



0 0 0 0 1 5 6 9

Xa. ABHANDLUNGEN DER
MATHEMATISCH-PHYSIKALISCHEN KLASSE
1832-1928

20. Band 1900 [= Denkschriften Band 71]

3. Abteilung 1900

BV003793440

1900

Cranz C. und Koch K. R., Untersuchung über die Vibration
des Gewehr-laufs. I. Schwingungen in vertic

4 Bildtafeln zwischen S. 612/613

ABHANDLUNGEN

DER

MATHEMATISCH-PHYSIKALISCHEN CLASSE

DER KÖNIGLICH BAYERISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

ZWANZIGSTER BAND.

IN DER REIHE DER DENKSCHRIFTEN DER LXXI. BAND.

MÜNCHEN 1900.

VERLAG DER K. AKADEMIE

IN KOMMISSION DES G. FRANZ'SCHEN VERLAGS (J. ROTH).

ABHANDLUNGEN

DER

MATHEMATISCH-PHYSIKALISCHEN CLASSE

DER KÖNIGLICH BAYERISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

ZWANZIGSTE BAND

IN DEM HEFTE DER DRITTEREN THEILS BAND

MÜNCHEN 1890

VERLAG DER AKADEMIE

AKADEMISCHE BUCHDRUCKEREI VON F. STRAUB IN MÜNCHEN. 21

Inhalt des XX. Bandes.

I. Abtheilung (1899).		Seite
Die äolischen Inseln (Stromboli, Panaria, Salina, Lipari, Vulcano, Filicudi und Alicudi) geologisch beschrieben von <i>Alfred Bergeat</i> . (Mit 24 Tafeln und mit Textfiguren)		1
II. Abtheilung (1899—1900).		
Die überzähligen Hautknochen des menschlichen Schädeldaches. Von <i>Johannes Ranke</i>		275
Reguläre Plan- und Raumvertheilung. Von <i>E. von Fedorow</i> . (Mit 13 Tafeln)		465
III. Abtheilung (1900).		
Untersuchung über die Vibration des Gewehrlaufes von <i>C. Cranz</i> und <i>K. B. Koch</i> . (Mit 4 Tafeln)		589
Die Aussen-Nebel der Plejaden. Von <i>Max Wolf</i> . (Mit 2 Tafeln)		613
Ueber Altperuanische Schädel von Ancon und Pachacamác gesammelt von I. K. H. Prinzessin Therese von Bayern. Von <i>Johannes Ranke</i> . (Mit 9 Tafeln)		629

Inhalt des XX. Bandes.

I. Abteilung (1897)

Die folgenden Artikel (S. 1-100) sind von Herrn Dr. H. G. ...

II. Abteilung (1898-1900)

Die folgenden Artikel (S. 101-200) sind von Herrn Dr. H. G. ...

III. Abteilung (1901)

Die folgenden Artikel (S. 201-300) sind von Herrn Dr. H. G. ...

Untersuchung

über die

Vibration des Gewehrlaufes

von

C. Cranz und **K. R. Koch.**

I. Schwingungen in verticaler Ebene.

B. Versuche mit kleinkalibrigen Gewehren.

(Mit 4 Tafeln.)

Untersuchung

von

Vibration des Gewehrlautes

von

O. Czetz und H. B. Kohn

I. Schwingungen in vertikaler Ebene

B. Versuche mit kleinkalibrigen Gewehren

(Zweiter Teil)

Verlag von Julius Springer, Berlin

In Fortsetzung unserer Versuche¹⁾ über die Schwingungen des Gewehrlaufs haben wir drei kleinkalibrige Gewehre untersucht; diese waren uns nebst Munition durch das freundliche Entgegenkommen der bekannten Firma Mauser in Oberndorf zur Verfügung gestellt, wofür wir letzterer hiermit unseren verbindlichsten Dank aussprechen. Es war ein Gewehr 8 mm Cal. (Versuchsgewehr mit Holzmantel), eines mit 7 mm (Spanisches Modell) und ein Versuchsgewehr mit 6 mm Cal., sämtliche Patronen, mit Mantelgeschoss und rauchschwachem Pulver geladen. Wir benutzten für die Befestigung der Gewehre zunächst die in unserer ersten Mittheilung (l. c. p. 754) beschriebene und dort mit B bezeichnete Aufstellung, nur klemmten wir fortan das Gewehr nicht mehr vermittelt Holz und Kupfer am Hülsenkopf und Kolben fest, sondern suchten die nöthige Festigkeit durch Einbettung in Kork zu erreichen. Dies geschah desshalb, weil jene absolut feste Einklemmung, wie es uns nachzuweisen gelungen ist, unter Umständen zu Zwangszuständen führt, die den Charakter der Schwingungen wesentlich ändern können. Es ist jedoch klar, dass auch bei dieser weniger starren Bettung des Gewehres doch nicht jene Freiheit der Bewegungen gegeben ist, die bei freiem Anschlag vorhanden sein wird; wir haben desshalb ferner sowohl Versuche mit vollkommen freiem, nur an zwei Schnüren aufgehängtem Gewehr angestellt, wie auch mit derartig unterstütztem und durch Vorrichtungen gehaltenem Gewehr, dass die Bedingungen des gewöhnlichen Anschlages ziemlich vollkommen erfüllt scheinen. Die Deformations- und Schwingungszustände im Moment des Geschossaustritts, auf die allein es für die Ermittlung des Vibrationsfehlers ankommt, ergeben sich zwar auch auf diese Weise (d. h. bei freierer Haltung des Gewehres) und lassen sich photographisch fixiren; jene erst erwähnte Untersuchung bei festerer Einklemmung ist jedoch nicht ganz zu entbehren und desshalb nothwendig, weil die freien Aufstellungen des Gewehres wegen der grossen Rücklauf- und

¹⁾ Diese Abhandlungen Bd. XIX, p. 747 ff. Seite 774, Z. 4 ist einzufügen: Die Figur 1 auf Tafel I zeigt, dass dann voraussichtlich auch die Schwankungen des Abgangsfehlers geringer werden...

Kippbewegungen desselben nur die ersten Bruchtheile der Schwingungscurven liefern, welche erst durch Vergleichung mit den vollständigen Curven, die sich bei festerer Einklemmung ergeben, eine richtige Interpretation erfahren.

Die Schwingungen des Laufes des in Kork festgeklemmten Gewehres.

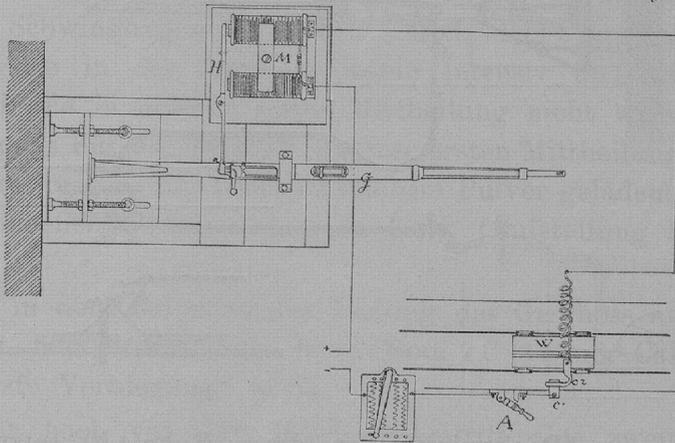
Zur vorläufigen Orientirung über die Art der auftretenden Schwingungen benutzten wir wiederum die Chladni'schen Sandfiguren; wir verfahren in der (l. c. p. 758) angegebenen Weise, indem wir wie dort auf den Lauf der Länge nach einen Kartonstreifen aufkitteten, diesen mit Sand bestreuten und mehrere Schüsse abgaben; das Gewehr war bei diesen Versuchen in Aufstellung B (l. c. 754), jedoch in Kork eingebettet. Es zeigte sich nun, dass der beim Gewehr Mod. 71 Cal. 11 mm so deutlich auftretende Knoten des I. Obertons bei den kleinkalibrigen Gewehren nur sehr undeutlich zu erkennen war; — nur bei dem Gewehr 8 mm Cal. war dieser Knoten etwas deutlicher wahrnehmbar —; es blieb vielmehr auf dem ganzen vorderen Drittel des Cartonstreifens etwas Sand liegen. Die Erklärung hierfür ergaben die photographischen Untersuchungen (cf. unten S. 599), welche zeigten, dass zu dem Grundton und ersten Oberton noch Schwingungen des zweiten Obertones hinzukommen. Ferner beobachteten wir, dass die Schwingungen des Laufes, wenigstens in der Nähe der Mündung, ausserordentlich kräftig waren, was wir wohl mit Recht dem heftigeren Stoss in Folge der grösseren Geschossgeschwindigkeit zuschreiben.

Nach diesen scheinbar negativen Resultaten wandten wir uns der photographischen Methode zu; wir versuchten zunächst wiederum die Schwingungen eines unmittelbar an der Mündung gelegenen Punktes zu bestimmen, da aus Art und Natur derselben sich der Schwingungszustand des Laufes überhaupt ergibt.

Die Methode war die auf Seite 755—56 unserer ersten Mittheilung beschriebene. Während jedoch früher in der Weise verfahren wurde, dass auf ein gegebenes Commando der eine von uns den Schuss löste, während der andere die photographische Platte an dem Spaltbilde vorüberzog, haben wir für die Fortsetzung unserer Versuche zwei andere Vorrichtungen construirt, durch die entweder elektromagnetisch (a) oder pneumatisch (b) die Auslösung des Schusses für eine bestimmte Lage des Spaltbildes auf der Platte selbstthätig bewerkstelligt wird.

a) Die elektromagnetische Auslösungsvorrichtung.

Es ist (*G*) (Fig. I) das Gewehr, (*H*) ein Hebel aus weichem Eisen, der mit einem Arm dem Elektromagneten (*M*) gegenübersteht und dessen anderer am Abzug (*a*) angreift; ferner ist (*A*) ein Stromschlüssel, (*c*¹) ein neben den Schienen, auf denen der Wagen (*W*) mit der photographischen Platte läuft, befestigtes Contactstück; am Wagen (*W*) ist ein zweites federndes Contactstück (*c*²) befestigt. Da (*c*¹) verstellbar ist, lässt es sich leicht bewirken, dass (*c*²) mit (*c*¹) in einem gewünschten Momente — während also das Spaltbild auf eine passende Stelle der photographischen Platte fällt —

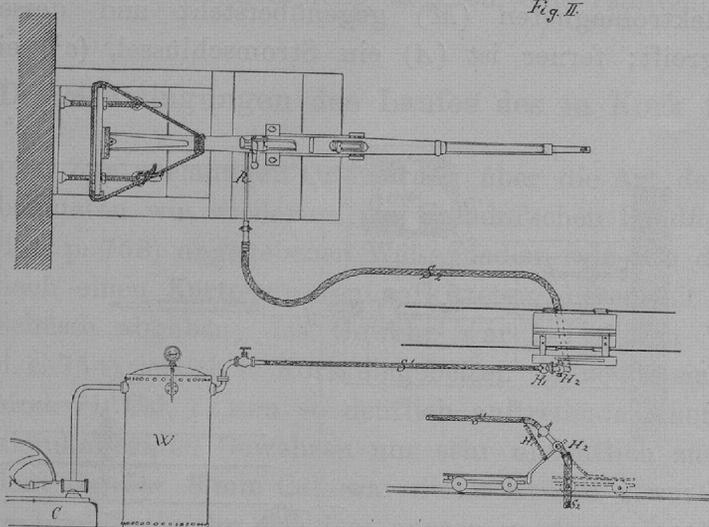


Contact macht; in demselben Zeitpunkt wird also der Elektromagnet erregt, zieht den einen Arm des Hebels (*H*) an und löst damit den Schuss. Der angewandte Strom, den die städtische elektrische Centrale lieferte, betrug 15—20 Amp.

b) Die pneumatische Auslösungsvorrichtung.

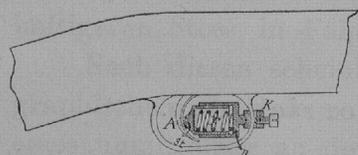
Die elektromagnetische Auslösung arbeitete zu unserer Zufriedenheit, wenn das Gewehr in der Aufstellungsvorrichtung (*B*) in Kork eingeklemmt war. Handelte es sich jedoch um die schon erwähnten und weiter unten (S. 602 f.) beschriebenen Versuche mit vollkommen freiem oder mit so unterstütztem und gehaltenem, dass die Bedingungen des natürlichen Anschlages erfüllt sind, so musste entweder der Schuss durch elektrische Zündung (wie in unserer ersten Mittheilung S. 772 beschrieben) oder durch eine andere Vorrichtung am Abzug ausgelöst werden, bei der äussere Kräfte sich nicht in störender Weise durch eine Verrückung des Gewehres als Ganzes bemerkbar machen konnten. Bei der elektrischen Zündung fallen jedoch die Schwingungen des Laufes, die durch das Vorschnellen des Schlagbolzens hervorgerufen werden, fort; da dieselben beim Schiessen nach gewöhnlicher Art aber auftreten und nicht zu vernachlässigen sind, haben wir eine

pneumatische Auslösungsvorrichtung in folgender Weise construiert. (C) (Fig. II) ist ein durch einen Elektromotor betriebener Compressor; durch diesen wird



im Windkessel (W) (von 1 cbm Inhalt) ein Ueberdruck von circa 2 Atm. hergestellt; eine Gummischlauchleitung S_1 , führt zum Sicherheitshahnen (H_1) und zum Auslösehahnen (H_2), von hier durch eine Schlauchleitung (S_2) zu einem Messingrohr (R), dessen Ende mit der Klemmvorrichtung (K) (vgl. Fig. II a) am Abzugs-Bügel des Gewehres festgeschraubt werden

konnte. Rechtwinklig an dieses Rohr (R) setzt sich ein kleiner Druckcylinder (D) an, dessen Stempel (St) schon von vornherein, sowie die Festklemmung bei (K) stattgefunden hat, gegen den Abzug (A) durch eine Spiralfeder (F)



einen solchen Druck ausübte, dass der sogenannte Druckpunkt erreicht war; wird nun durch Oeffnen der Hähne (H_1) und (H_2) Druck in dem Cylinder (D) erzeugt, so wird (St) gegen (A) gepresst und der Schuss abgefeuert. Da sich die Vorrichtung, welche

die Hähne (H) trägt, beliebig verstellen lässt, so ist es auch hier wieder möglich, im gewünschten Momente d. h. bei richtiger Lage des Spaltbildes auf der photographischen Platte den Schuss zu lösen. Dies wurde durch einen Arm bewirkt, der an dem Wagen, welcher die photographische Platte trägt, befestigt war, dieser öffnete beim Vorüberziehen der Platte am Spaltbilde im gewünschten Augenblick den Hahn (H_2), nachdem vorher der Sicherheitshahn (H_1) selbstverständlich aufgemacht war; eine Spiralfeder schloss nach erfolgtem Schuss den Hahn (H_2) sofort wieder.

Die Figuren 1—5 auf Tafel I sind typische Curven der Schwingungen, welche die drei untersuchten kleinkalibrigen Gewehre ausführen, wenn dieselben in der angegebenen Weise unter Benutzung der Aufstellungsart (B) zwischen Kork eingeklemmt sind.

Aus diesen Schwingungscurven ergibt sich Folgendes. Bei den drei untersuchten kleinkalibrigen Gewehren zeigt sich ausser den von uns in unserer I. Mittheilung (für Mod. 71, Cal. 11 mm) beschriebenen Schwingungen (nämlich Schwingungen des Grundtons, des ersten Obertones und einer vor dem Schuss auftretenden „Verbiegung“) noch eine deutlich ausgeprägte Schwingungsart, die dem zweiten Oberton zugehört. Eine solche Schwingung (des zweiten Obertones) war schon bei den Schwingungen der Gewehre Mod. 71 (11 mm Cal.) von uns bemerkt, jedoch war sie in der Regel so wenig intensiv und trat nur so vereinzelt auf, dass wir sie in unserer ersten Mittheilung nicht weiter berücksichtigt haben (vgl. übrigens Fig. 24, Tafel IV unserer ersten Mittheilung). Es treten also bei diesen kleinkalibrigen, mit rauchschwachem Pulver geladenen Gewehren und bei der beschriebenen Festklemmung in Kork (Aufstellung B) folgende Schwingungen auf.

1. Vor dem Augenblick, in dem bei normaler Ladung das Geschoss aus dem Lauf austritt, beobachtet man wieder wie beim Mod. 71 (11 mm Cal.) eine von uns so benannte „erste Verbiegung“ ($\alpha \beta$).

Darauf folgt 2. ebenfalls noch vor dem Geschoss-Austritt eine zweite Verbiegung ($\beta \gamma$), die beim Mod. 71 (11 mm Cal.) zur ersten halben Schwingung des ersten Obertones gehört, innerhalb welcher bei normaler Ladung das Geschoss den Lauf verlässt; dieser überlagert kommt hie und da auch bei Cal. 11 mm eine Schwingung des zweiten Obertons mehr oder weniger deutlich hinzu, die jedoch bei dem relativ späten Austritt des Geschosses (bei Cal. 11 mm) nicht berücksichtigt zu werden braucht (vgl. Fig. 21 Tafel IV der I. Mittheilung). Bei den mit rauchschwachem Pulver geladenen kleinkalibrigen Gewehren dagegen ist diese zweite nach oben gerichtete Verbiegung ($\beta \gamma$) ein Theil der ersten Schwingung des zweiten Obertons, innerhalb welcher, während einer gewissen Phase (circa $\frac{1}{4}$) derselben, das Geschoss den Lauf verlässt.

Während dieser Schwingung beginnt 3. eine in ihrer ersten Phase nach unten gerichtete Schwingung des ersten Obertons, sowie 4. die in ihrer ersten Phase nach oben gerichtete Grundtonschwingung. Nach Ablauf von zwei Grundtonschwingungen sind die Schwingungen des ersten Obertones durch Dämpfung verschwunden, ebenso sind schon früher nach circa zwei Schwingungen des ersten Obertons die Schwingungen des zweiten Obertons erloschen.

Diese Schwingungen und ihre Anfangsrichtung lassen sich (bildlich) tabellarisch folgendermassen darstellen.

(NB. Die Pfeile sollen die Richtung ihrer ersten Phase angeben, also \uparrow erste Schwingung nach oben, \downarrow nach unten.

Verbiegung		I. Oberton	Grundton	
$\alpha\beta$	$\beta\gamma$			
↑	—	↑	↑	Gewehr 11 mm Cal. Mod. 71, Schwarzpulver-Ladung und Geschoss normal.
↑	↑ (II. Oberton)	↓	↑	{ Gewehr 8 mm Cal. } Rauchschwaches Pulver, " 7 " " } Ladung und Geschoss " 6 " " } normal.

Der Austritt des Geschosses (durch das Funkenbild Punkt γ bezeichnet¹⁾ findet beim Gewehr 11 mm Cal. Mod. 71 (Schwarzpulver) nach Ablauf von einem Viertel der Schwingung des ersten Obertones statt, bei den kleinkalibrigen Gewehren (rauchschwaches Pulver) ungefähr im ersten Viertel der Schwingung des zweiten Obertons. Da die Amplituden des höheren Obertons kleiner sind als die des niederen, so muss auch der Vibrationswinkel für die kleinkalibrigen Gewehre ein kleinerer sein, da für diese die zweite Obertonschwingung massgebend ist, wie für das grössere (11 mm Cal.) die erste.

Ueber die Natur der von uns so genannten ersten Verbiegung $\alpha\beta$, die später bei der Discussion über die bei halber und Viertels-Ladung auftretenden Schwingungen erörtert werden wird, mag hier vorläufig nur bemerkt werden, dass sie zu einer Schwingungcurve gehört, die durch das Vorschnellen des Schlagbolzens hervorgerufen wird.

Das Curvenstück ($\beta\gamma$) ist ein Theil einer Schwingung des zweiten Obertons, was, soweit wegen der schlechten Definition des Gebildes eine Ausmessung möglich ist, durch diese bestätigt wird. Hervorgebracht ist diese Schwingung durch den Explosionsstoss bzw. durch die Einpressung des Geschosses in die Züge. Diese Schwingung beginnt, wie erwähnt, mit einer aufwärts gerichteten Elongation; der Geschossaustritt findet statt: beim Gewehr 6 mm Cal., ehe das Maximum der Elongation nach oben erreicht ist, beim Gewehr 7 mm Cal., circa im Maximum, beim Gewehr 8 mm Cal. nahe dem Maximum jedoch schon auf dem absteigenden Ast der Schwingung, wenn also schon die nach unten gerichtete Schwingung des ersten Obertones einsetzt. Es steht hiernach zu erwarten, dass diese Gewehre²⁾ zu hoch schiessen müssen. Der von uns ausgeführte Beschuss bestätigt dies in der That. Wir fanden, dass das Gewehr 8 mm Cal. auf einer Scheibe im Abstand 4.5 m von der Mündung um circa 10 mm zu hoch schießt; das Gewehr 7 mm Cal. schoss auf dieselbe

¹⁾ Ueber die Methode vergl. unsere I. Mittheilung, Seite 761.

²⁾ Diese Resultate beziehen sich natürlich nur auf die bestimmten uns zur Verfügung stehenden Exemplare der betreffenden Gewehrtypen.

Entfernung um 22.5 mm zu hoch; das Gewehr 6 mm Cal. um 2.5 mm. Das Ergebniss des Beschusses entspricht also der Lage des Funkenbildes, d. h. also dem beobachteten Geschossaustritt in der Schwingungcurve des zweiten Obertones.

Es ist vielleicht nicht unnütz, die Vertreter der Waffentechnik auf diese Gesetzmässigkeiten aufmerksam zu machen; durch geeignete Wahl der Mündungsgeschwindigkeit und der Laufdimensionen muss es gelingen, den Abgangsfehler entweder noch weiter herabzudrücken oder den Austritt des Geschosses in einem solchen Moment erfolgen zu lassen, in welchem entsprechend der Schwingungsphase eine Aenderung der Geschwindigkeit des Geschosses im Lauf von keinem grossen Einfluss auf die Aenderung des Vibrationsfehlers ist.

Die Schwingungen, welche stattfinden nach dem Geschossaustritt, sind natürlich für den auftretenden Vibrationsfehler nicht mehr massgebend. Der Vollständigkeit wegen geben wir jedoch auch für diese die nöthigen Daten an. Die Schwingungen speciell des zweiten Obertones werden schnell gedämpft, diese schnelle Dämpfung stimmt mit der Theorie der Transversalschwingungen eines Stabes überein, da die Schwingungen der Obertöne zur Grundtonschwingung und untereinander anharmonisch sind. Die Gewehrtypen 8, 7, 6 mm Cal. unterscheiden sich in etwas dadurch, dass beim Gewehr 8 mm Cal. der zweite Oberton schneller gedämpft ist und verschwindet, als beim 7 und 6 mm Cal.-Gewehr.

Die Dauer der verschiedenen Schwingungen ist in ihren Mittelwerthen in der nachfolgenden Tabelle enthalten:

Gewehr	Schwingungsdauer		
	des Grundtons ¹⁾	des ersten Obertons	des zweiten Obertons ¹⁾
Cal. 8 mm	0.0418 Sec.	0.0083 Sec.	0.0022 Sec.
„ 7 „	0.0310 „	0.0073 ₅ „	0.0024 „
„ 6 „	0.0320 „	0.0069 ₂ „	0.0016 ₅ „

Aus dem Auftreten des zweiten Obertons erklärt sich in befriedigender Weise das negative Ergebniss, das wir bei der Untersuchung vermittelst der

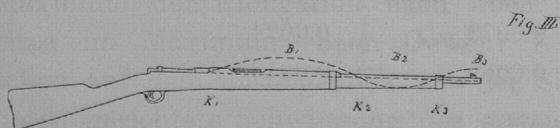
¹⁾ Die Werthe der Schwingungsdauer für den Grundton und zweiten Oberton lassen sich nicht mit derselben Genauigkeit messen, wie die des ersten Obertones, da jeweils nur höchstens eine Schwingung derselben sich zur Ausmessung eignet. Dass das Verhältniss der Werthe der drei Schwingungen mit den theoretisch berechenbaren eines cylindrischen Stabes nicht übereinstimmt, kann bei der konischen Gestalt des Laufes und der Verbindung desselben mit Vorderschaft und Laufmantel nicht befremden.

Sandfiguren erhielten; die auftretenden Schwingungen sind zu einander anharmonisch, es werden also die durch den zweiten Oberton erzeugten Sandlinien durch die Schwingungen des ersten Obertons zerstört und umgekehrt vernichten jene die dem Knoten des ersten Obertons entsprechende Sandlinie wieder, nur beim Cal. 8 mm, bei dem, wie es scheint, die Schwingungen des zweiten Obertones meist sofort erlöschen, bildet sich etwas besser die Knotenlinie des ersten Obertons aus; es lag hier der vordere Knoten des ersten Obertones 17.5 cm, der des zweiten 7.8 cm von der Mündung. Auch die bei den kleinkalibrigen Gewehren auftretenden kräftigeren Grundtonschwingungen werden zur Zerstörung der Sandlinien der Obertöne beitragen.

Die Deformation des Laufes eines (in Kork) fest eingespannten Gewehres im Augenblick des Geschossaustritts.

Um eine Bestätigung unserer Behauptung zu erhalten, dass die Deformation des Laufes im Moment des Geschossaustritts wirklich eine solche ist, die einer zweiten Obertonschwingung entspricht, versuchten wir, dieselbe in der auf Seite 764 ff. unserer ersten Mittheilung angegebenen Weise festzustellen, indem durch Momentbeleuchtung im Augenblick des Austritts des Geschosses die Verbiegung bzw. Lagenänderung bestimmter Punkte des Laufes gegen feststehende Spitzen photographisch fixirt wurde. Das Gewehr war bei diesen Versuchen in der mit B bezeichneten Aufstellvorrichtung mit Kork festgeklemmt.

Wenn der Lauf im Moment des Austritts des Geschosses in einer Schwingungsphase sich befindet, die dem zweiten Oberton entspricht, so werden, ausser dem Knoten an der Einklemmstelle (Hülsenkopf) noch zwei andere Knoten auftreten wie in nebenstehender (schematischer) Figur III angegeben



ist. K_1 K_2 K_3 sind die Schwingungsknoten, B_1 B_2 B_3 die Schwingungsbäuche; das schon aus den Schwingungscurven folgt, dass B_3 eine wenn auch zum Theil nur

geringe Elongation nach oben besitzt, so muss der Schwingungszustand im Moment, in dem das Geschoss den Lauf verlässt, der in Fig. III skizzirte sein. Um diesen Schwingungszustand möglichst ausgeprägt zu erhalten, wird es nothwendig sein, die Spitzen thunlichst in die Mitte der Schwingungsbäuche zu bringen.

Die Resultate der durch Momentphotographie im Augenblick des Austritts des Geschosses für vier Punkte

- a: an der Mündung,
 b: circa 17 cm von der Mündung,
 c: „ 36 „ „ „ „
 d: am Kolbenhals

gefundenen Verbiegungen sind in folgenden Tabellen zusammengestellt.

Es bedeuten + Verbiegungen vertical nach oben, — solche vertical nach unten. Die Einheit der Zahlen ist 0.01 mm.

Gewehr 8 mm Cal., Lauflänge 72 cm.

Punkt a 0.3 cm von der Mündung	Punkt b 17.0 cm von der Mündung	Punkt c 36.0 cm von der Mündung	Punkt d Kolbenhals	Bemerkungen
+ 10.7	— 20.4	—	— 16.5	} Gewehr ist am Hülsenkopf fest in Kork eingeklemmt, am Kolben gegen Kork gestützt.
+ 15.6	— 10.6	+ 12.1	— 16.5	
+ 15.4	— 9.7	+ 13.6	— 12.8	
+ 18.5	— 9.6	+ 14.2	— 14.5	} Gewehr am Hülsenkopf locker, am Kolben gegen Kork gestützt.
+ 10.7	— 8.0	+ 16.7	— 16.9	
+ 19.9	— 10.5	+ 16.1	— 55.2	} Gewehr am Kolben gegen Eisen- platte gestützt.

Gewehr 7 mm Cal., Lauflänge 72 cm¹⁾.

Punkt a 0.2 cm von der Mündung	Punkt b 17.2 cm von der Mündung	Punkt c 36.0 cm von der Mündung	Punkt d Kolbenhals	Bemerkungen
+ 23.5	— 5.3	+ 11.9	— 56.3	} Gewehr fest in Kork eingeklemmt. Kolben stützt sich gegen Kork.
+ 20.1	— 4.3	+ 12.5	— 49.7	
+ 24.0	— 7.0	+ 13.5	— 46.4	
+ 22.4	— 4.3	+ 10.9	— 71.7	

¹⁾ Bei den Versuchen mit diesen Gewehren (7 mm und 6 mm Cal.) ist es offenbar nicht gelungen, die Spitzen in die Mitte der Schwingungsbäuche des II. Obertons zu bringen. Wir möchten vermuthen, dass die Knoten im Vergleich zu ihrer Lage bei dem Gewehr 8 mm Cal. verschoben sind (vergl. unten S. 600).

Gewehr 6 mm Cal., Lauflänge 73 cm¹⁾.

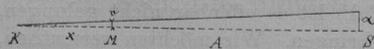
Punkt a 0.7 cm von der Mündung	Punkt b 17.5 cm von der Mündung	Punkt c 36.0 cm von der Mündung	Punkt d Kolbenhals	Bemerkungen
+ 19.3	0	0	— 43.8	} Gewehr fest in Kork eingeklemmt. } Kolben stützt sich gegen Kork.
+ 13.6	0	+ 10.7	— 23.1	
+ 16.7	— 0.8	+ 3.7	— 18.8	
+ 15.4	0	+ 5.8	— 23.2	
+ 17.4	0	+ 7.0	— 12.0	
+ 23.3	— 10.0	+ 11.7	— 29.2	
—	—	—	— 14.1	} Gewehr ganz locker eingelegt. } Kolben stützt sich gegen Kork.
+ 11.2	0	+ 10.2	— 14.0	

Aus diesen Tabellen geht nun in der That unzweifelhaft hervor, dass bei den Gewehren von 8 mm und 7 mm Cal. der Lauf sich im Augenblick des Geschossaustritts in einem Deformationszustand befindet, der einer Phase des zweiten Obertons entspricht. Lügen nur die Tabellen vor, so könnte man jedoch in Bezug auf das Gewehr 6 mm Cal. hierüber in Zweifel sein, wenn nicht die erhaltenen Schwingungscurven eines Punktes in der Nähe der Mündung unzweideutig im Moment des Austritts des Geschosses eine Schwingung des zweiten Obertones erkennen liessen. Man ist desshalb gezwungen, bei diesem Gewehr eine Verschiebung der Knoten anzunehmen, so dass der vordere Knoten weiter (circa 16—18 cm) von der Mündung entfernt läge; entsprechend würde der zweite Knoten dann ebenfalls weiter nach hinten verschoben anzunehmen sein, was mit der Kleinheit der positiven Verschiebungen am Punkte *c* übereinstimmen würde. Die Kleinheit der erhaltenen Werthe für Punkt *b* beim Gewehr 7 mm Cal. deutet auf ähnliche Verhältnisse hin, wir neigen jedoch hier eher zu der Annahme, dass die Knoten mehr nach vorn verschoben sind; es lässt sich dies aus unseren Beschussresultaten unter Zugrundelegung vereinfachender Annahmen vermuthen.²⁾

¹⁾ Vergl. die Fussnote auf voriger Seite.

²⁾ Da die Methode, die Knoten durch Sandfiguren zu bestimmen, wie oben erwähnt, zu keinen Resultaten führte, so kann man versuchen, die Lage des vordersten Knotens (*K*₁) durch Benutzung unserer Beschussresultate (cf. Seite 596 u.) zu bestimmen. Ist nämlich (Fig. IV) (*K*) der vorderste Knoten, *v* die nach der photographischen Methode ermittelte Elongation eines Punktes der Mündung im Moment des Austritts des Geschosses, *a* die in Bezug auf die Schwere corrigirte Abweichung des Treffpunktes vom Punkte (*S*), in dem die verlängerte Seelenaxe des ruhenden Gewehres die Scheibe treffen würde, so wird der Abstand *x* des Knotens von der

Fig. II'



Wenn das Gewehr sich mit seinem Kolben gegen eine starre Wand stützt, so wird der Rückstoss bei der winkligen Form des Gewehrschaftes am schwächsten Theil, also am Kolbenhals, zu Verbiegungen Anlass geben; aber auch ohne solchen Stützpunkt des Kolbenendes werden Verbiegungen des Kolbenhalses und damit transversale Schwingungen desselben auftreten, da bei frei gehaltenem Gewehr der Trägheitswiderstand des Kolbens dieselben Erscheinungen wenn auch in verminderter Grösse hervorrufen wird. Die Versuche mit dem Gewehr 8 mm Cal. zeigen dies. Als sich der Kolben des Gewehres gegen eine elastische Korkplatte lehnte, betrug die Verbiegung am Kolbenhals im Mittel nur 15.4 Hundertel Millimeter; als sich jedoch der Kolben gegen die starre Eisenplatte stützte, stieg die Verbiegung auf das dreifache, — auf 55.2 Hundertel Millimeter. Diese periodischen Verbiegungen des Kolbenhalses werden nun ihrerseits aber umgekehrt ein periodisches Vor- und Rücklaufen des Gewehres, also scheinbar longitudinale Schwingungen hervorrufen, mit denen wir uns im folgenden Abschnitt beschäftigen wollen.

Die longitudinalen Rückstossschwingungen des Laufes.

Ein Kriterium für die Richtigkeit der eben ausgesprochenen Ansicht wird darin gefunden werden können, dass wir nachweisen, die Periode dieser longitudinalen Schwingungen stimme überein mit der der transversalen Schwingungen. Wirkliche longitudinale Schwingungen würden entsprechend den Gesetzen über die Höhe longitudinaler Töne eine bedeutend kürzere Periode haben.

Zur Beobachtung dieser longitudinalen Vibrationen benutzten wir das Gewehr 7 mm Cal. Wir befestigten in der Nähe des Kornes wieder wie ge-

Mündung (M), wenn A den Abstand der Scheibe von eben derselben bezeichnet, gegeben sein durch die Beziehung

$$x = \frac{A v}{a - v},$$

vorausgesetzt, dass im Moment des Schusses die Vibrationsgeschwindigkeit vernachlässigt und die Bahn des Geschossschwerpunkts sowie die Form des Laufes von der Mündung bis zum I. Knoten genügend genau als Gerade angesehen werden können. Da nun nach der Lage des Auslösefunken in den Schwingungscurven (vergl. Tafel I, Fig. 4, 5), der Austritt des Geschosses zu einer Zeit stattfindet, die nahe der Maximalelongation liegt — in welchem Punkte (der grössten Elongation) die Geschwindigkeit der Mündungstheile, wenigstens bezüglich des zweiten Obertons, thatsächlich = 0 ist —, so mögen diese vereinfachenden Voraussetzungen wohl erlaubt sein.

Der Abstand der Scheibe betrug $A = 4500$ mm. Setzen wir nun für die verschiedenen Gewehre die betreffenden (Mittel) Werthe für a und v ein, so ergeben sich folgende Lagen für den vordersten Knoten, gerechnet in Millimetern von der Mündung.

Gewehr 8 mm Cal.	71 mm
„ 7 „ „	45 „
„ 6 „ „	180 „

wöhnlich mittelst Klebwachses ein Drähtchen, das jedoch in diesem Fall vertical gerichtet war und verfahren ganz wie bei der Beobachtung der transversalen Schwingungen; nur wurde die photographische Platte jetzt an dem horizontal gestellten Spaltbilde in verticaler Richtung auf entsprechenden Schienen vorübergeführt; der Moment in dem das Geschoss den Lauf verliess, wurde in gewohnter Weise auch hier markirt.¹⁾ Auf Tafel III giebt Fig. 14 ein Beispiel für einen solchen Versuch.

Die Ausmessung der erhaltenen Photographien ergab im Mittel aus 6 Beobachtungen folgende Werthe.

1. Das Gewehr geht anfänglich während einer Zeitdauer von 0.0067 Sec. um 0.285 mm zurück. Dann tritt

2. eine stärkere Rückwärtsbewegung von 2.2 mm in circa 0.008 Sec. ein. Während dieser starken Rückwärtsbewegung findet der Austritt des Geschosses statt.

3. Diese setzt sich dann fort zu Schwingungen und zwar

a) Grundtonschwingungen $t = 0.0038$ Sec.,

b) I. Obertonschwingung $t = 0.0069$ Sec.

Vergleicht man mit letzteren Werthen die entsprechenden Werthe für die transversalen Schwingungen (Grundton $t = 0.003$ Sec.; I. Oberton $t = 0.0073$ Sec.) desselben Gewehres, so findet man, dass beide innerhalb der Fehlergrenzen identisch sind. Dies alles steht auch in vollkommenem Einklang mit den in Fig. 19 und Tafel IV unserer I. Mittheilung dargestellten transversalen Schwingungen eines Punktes des Kolbenhalses.

Die Schwingungen des Laufes bei freierer Haltung des Gewehres.

Gegen alle diese Versuche könnte man mit Recht einwenden, dass jene Einklemmung, wengleich sie in Kork stattgefunden hat, doch immerhin im Vergleich zur Unterstützung und Haltung des Gewehres beim freihändigen Schiessen, eine starre zu nennen ist. Wir haben desshalb, wie schon in der Einleitung erwähnt, noch zwei weitere Versuchsreihen angestellt, die eine mit vollkommen freiem, nur an zwei Schnüren bifilar aufgehängtem Gewehr, die andere mit einem in solcher Weise unterstütztem, dass die Bedingungen des gewöhnlichen Anschlages nahezu vollkommen erfüllt waren.

¹⁾ Diese Vorrichtung, am Schwerpunkt des Laufs angebracht, eignet sich, bei grösserer Geschwindigkeit von photographischer Platte und Stimmgabel, vielleicht dazu, den zeitlichen Verlauf des Gasdrucks zu messen, analog dem gegenwärtig besonders häufig angewandten Sébert'schen Rücklaufmesser für Geschütze. Wir hoffen darauf zurückkommen zu können.

Wir verfahren, um letzteren Zweck zu erreichen, folgendermassen. Auf dem Betonklotz der Aufstellung B (S. 754 der I. Mittheilung) wurde ein kräftiger Arm aus Holz befestigt, der zwischen Filzbacken das Gewehr etwas unterhalb des Visirs hielt, ähnlich also der linken Hand des Schützen, die das Gewehr an derselben Stelle zu halten und zu stützen pflegt. Mit seinem Kolben lehnte das Gewehr, wie gegen die Schulter, hier gegen die mit einer mehrere Centimeter dicken Filzlage bedeckten starren Eisenplatte. Die rechte Hand des Schützen, welche das Gewehr am Kolbenhalse fasst und kräftig in die Schulter einsetzt, war durch einen um den Kolbenhals geschlungenen Gummischlauch ersetzt, dessen Enden stark nach hinten gezogen und hinter der Eisenplatte verknüpft wurden. Wie unsere Versuche ergaben, sind die Schwingungscurven eines so gehaltenen Gewehres vollkommen identisch mit denen, die man erhält, wenn man freihändig schießt; die Auslösung erfolgte selbstverständlich auf pneumatischem Wege.¹⁾ Die Feststellung dieser Uebereinstimmung ist deshalb von grossem praktischen Werthe, weil es für einen Schützen überaus schwierig ist, während der immerhin langwierigen Einstellungsarbeiten das Gewehr mit der nöthigen Ruhe zu halten; abgesehen davon, dass Athmung und Pulsschlag ein fortwährendes und bei der angewandten Vergrösserung äusserst störendes Vibriren und Zucken des Gewehres mit sich bringen.

Auf Tafel II sind die Figuren 6, 7, 8 derartige typische Curven. Es können selbstverständlich nur die ersten der auftretenden Schwingungen in den Photographien vorhanden sein, denn die starken Kippbewegungen des Gewehres, nachdem das Geschoss den Lauf verlassen hat, rufen Beschattungen des ganzen Spaltes hervor; es genügt dies jedoch auch vollkommen, denn für das Studium des Vibrationsfehlers sind nur die Schwingungen von Bedeutung, die bis zum Austritt des Geschosses stattfanden. Daraus, dass die starken transversalen Schwingungen, sowie die kräftigen Rückstossbewegungen erst nach dem Geschossaustritt auftreten, möchte wohl geschlossen werden können, dass die ausströmenden Pulvergase die Ursache dieser kräftigen Schwingungen sein möchten. Gestützt wird diese Vermuthung durch die auf unseren Photographien auftretenden Schlieren, welche zeigen, dass der Austritt der Gase periodisch stattfindet.²⁾

Vergleichen wir die bei eingespanntem und bei freier gehaltenem Gewehr erhaltenen Schwingungscurven, wie sie vor dem Geschossaustritt auftreten, so haben sie doch denselben Charakter, trotzdem sie auf den ersten Blick ver-

¹⁾ Auf den Tafeln als „künstlicher Schütze“ bezeichnet.

²⁾ Vergl. unten, S. 609.

schieden zu sein scheinen; bei beiden haben wir nämlich zuerst eine von uns sogenannte „erste Verbiegung $\alpha\beta$ “, wir haben ferner dem Explosionsstoss entsprechend eine Schwingung des zweiten Obertones, während der das Geschoss den Lauf verlässt und eine sich daran unmittelbar anschliessende Schwingung, die dem ersten Oberton zugehört; je nach dem grösseren oder kleineren Caliber findet dieser Geschossaustritt nach dem ersten Viertel (8 mm Cal.), im ersten Viertel (7 mm Cal.) oder vor der Vollendung der ersten Viertelschwingung (6 mm Cal.) des zweiten Obertones statt, entsprechend den drei Abstufungen der Geschwindigkeit des Geschosses an der Mündung, da dasselbe beim kleinsten Caliber und normaler Ladung die grösste Geschwindigkeit, beim grössten Caliber die kleinste Geschwindigkeit besitzt.

Die Vergleichung der Curven bei eingespanntem Gewehr z. B. (Fig. 2 u. 3) für das Gewehr 7 mm Cal. ferner von Fig. 4 u. 5 für das Gewehr 6 mm Cal. mit den entsprechenden Curven Fig. 7 und 8 bei Beschuss mit dem künstlichen Schützen, also bei freierer Haltung des Gewehres zeigt, dass die Amplitude der Schwingung des zweiten Obertones, während der das Geschoss austritt, bei eingespanntem Gewehr weniger stark ausgebildet ist, als bei freier gehaltenem. Offenbar vermindert die Einklemmung und damit starre Verbindung des Gewehres mit einer Unterlage von grosser Masse (Betonklotz) die Ausbildung dieser ersten Schwingung. Wenn diese Auffassung die richtige ist, so sollten die Schwingungen des zweiten Obertones, wenn man dem Lauf noch eine grössere Bewegungsfreiheit gestattet, sich noch kräftiger ausbilden. Dies wird bestätigt durch unsere Versuche mit bifilar aufgehängtem Gewehr.

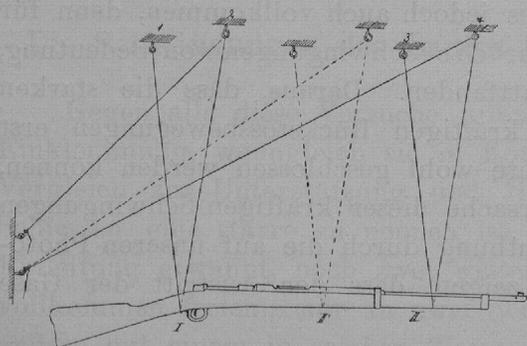


Fig. 7

Hierbei waren in vier Oesen an der Decke (vergl. Fig. V) zwei Schnüre I und II befestigt, deren Länge passend regulirt wurde, um das Gewehr in horizontaler Lage zu halten. Der Stützpunkt (II) lag entweder da, wo man bei aufgelegtem Gewehr dasselbe zu unterstützen pflegt (Mitte zwischen den zwei vorderen Gewehrringen), oder er befand sich unter dem Visir (II),

also an der Stelle, an welcher die linke Hand des Schützen das Gewehr zu halten pflegt. Bei dieser Aufstellung des Gewehres können sich die zweiten Obertöne frei ausbilden und die Fig. 9 und 10 auf Tafel II zeigen diese in ausserordentlich starker Entwicklung; selbstverständlich erfolgte — um keine

störenden äusseren Kräfte einzuführen — die Lösung des Schusses immer durch elektrische Zündung (vergl. über diese unsere erste Mittheilung d. Abh., Bd. XIX, Seite 772).

Vergleichen wir nun untereinander die Curven, die dasselbe Gewehr bei festerer Einspannung giebt und ebenso mit einander die, welche wir beim Beschuss vermittelst des künstlichen Schützens erhielten, so fällt auf, dass bei festerer Einklemmung die Grösse der Amplitude des für den Vibrationswinkel massgebenden zweiten Obertons variabel ist, dass sie dagegen für dasselbe Gewehr nahezu dieselbe Grösse behält bei jener freieren Haltung im künstlichen Schützen oder in bifilarer Aufhängung.

Es erweist sich damit die Gepflogenheit als begründet, beim Einschieszen eines Gewehres dasselbe nicht fest einzuspannen, sondern den Beschuss vom Sandsack aus vorzunehmen.

Wir sind dann noch weiter gegangen und haben mit dem Gewehr Mod. 71 (11 mm Cal.) Versuche derart angestellt, dass wir mehr und mehr den Lauf von der Verbindung mit dem Schaft befreiten, ja zuletzt den ganzen Schaft entfernten und nur den Lauf allein benutzten. Der Charakter der Schwingungen änderte sich jedoch hierbei in keiner Weise.

Interessant war es und gab uns Aufschluss über die Ursache der auftretenden Schwingungen, wenn wir hierbei ohne Kugel schossen, indem das Pulver nur durch einen ungefetteten Wattepfropfen in der Patronenhülse zusammengehalten wurde; die Auslösung des Funkens erfolgte, mit einer etwas anders construirten Vorrichtung, durch den Wattepfropfen. Wir konnten dann an den photographischen Schwingungscurven eines Punktes in der Nähe der Mündung feststellen, dass die Schwingungen überhaupt erst ungefähr mit dem Austritt des Wattepfropfens beginnen, d. h. dass $\alpha\beta$ und $\beta\gamma$ wegfallen.

Während $\alpha\beta$ als Schlagbolzenschwingung schon in Folge der elektrischen Zündung verschwindet, bleibt hier auch $\beta\gamma$ fort; dies ist ein Beweis für die Richtigkeit unserer Auffassung, dass die Schwingung, zu der $\beta\gamma$ gehört, durch das Einpressen des Geschosses in die Züge hervorgerufen wird.

An dieser Stelle mögen auch kurz die Versuche mit dem Mod. 71 (11 mm Cal.) besprochen werden, die wir angestellt haben, um eine Aufklärung über die merkwürdigen durch die Momentphotographie fixirten Deformationen des Laufes im Moment des Austritts des Geschosses zu erhalten, — dieselben entsprachen, wie aus der Tabelle (l. c. Seite 768) hervorgeht, durchaus nicht einer Deformation wie sie dem ersten Oberton zugehört. — Wir hatten damals das Gewehr fest zwischen Holz und Kupfer in der Aufstellungsvorrichtung B eingeklemmt. Wir haben nun systematisch diese Erscheinung untersucht,

indem wir von der absolut festen Einklemmung am Hülsenkopf allmählich zu freierer übergangen, und fanden hierbei Folgendes. Der Deformation zufolge, die dem ersten Oberton entspricht, hätte der mit „c“ bezeichnete Punkt des Laufes (41.5 cm von der Mündung entfernt) im Moment des Schusses eine Elongation nach abwärts besitzen sollen, bei absolut fester Aufstellung befand er sich jedoch 0.155 mm (im Mittel) nach oben verschoben; wir lockerten nun das Gewehr am Hülsenkopf etwas und fanden eine Aufwärtsbewegung von nur noch 0.099 mm; als wir das Gewehr am Hülsenkopf ganz frei liessen — nur in Filz unterstützt — verwandelte sich die Aufwärtsbewegung in eine solche nach abwärts, deren Elongation 0.339 mm betrug. Wir hatten jetzt also einen Deformationszustand, der dem ersten Oberton entsprach. Wir wollen es jedoch dahingestellt sein lassen, ob wir es bei jener starren Einklemmung mit einer zwangsförmigen ganz unregelmässigen Verbiegung des Laufes zu thun haben, oder ob es sich vielleicht um eine einem höheren Oberton entsprechende Deformation gehandelt hat, es lassen sich für die eine wie für die andere Auffassung gewichtige Gründe ins Feld führen; jedenfalls ergibt sich aus diesen Versuchen, dass die Deformation des Laufes eine andere complicirtere wird, wenn das Gewehr eingeklemmt ist.

Es schien uns ferner interessant, das Gewehr Mod. 71 (11 mm Cal.) noch nachträglich daraufhin zu untersuchen, ob nicht die hie und da von uns constatirten zweiten Obertonschwingungen, möglicherweise bei freier Haltung, regelmässig auftreten möchten. Wir fanden nun in der That, dass auch bei diesem Gewehr, wenn es bifilar aufgehängt ist oder wenn es durch den künstlichen Schützen gehalten wird, neben den Schwingungen des ersten Obertones und diesen überlagert solche des zweiten regelmässig erscheinen (Fig. 18 Tafel IV). Unsere für Mod. 71 erhaltenen Resultate werden jedoch hierdurch nicht geändert, da gleichzeitig mit diesem zweiten Oberton auch der erste und zwar mit viel grösserer Amplitude beginnt, so dass in erster Linie doch nur letztere Schwingung für den Vibrationsfehler massgebend sein wird.

Versuche mit verminderten Ladungen.

Wir haben auch bei diesen kleinkalibrigen, mit rauchschwachem Pulver geladenen Gewehren, wie früher beim Gewehr Mod. 71 (11 mm Cal.) untersucht, welche Erscheinungen auftreten, wenn man die Pulverladung verkleinert. Zu diesen Versuchen benutzten wir das 8 mm Gewehr in der mit B bezeichneten Aufstellung. Wir konnten zunächst im Vergleich mit dem Gewehr Mod. 71 (Schwarzpulver und Weichbleigeschoss) Folgendes feststellen. Während

bei diesem auch noch ganz schwache Ladungen das Geschoss zum Lauf hinaustrieben, hörte dies bei den kleinkalibrigen Gewehren (Blättchenpulver und Mantelgeschoss) schon bei Ladungen auf, die etwas geringer als ein Viertel der normalen Ladung waren; das Geschoss blieb im Lauf stecken. Die Patronen waren hierbei gewöhnlich derart hergestellt, dass auf das Pulver ein Wattedropfen (gefettet) aufgesetzt war, um dasselbe vor dem Zündhütchen der Patrone zusammenzuhalten und der Dichtigkeit der Ladung die nöthige Grösse zu geben. Traf man diese Vorsichtsmassregel nicht, sondern liess das Pulver im Hohlraum der Patrone frei liegen, so fand der Geschossaustritt mit grosser Verzögerung statt, wie der Abstand $\alpha-\gamma$ auf Tafel III Fig. 15, 16, 17 dies zeigt. Während wir ferner bei dem Mod. 71 (11 mm Cal.) ein der Abnahme der Schwarzpulverladung entsprechendes Vorrücken des Auslöschungsfunkens γ nach rechts hin, also Grösserwerden von $\alpha-\gamma$ constatiren konnten, schien bei dem kleinkalibrigen Gewehr die Verzögerung eine sehr variable Grösse zu sein, (vergl. die Geschossaustritte Fig. 15 und 16 mit einander). Ferner ist bei diesen stark verminderten Ladungen das gänzliche Fehlen des zweiten Obertons bemerkenswerth; es ist dies wohl dadurch zu erklären, dass höhere Obertöne vorwiegend durch kurze Stösse erzeugt werden und die Kürze des Stosses in unserem Fall hauptsächlich mit der Mündungsgeschwindigkeit des Geschosses, bei gleicher Lauflänge, ab- und zunimmt.

Wir hatten schon früher (vgl. Seite 772 unserer I. Mittheilung) die Vermuthung ausgesprochen, dass der mit $\alpha\beta$ und als „erste Verbiegung“ bezeichnete Theil der Curve eine durch das Vorschnellen des Schlagbolzens eingeleitete Schwingung des Laufes wäre. Dies scheint uns durch unsere Versuche bei den verminderten Ladungen bewiesen zu sein; denn in der That können die vor dem Austritt des Geschosses auftretenden Schwingungen (vgl. Fig. 15, 16, 17) nicht wohl eine andere Ursache haben. Dies wird weiter bestätigt durch die in Fig. 11, 12, 13 gegebenen Curven, die uns die durch das Vorfahren des Schlagbolzens allein hervorgerufenen Schwingungen darstellen. Wie eine Vergleichung mit den Curven bei wirklichem Schuss ergiebt, ist $\alpha\beta$ identisch mit dem Beginn der Schlagbolzenschwingen in Fig. 11, 12, 13.

Bemerkenswerth an diesen Curven, die den Schlagbolzenschwingungen entsprechen, sind die kleinen winzigen Vibrationen, die den Hauptschwingungen überlagert sind und als Schwingungen eines höheren Obertones zu deuten sind; ferner unterscheiden sich die drei Gewehre dadurch von einander, dass beim Cal. 8 mm der erste Oberton, beim Cal. 6 und 7 mm der Grundton prävalirt. Merkwürdiger Weise hat die erste Schwingung, wie der Vergleich mit den

Schwingungen der Stimmgabel ergibt, eine kürzere Periode als die späteren. Auf eine Discussion und Deutung dieser merkwürdigen Verhältnisse möchten wir an dieser Stelle nicht eingehen.

Resultate:

1. Bei den drei untersuchten kleinkalibrigen, mit rauchschwachem Pulver geladenen Gewehren (8 mm, 7 mm, 6 mm Cal.) treten ausser der Grundtonschwingung noch Schwingungen des I. und II. Obertones auf.

2. Der Austritt des Geschosses findet statt beim Gewehr
- 6 mm Cal. kurz vor Vollendung der ersten Viertelschwingung des ersten auftretenden zweiten Obertones,
 - 7 mm Cal. ungefähr im ersten Viertel selbst,
 - 8 mm Cal. erst nach Vollendung der ersten Viertelschwingung dieses zweiten Obertones, wenn die erste nach abwärts gerichtete Schwingung des ersten Obertones bereits einsetzt.

3. Die von uns sogenannte erste Verbiegung $\alpha\beta$ ist ein Theil einer Schwingung, die durch den Schlagbolzen hervorgerufen wird.

4. Die Verbiegung $\beta\gamma$ ist ein Theil ($\frac{1}{4}$ circa) einer Schwingung des zweiten Obertones, die in ihrer ersten Phase bei allen drei untersuchten Gewehren nach oben gerichtet ist.

5. In der Amplitude dieser für den Vibrationsfehler massgebenden ersten Schwingung des zweiten Obertones ist ein Unterschied vorhanden, je nachdem das Gewehr fest eingespannt ist oder freier (künstlicher Schütze) gehalten wird; bei freierer Haltung sind die Werthe dieser Amplitude allerdings grösser, aber gleichförmiger als bei fester Einspannung.

A n h a n g.

1. Die Schlienererscheinungen auf den Photogrammen.

Wir wollen anhangsweise noch für eine Erscheinung eine Erklärung zu geben versuchen, die auf allen unseren Photogrammen (vgl. z. B. Fig. 1—5) der Schwingungscurven auftritt. Man bemerkt nämlich auf denselben parallel zum Spaltbilde helle und dunkle Streifen, die nach dem Austritt des Geschosses erscheinen und periodischen Beschattungen des Spaltes entsprechen. Zu deuten sind diese Beschattungen wohl als Verdichtungswellen der Luft, die am Spalt vorüberziehen und als sogenannte Schlieren wirken; hervorgerufen dürften diese sein durch die aus der Mündung unter hohem Druck ausströmenden Pulvergase, deren Austritt periodisch stattfindet, wie dies durch die Versuche von Mach und Salcher, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien, Math.-naturw. Classe 98 Abth. II, 1889. Mach: Ibidem 106, 1897 und neuerdings von R. Emden, Wied. Ann. Bd. 69, p. 264 ff., 1899, nachgewiesen ist.

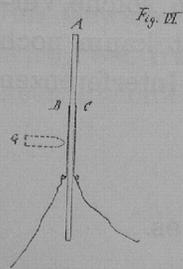
Diese auftretenden Luftschwingungen werden sich nach allen Seiten hin fortptganzen, mithin sich auch nach rückwärts über das Spaltbild, das durch die Linse (s. *C* in Fig. VI unserer I. Mittheilung) in der Ebene des Drahtes erzeugt wird, ausbreiten. Wendet man für die Auslösung des Funkens eine andere (unten Seite 610 beschriebene) Vorrichtung an, die in Folge ihrer Form eine Reflexion dieser Verdichtungswellen hervorruft, so findet eine solche Verstärkung dieser Schlieren statt, dass die Schwingungscurven selbst kaum noch auf den Photogrammen sichtbar sind, indem durch auftretende Interferenzen eine allgemeine Trübung auftritt.

2. Die Mündungsgeschwindigkeit des Geschosses.

Wenn man den Auslöschungsfunken, der bisher den Geschossaustritt bezeichnete, durch Verringerung der Capacität der Leydener Flaschen-Batterie kleiner macht, so erhält man ein sehr zartes Pünktchen, dessen Lage auf der photographischen Platte sich mit Leichtigkeit auf $\frac{1}{20}$ der Schwingungsdauer der von uns angewandten *a*-Stimmgabel bestimmen liess; es wird sich also der Moment, in dem die Auslösung stattfindet, — das Geschoss sich also an

einer bestimmten Stelle des Raumes befindet — mit einer Genauigkeit von circa $\frac{1}{10000}$ Sec. feststellen lassen. Man kann nun folgendermassen verfahren. Aus unseren bisherigen Versuchen kennen wir in Bezug auf die Schwingungsphase eines Punktes an der Mündung den Moment mit grosser Genauigkeit, in dem das Geschoss den Lauf verlässt. Stellen wir nun die Auslösungsvorrichtung des Funkens einige Meter entfernt von der Mündung auf, so wird auf unserer am Spaltbild vorübergezogenen Platte in dem Moment ein Funkenbild erzeugt werden, wenn das Geschoss an dieser einige Meter entfernten Stelle den Funken auslöst; wie erwähnt, lässt sich dieser Moment auf $\frac{1}{10000}$ Sec. genau feststellen, mithin also auch die Zeit, die verfliesst, zwischen dem Austritt des Geschosses aus der Mündung und dem Passiren der Auslösestelle, deren Entfernung mit hinreichender Präcision zu messen ist; d. h. also die Geschwindigkeit selbst wird sich noch mit einer Genauigkeit von circa 2% ermitteln lassen. Es steht nun nichts im Wege, mit Hülfe einer Stimmgabel von kürzerer Schwingungsdauer und einer vermehrten Geschwindigkeit der Bewegung der photographischen Platte diese Genauigkeit noch zu steigern. Einen Vorzug dieser Methode erblickt man vielleicht darin, dass wir auf diese Weise eine erste Markierungsstelle erhalten, ohne dass das Geschoss nöthig hat, auch hier einen Funken auszulösen, mithin ohne in Bezug auf Geschwindigkeit, Bahn und wohl auch Lage seiner Längsaxe im Raum Aenderungen unterworfen zu sein. Uebrigens soll diese Notiz nur eine vorläufige sein.

Für diese Versuche construirten wir eine etwas andere Auslösungsvorrichtung, die auf grössere Entfernungen sicherer von dem Geschoss getroffen und durchschlagen wird als die bisher (Fig. VIII a unserer ersten Mittheilung) angewandte. Wir befestigten in der Geschossbahn an der gewünschten Stelle in verticaler Lage ein Stück Pappendeckel, das mit Paraffin getränkt war (Fig. VI) *A*; an den Stellen *B* und *C*, in denen das Geschoss *G* durchschlagen soll, waren zwei Staniolblätter aufgeklebt, die zu den Belegungen der Leydener Flasche führten; diese beiden Staniolblätter entsprechen also den Drähten *a* und *b* in Fig. VIII a Seite 762 unserer I. Mittheilung.



Wir wollen als Beispiel zwei derartige Versuche mittheilen, die wir mit dem Gewehr 8 mm Cal. angestellt haben.

1. Der Abstand des Auslösungsfunkens auf der Platte von dem Punkte, welcher dem Austritt des Geschossbodens aus dem Lauf entspricht, $a = 18.2$ mm (± 0.1). Eine Stimmgabelschwingung, dargestellt auf der Platte durch die Länge $s = 6.04$ mm (± 0.01), bestimmt aus 10 symmetrisch zu den beiden Auslösungsfunkens liegenden Schwingungen der Stimmgabel. Die Dauer

einer Schwingung der Stimmgabel beträgt 0.0023 Sec. Daraus ergibt sich die Geschwindigkeit für die Strecke von der Mündung bis zur Entfernung 4.5 m = $695 \frac{\text{m}}{\text{Sec.}}$, vergl. Tafel I Fig. 1.

2. Der Abstand a betrug = 20.8 mm, eine Stimmgabelschwingung $s = 6.87$ mm. Daraus ergibt sich die Geschwindigkeit für die gleiche Strecke = $697 \frac{\text{m}}{\text{Sec.}}$

Untersuchungen darüber, ob das geschilderte Verfahren sich zu einer einfachen, auch praktisch verwendbaren Methode für Messung der Geschwindigkeit auf kurzer Strecke ausgestalten lässt und über Anwendungen z. B. auf Entscheidung der Frage, ob, wie behauptet wird, die Geschwindigkeit des Geschosses nach dem Austritt aus dem Lauf noch weiter wächst, hoffen wir in Kürze veröffentlichen zu können.

Stuttgart. Physikal. Institut der K. Technischen Hochschule
1899 December 31.

Handwritten notes at the top of the page, including the word "MINI" and other illegible scribbles.

Main body of the page containing very faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the paper.

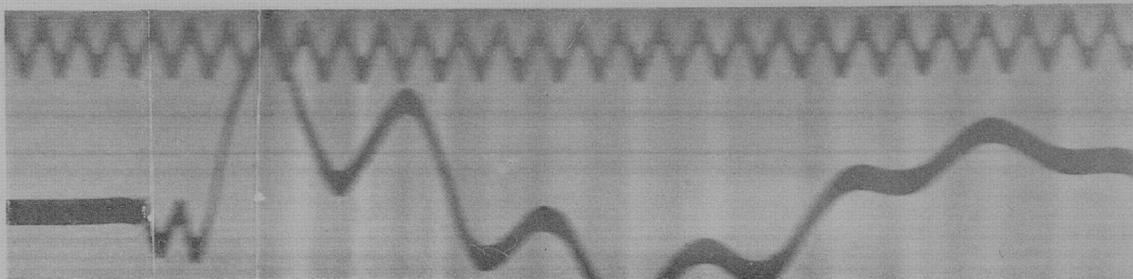


Fig. 1.

γ γ' Gewehr 8 mm Cal. in Kork eingeklemmt. Schwingungcurve eines Punktes an der Mündung. γ Auslösungs-Funke für den Moment, in dem das Geschoss den Lauf verlässt; γ' Auslösungs-Funke in 4,5 m Entfernung von der Mündung.

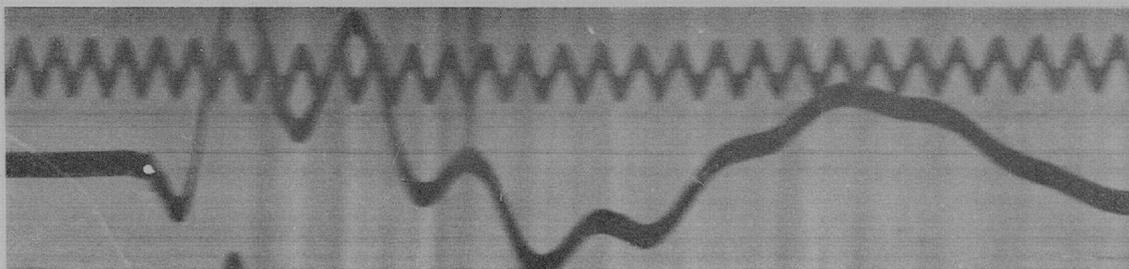


Fig. 2.

γ Gewehr 7 mm Cal. Schwingungcurve eines Punktes an der Mündung, γ wie Fig. 1. Gewehr in Kork eingeklemmt (Aufstellung B).

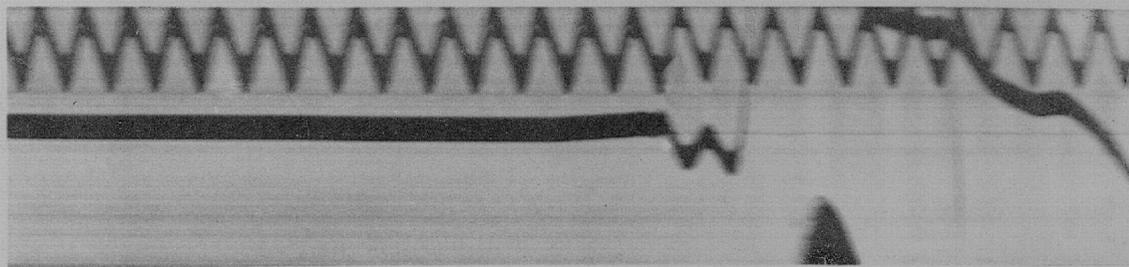


Fig. 3.

Gewehr 7 mm Cal., ganz **locker** eingebettet (Aufstellung B). γ Schwingungcurve eines Punktes an der Mündung. γ wie Fig. 1.

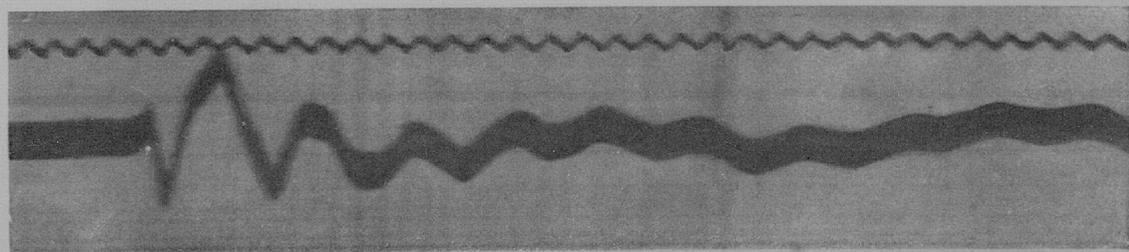


Fig. 4.

γ Gewehr 6 mm Cal. in Kork eingeklemmt (Aufstellung B). Schwingungcurve eines Punktes an der Mündung. γ wie Fig. 1.

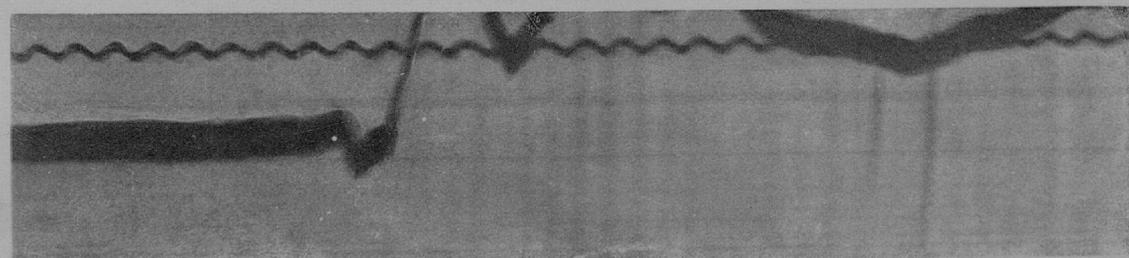
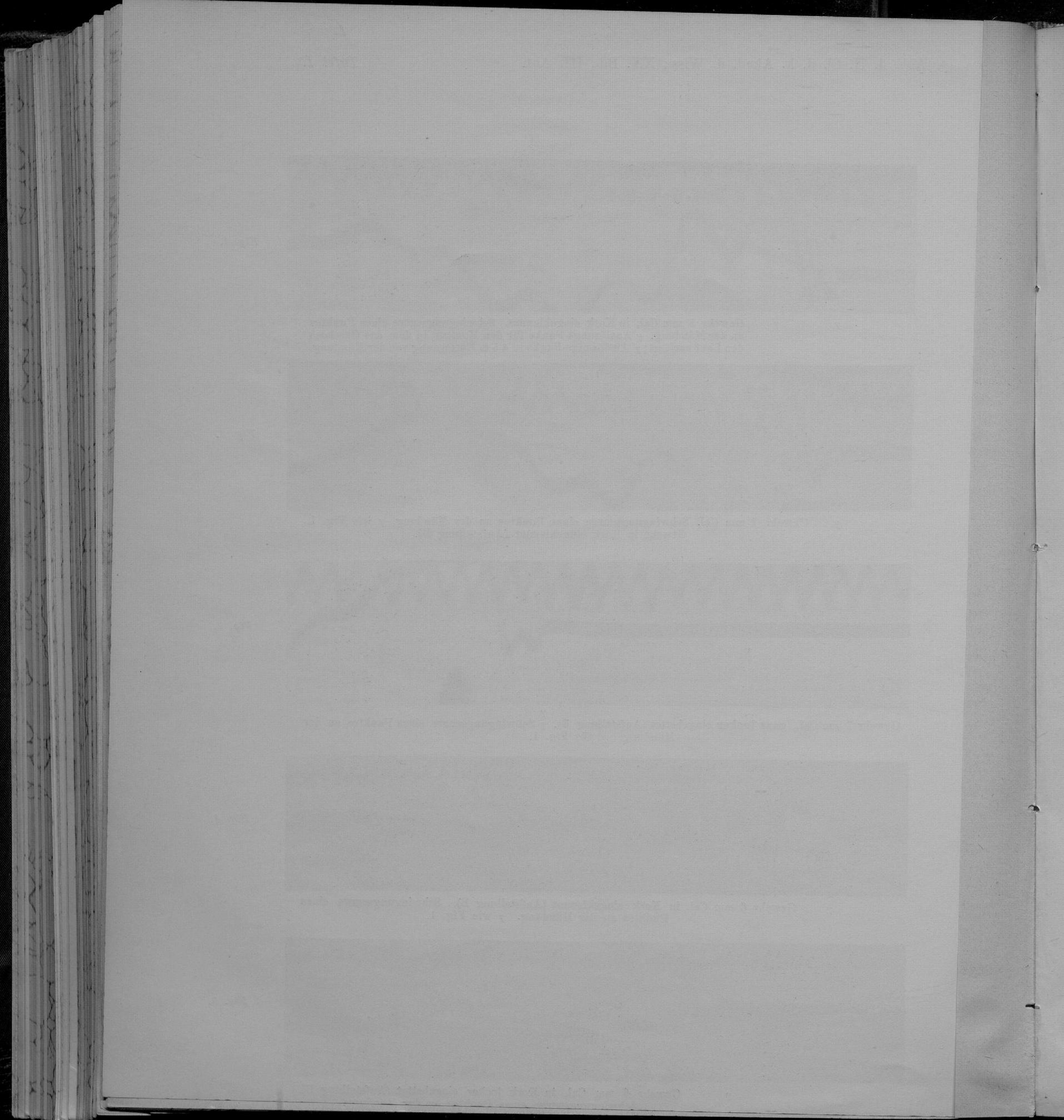


Fig. 5.

γ Gewehr 6 mm Cal. in Kork **locker** eingebettet (Aufstellung B). Schwingungcurve eines Punktes an der Mündung.



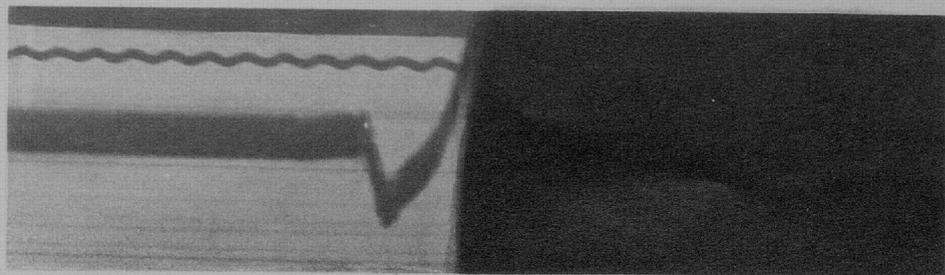


Fig. 6.

Gewehr 8 mm Cal. Kolben stützt sich ^γ gegen Filzplatte an fester Wand; am Kolbenhals durch Schnur gehalten; unter dem Visier auf Filzplatte gelagert; γ wie Fig. 1.

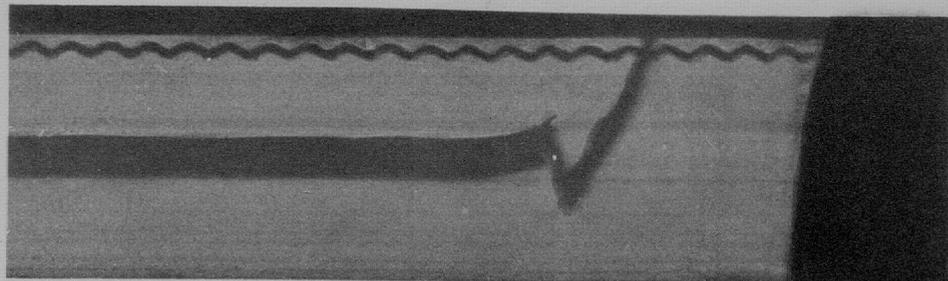


Fig. 7.

Gewehr 7 mm Cal. Haltung des Gewehrs durch künstlichen Schützen, cf. Text p. 603. γ wie Fig. 1.

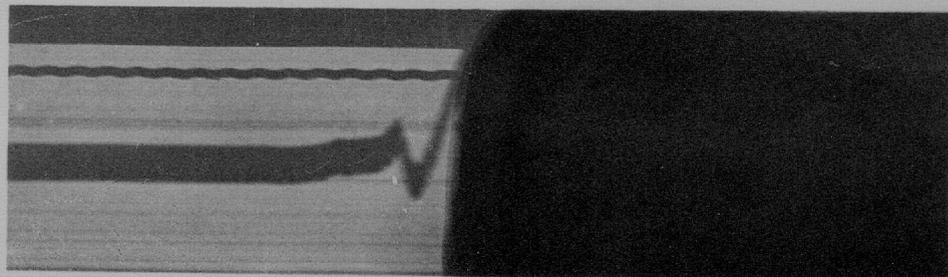


Fig. 8.

γ Beschattung des Spaltes durch Rücklauf des Gewehres.
Gewehr 6 mm Cal. Wie Fig. 7.

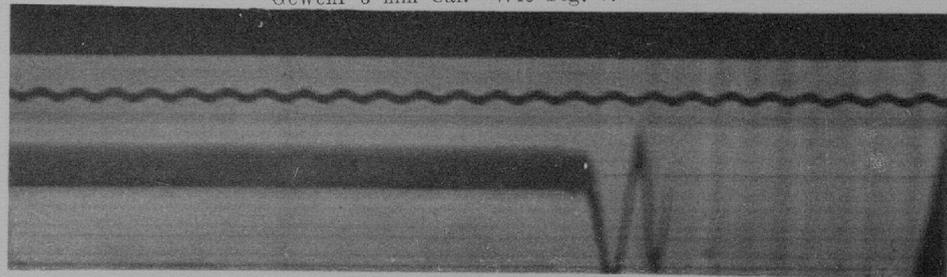


Fig. 9.

Gewehr 8 mm Cal. Bifilare Aufhängung (vergl. Text p. 603). Elektrische Zündung. Schwingungscurve eines Punktes an der Mündung.

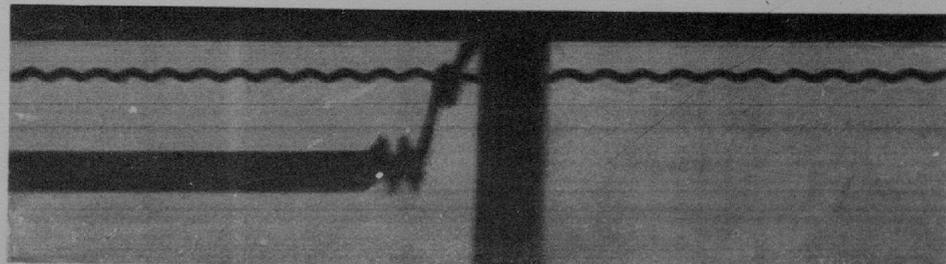


Fig. 10.



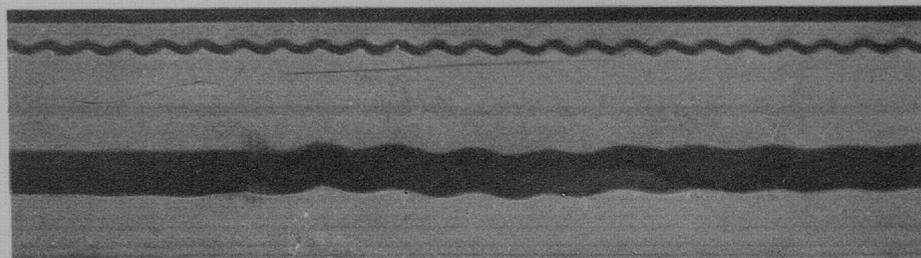


Fig. 11.

Gewehr 8 mm Cal. Schwingungcurve eines Punktes an der Mündung, durch Vorfahren des Schlagbolzens hervorgerufen.

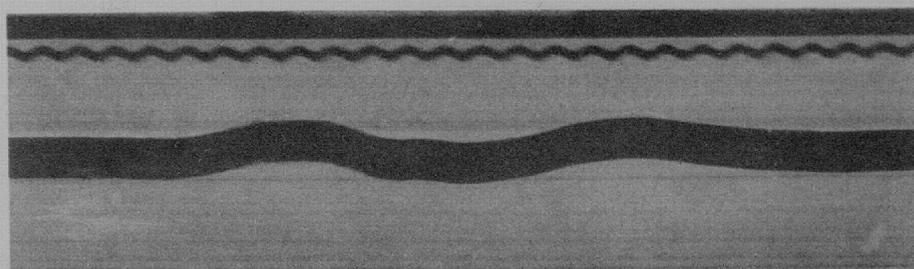


Fig. 12.

Gewehr 7 mm Cal. Wie Fig. 11.

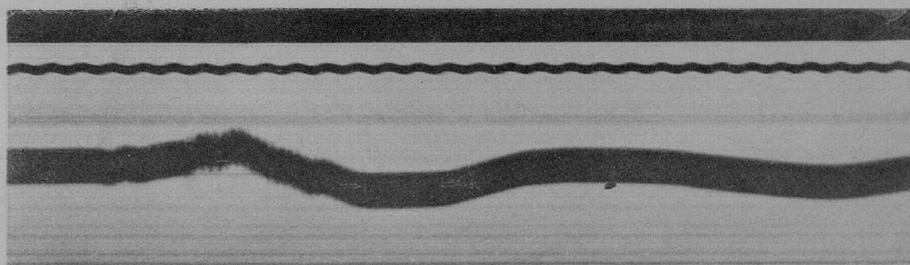


Fig. 13.

Gewehr 6 mm Cal. Wie Fig. 11.

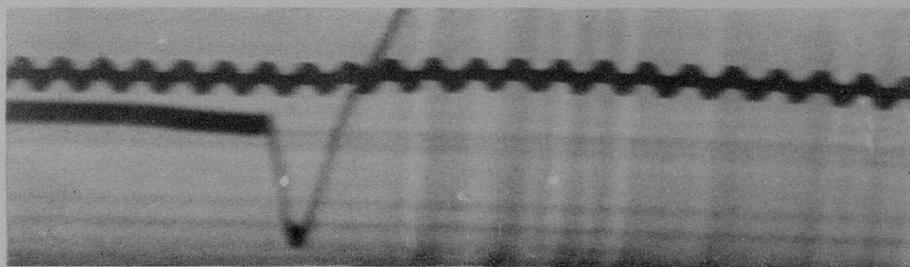


Fig. 14.

Gewehr 7 mm Cal. Rücklaufschwingung.

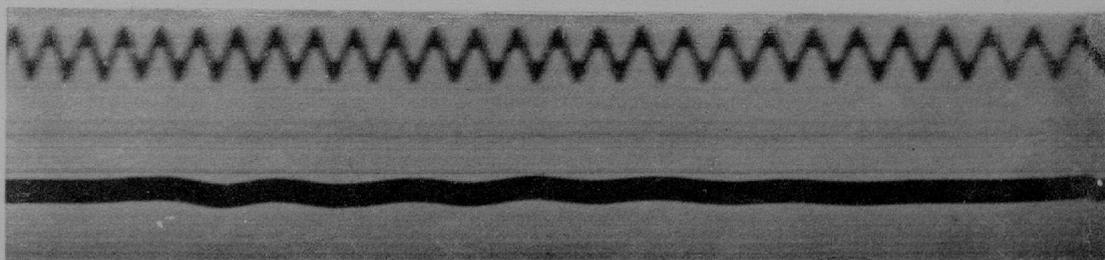


Fig. 15.

α Gewehr 8 mm Cal. Verminderte ($\frac{1}{2}$) Ladung. γ Moment, in dem das Geschoss den Lauf verlässt. γ

1870

1871

1872

1873

1874

1875

1876

1877

1878

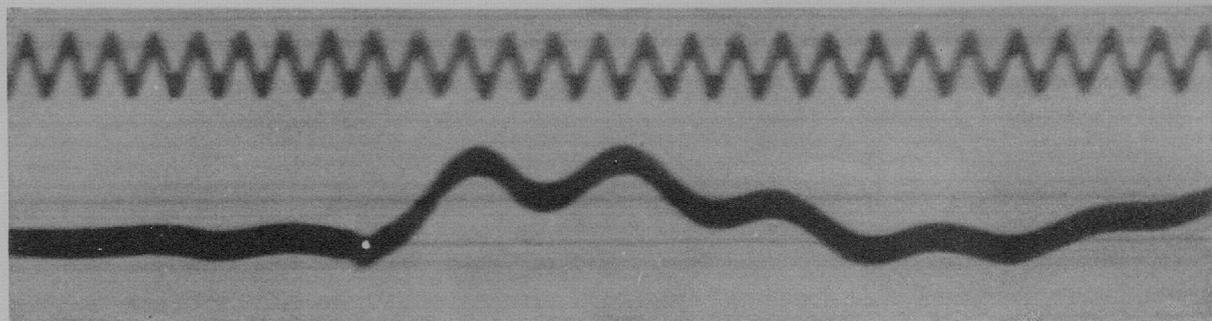


Fig. 16.

α

γ

Gewehr 8 mm Cal. Wie Fig. 15 (nur α - γ kürzer).

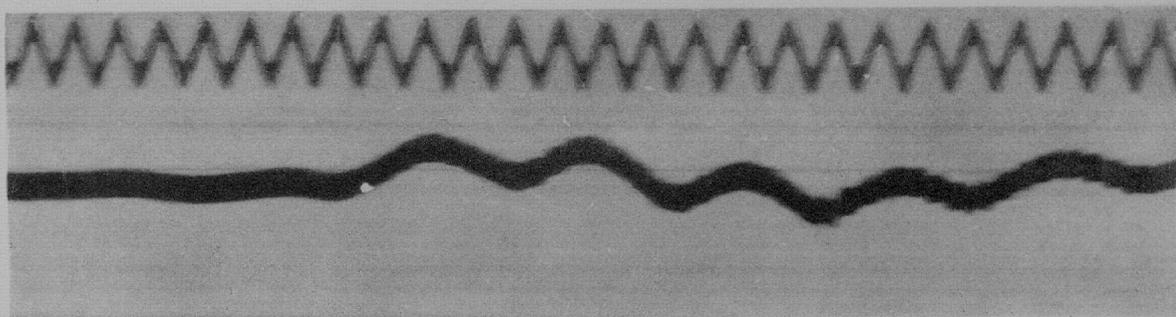


Fig. 17.

α

γ

Gewehr 8 mm Cal. $\frac{1}{4}$ Ladung.

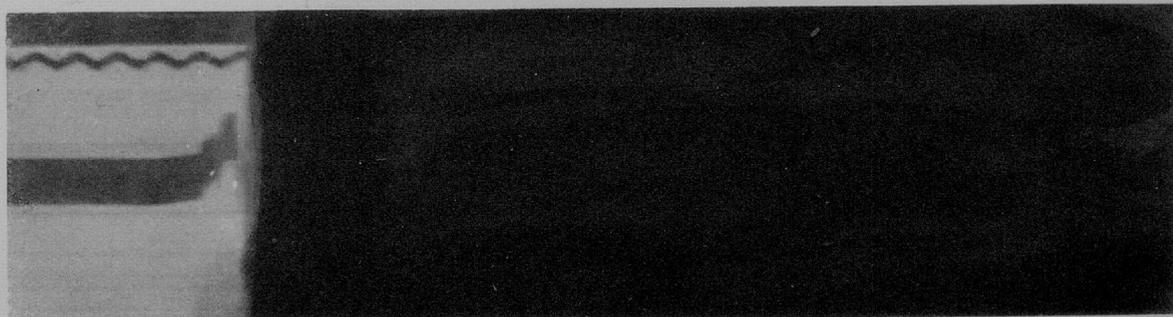


Fig. 18.

γ

Beschattung des Spaltes durch Rücklauf.
Gewehr 11 mm Cal. Normale Ladung (cf. Text pag. 606).

