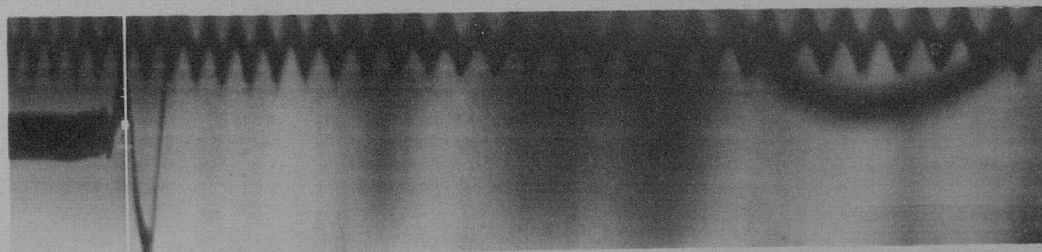


Fig. 21.

γ Schwingungcurve (desselben Punkts wie bei Fig. 20), falls das Gewehr frei aufliegt.

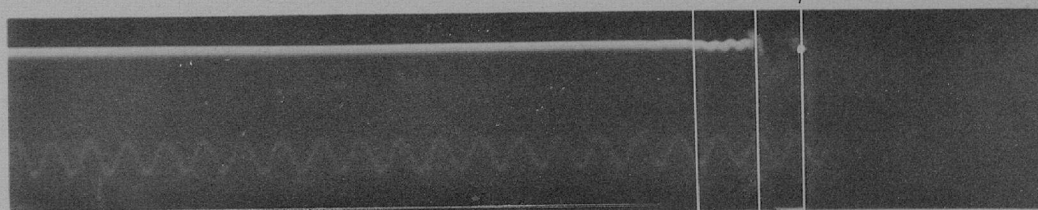


Fig. 22.

Schwingungcurve eines Punkts in der Nähe der Mündung mittelst Spiegelfühlhebel aufgenommen; bei der starken Vergrößerung sind die Bewegungen des Lichtpunkts bei den nach der Explosion auftretenden Schwingungen so gross, dass eine hinreichende Belichtung der Spur des Punkts nicht mehr stattfindet.

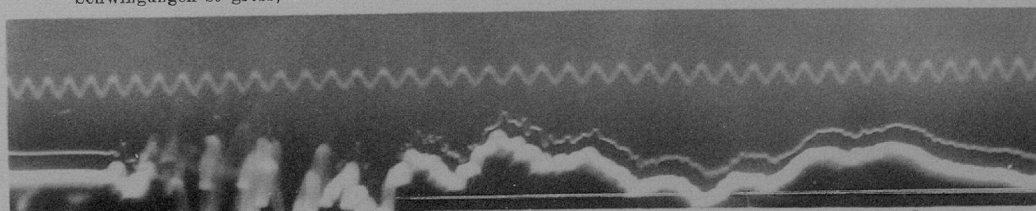


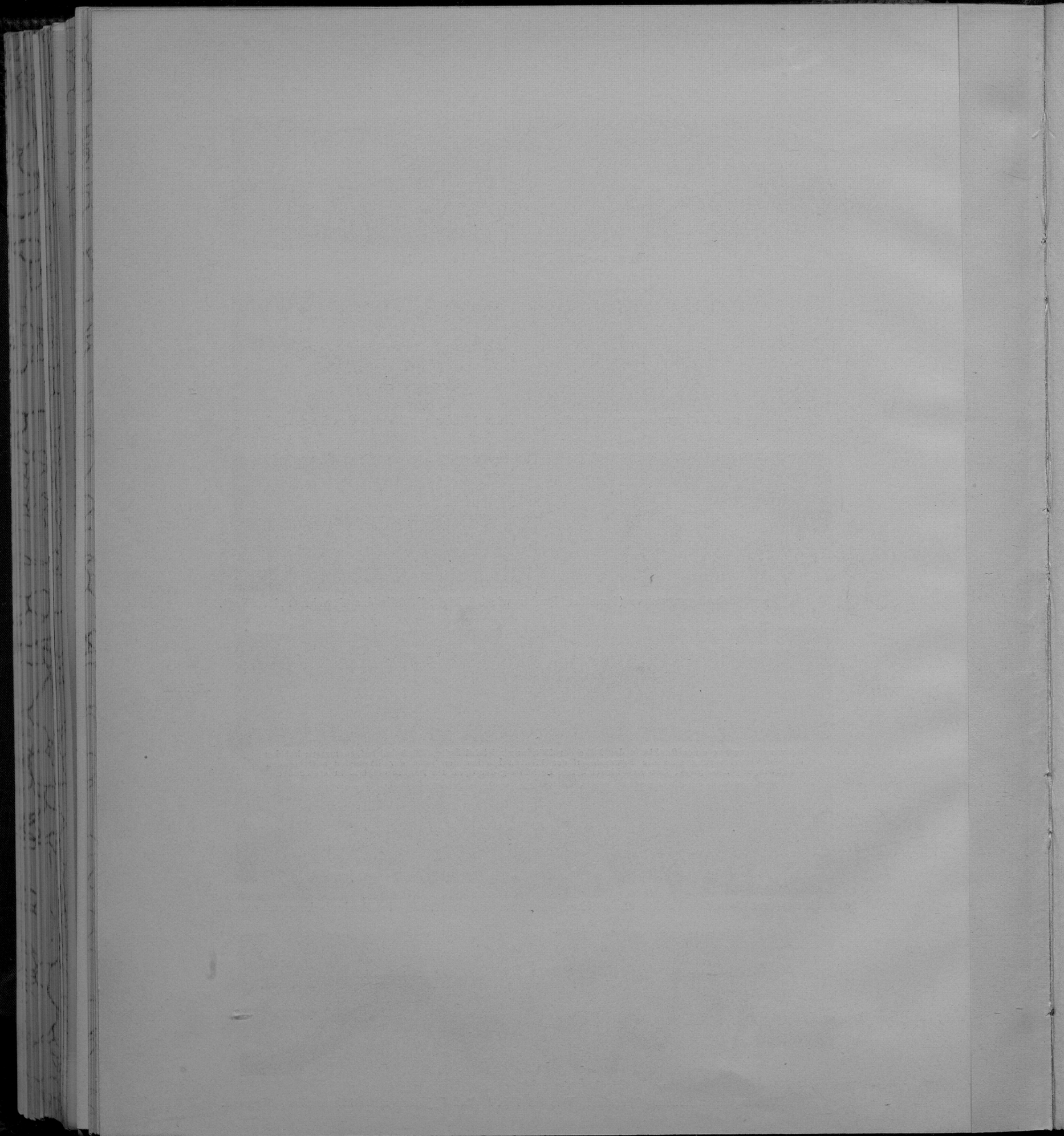
Fig. 23.

Schwingungcurve desselben Punkts ohne Schuss, nur durch das Vorfahren des Schlagbolzens verursacht.



Fig. 24.

Schwingungen höherer Obertöne. Wie bei Fig. 1, Taf. I, jedoch mit stärkerer Vergrößerung.



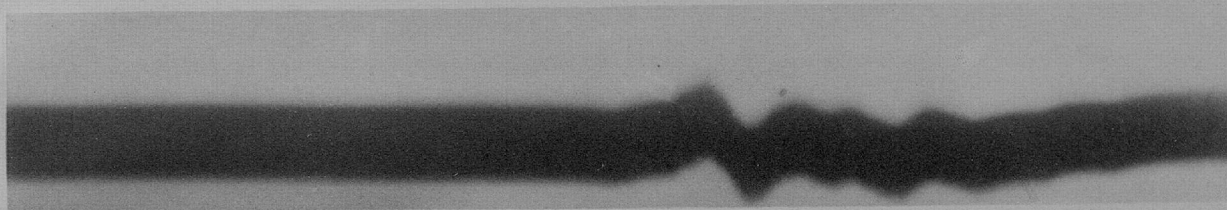


Fig. 25.

Schwingungen **ohne** Schuss, nur durch das Vorfahren des Schlagbolzens verursacht.

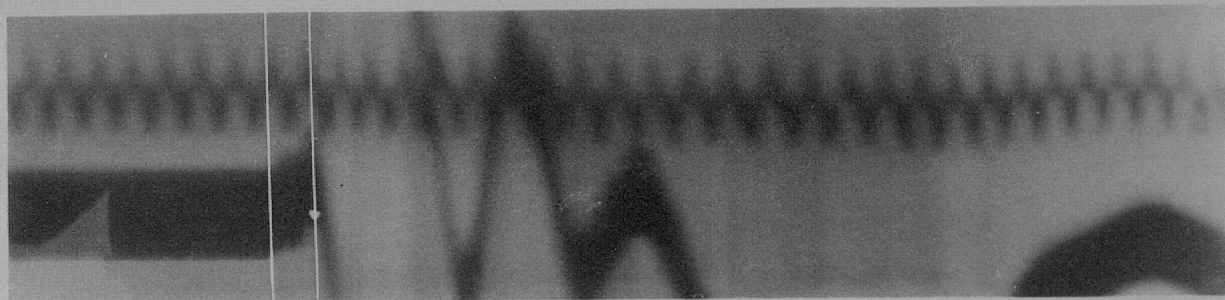


Fig. 26.

α
 β γ

Schwingungen bei **elektrischer** Zündung.

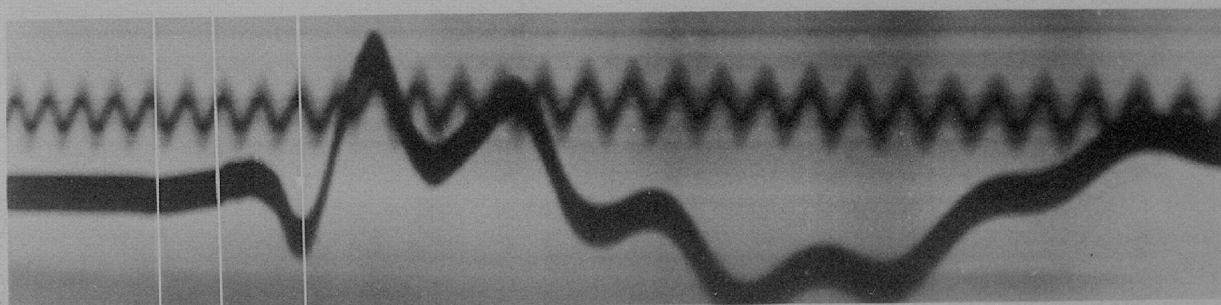


Fig. 27.

α β γ

Schwingungcurve (eines Punkts 1,5 cm von der Mündung) bei **halber** Ladung.

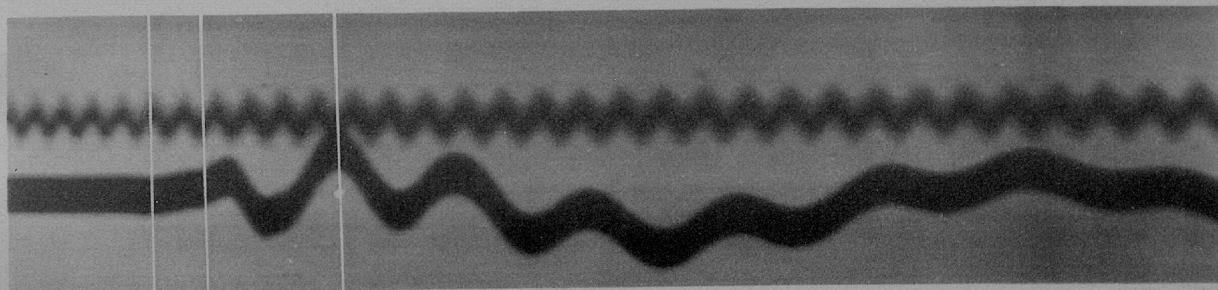


Fig. 28.

α β γ

Desgl. bei **Viertels**-Ladung.

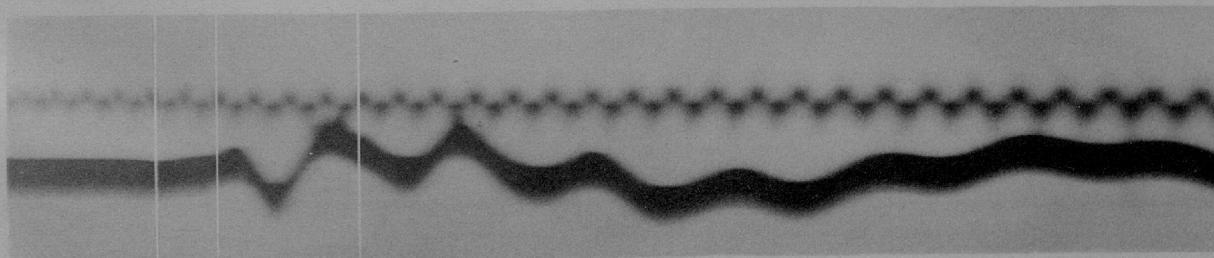


Fig. 29.

α β γ

Desgl. bei **Achtels**-Ladung.
Geschoss-Austritt



Fixierung der Verbiegung des Gewehrs im Moment des Geschossaustritts mittelst gleichzeitiger elektrischer Momentphotographie von 5 Stellen, a, b, c, d, e des Gewehrs.

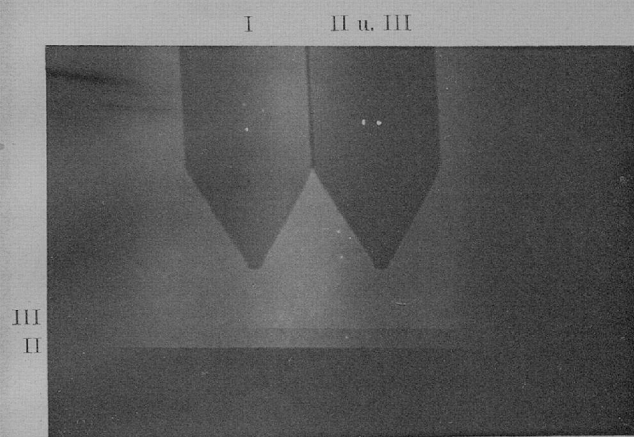


Fig. 2. a (Verbiegung aufwärts)

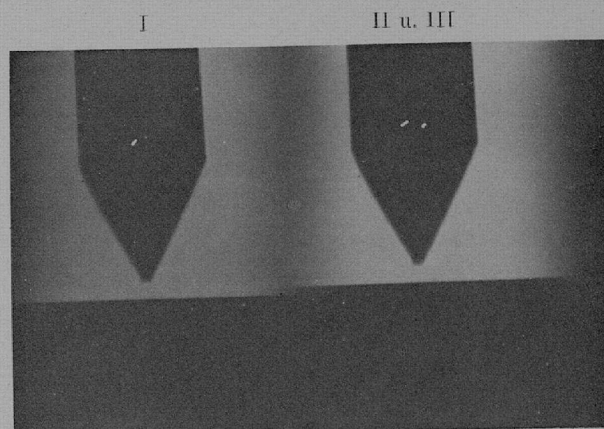


Fig. 2. b (bleibt in Ruhe)

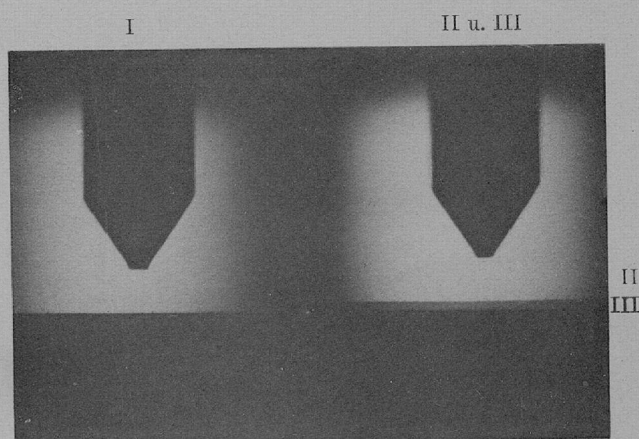


Fig. 2. c (Verbiegung abwärts)

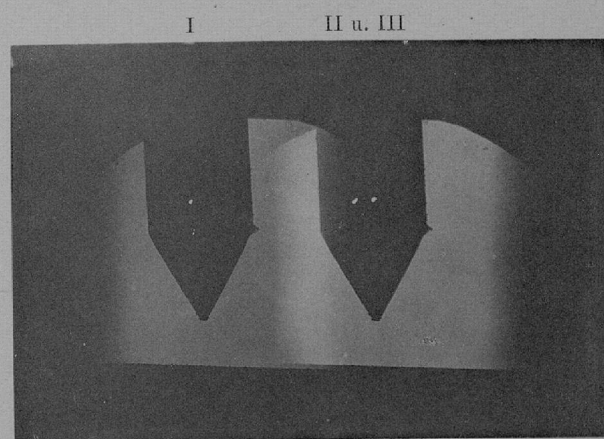


Fig. 2. d (bleibt in Ruhe)

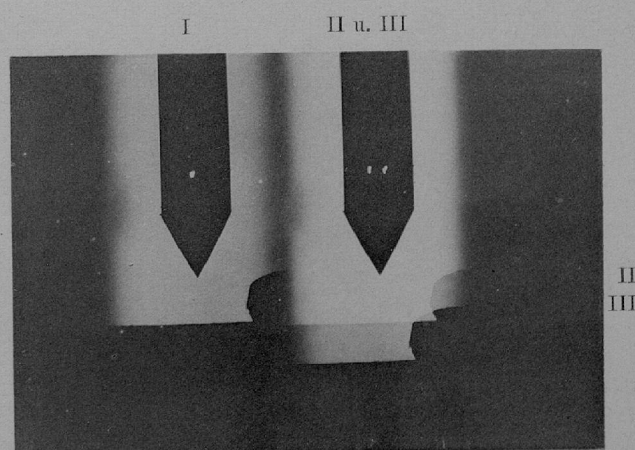


Fig. 2. e (Verbiegung abwärts)

