Weitere Versuche über Projectile

Dr. Ludwig Mach.

(Mit 5 Tafeln und 14 Textfiguren.)

Diese Mittheilung enthält den Bericht über eine Reihe von Versuchen, welche an ältere Arbeiten anknüpfen,¹ und dieselben zum Abschluss bringen. Bisher ist über diese letzten Versuche nur eine kurze vorläufige Mittheilung erschienen.² Ich war bestrebt, die vorher verwendeten Methoden wesentlich zu verbessern, um durch eine sorgfältige und umsichtige Technik reine Resultate zu erhalten. Die Arbeit wurde im September 1892 begonnen und mit einigen Unterbrechungen bis August 1893 fortgeführt. Ich verwendete theils ein Werndl-, theils ein Mannlicher-Gewehr und untersuchte sowohl nach der Schlierenmethode, als auch nach der Interferenzmethode, in letzterem Falle mit dem von mir construirten Apparat.³

Aufstellung und Apparate für die Schlierenversuche.

Zunächst lasse ich die Beschreibung der Vorrichtungen folgen, welche bei den Schlierenversuchen verwendet wurden, die übrigens zum Theil auch bei den Interferenzversuchen in Function blieben.

Der Spiegel. Als Kopf des Schlierenapparates wurde bei den neuen Versuchen ein sphärischer Glassilberspiegel S (von

Die letzte derselben ist: E. Mach und L. Mach, Weitere ballistische Versuche. Diese Sitzungsber., Bd. XCVIII, Abth. II. a., November 1889.

Akademischer Anzeiger, 1893, Nr. 19, S. 198.

Bei einigen Versuchsreihen hat mir theils mein verstorbener Bruder Heinrich, theils mein College Dr. W Pascheles aufopfernder Weise Hilfe geleistet.

K. Fritsch in Wien) verwendet. Derselbe hatte 15.6 cm freie Öffnung, 1.6 m Brennweite, und lieferte in der Aufstellung Fig. 1 ein Feld von 7 cm Durchmesser. Mit Hilfe eines Steinheilschen Gruppenantiplanets A (von 78 mm Öffnung und 44 cm Brennweite) erhielt ich genügend scharf definirte Bilder, in welchen das 23 mm lange Projectil nur auf 9 mm verkürzt erschien. Die Aufstellung war, wegen des beträchtlich kürzeren Lichtweges, weniger empfindlich als die ältere, was durch eine sehr scharfe exacte Blendung ausgeglichen werden musste.



Fig. 1.

Die Beleuchtungsvorrichtung. Um nicht durch die Abweichungen des Beleuchtungsfunkens von der geradlinigen Bahn (das Springen des Funkens) Versuche zu verlieren, habe ich folgende kleine Vorrichtung hergestellt. Die Funkenführung besteht aus einem um die horizontale Axe a (Fig. 2) drehbaren Hartgummiprisma P, das an dem einen Ende einen mit Gas zu speisenden kleinen Brenner b, an dem anderen die Funkenführung p trägt. Die Elektroden ee' bestehen aus prismatischen, an den Enden mit Schellackstielen versehenen Magnesiumdrähtchen, die in der ebenfalls prismatischen Rinne r streng eingepasst sind. Die Rinne r ist durch eine P bis an die Rückwand durchsetzende feine Bohrung mit der äusseren Luft in Communication gebracht, und vorne mit einem dünnen (möglichst wenig fluorescirenden), durch Gummiringe ausgedrücktem Deckgläschen verschlossen. Damit das Überspringen der Funken nur in der Rinne stattfindet, ist es nöthig, mit Hilfe eines Tropfglases etwas Petroleum zwischen Glas und Prisma aufsaugen zu lassen. Der Funken hält dann genau die geradlinige Bahn ein, doch ist man genöthigt, wegen der Russbildung durch das verbrennende Petroleum und wegen der Arrosion des Glases,



Fig. 2.

die Rinne öfter zu reinigen und mit einem neuen Deckglase zu versehen. Man verwendet die Vorrichtung, indem man den Brenner b nach oben und genau vertical stellt, was durch das Einschnappen einer kleinen Sperrvorrichtung hinter P bewerkstelligt wird. Mit Hilfe der kleinen leuchtenden Gasflamme controlirt man die richtige Trennung der Lichtbündel (Fig. 1), indem man Pauspapier in dieselben bringt, und stellt sodann das scharfe Bild der Flamme auf die Blendung (Σ , Fig. 1) ein.

Die Mattscheibe des photographischen Apparates wird so verschoben, dass von einem bei D (Fig. 1) eingebrachten Körper ein scharfes Bild entsteht. Durch einfaches Umlegen von P(Fig. 2) um 180° wird genau an die Stelle der Flamme der Funke gesetzt, und man kann nun mit Funkenlicht weiter operiren.

Die Blendung. Die Herstellung eines gut geblendeten Feldes bei einer so kurzen Aufstellung erfordert eine mikro-



Fig. 3.

metrisch verschiebbare Blende mit geringem todten Gang. Fig. 3 zeigt die von mir verwendete Blendung, bestehend aus dem Holzschieber H zur groben Einstellung und einem auf demselben befindlichen Mikrometerschlitten mit der Blendungsschneide.

Ich muss noch einiges über die Technik der so wichtigen Blendung erwähnen. Bei einer exacten Blendung soll sich die Schneide optisch genau in der Ebene des schärfsten Bildes der Lichtquelle befinden. Die gewöhnliche Einstellung des scharfen Bildes mit Hilfe des Auges ist, wie die Erfahrung zeigt, selbst bei dauernden Lichtquellen keineswegs genügend, um so

608

weniger bei Funkenlicht, in welchem Falle das Auge den momentan aufblitzenden Lichtstreifen nicht genügend percipiren kann. Überlegt man jedoch (siehe Fig. 4, a und b), dass, wenn die Blende vor dem Bilde steht (a), im Falle einer scharfen Abblendung der Schatten von der entgegengesetzten Seite in das Feld rückt, dagegen bei der Anordnung b von derselben Seite hereinkommt, so kann auf Grund dieser Beobachtung aus der reinen Blendungserscheinung auf den Stand der Schneide geschlossen werden. Man verschiebt so lange vor- und rückwärts, bis bei scharfer Blendung das Feld ganz gleichmässig matt wird. Man erhält in der That bei einem solchen Felde, welches einen mattblauen Farbenton aufweist,

ganz vorzügliche Bilder.

Länge des Beleuchtungsfunkens. Um das Gruppenantiplanet möglichst gut auszunützen, verwendete ich zuerst einen 15 mm langen Beleuchtungsfunken. Es zeigte sich aber, dass bei dieser Länge der Lichtquelle der Spiegel nicht mehr gleichmässig beleuchtet erscheint, sondern vielmehr in dem Feld zwei gegen das Centrum convex begrenzte Partien von hervorstechender Helligkeit vorhanden sind. Durch eine einfache Über-



Fig. 4.

legung findet man, dass dieses durch eine zu grosse Länge des Beleuchtungsfunkens, namentlich durch die stärker leuchtenden Elektrodenenden, bedingt ist. Bei Abkürzung des Funkens auf 11*mm* und Abdeckung der Elektrodenenden mit Mattfilms verschwindet die Störung.

Richtung der Schusslinie. Es schien vortheilhaft, die Richtung der Schusslinie nicht senkrecht gegen die Axe der Lichtrichtung zu wählen, sondern dieselbe von dieser Senkrechten um etwa 4° abweichen zu lassen. Es scheinen hiebei mehr Einzelheiten sichtbar zu werden.

Der Kugelfang besteht aus einer Kiste von weichem Holz (in Form eines Würfels von 70 cm Seite), die mit Holzbohlen ausgefüllt ist, welche hinten an eine Gussplatte von 1.5 cm Dicke anstossen. Messingprojectile schlagen sich meistens pilzförmig platt, wogegen sich die Stahlmantelgeschosse des österreichischen Mannlicher-Gewehres beim Aufschlagen zu einer feurigen Sonne von geschmolzenem Blei auflösen, wobei die Manteltrümmer die einen Zoll starken Holzwände der Kiste messerartig durchschneiden. Aus diesem Grunde muss man die hinteren Partien der Kiste besonders gut verwahren. Unterlässt man dies, so setzt man sich regelmässig einem Regen von Stahl- und Bleisplittern aus.

Die Panzerplatte. Als Panzerplatte diente mir anfangs eine 3 cm starke Eisenplatte der Firma Friedrich Krupp in Essen, die sich noch heute im Prager Laboratorium befindet. Fünf Schüsse des Mannlicher-Gewehres (mit dem ebenfalls experimentirt wurde) auf ein und denselben Punkt dieser Platte abgegeben, gaben zu einer kraterförmigen Ausbiegung Veranlassung, und bei weiteren Schüssen entstand ein Riss, womit natürlich diese Stelle unbrauchbar war. Ich liess mir deshalb in Bubna bei Prag nach folgender Methode eine Platte giessen. Es wurde das 2¹/, cm starke, mit acht Rippen verstärkte Plattenmodell mit der gerippten Seite in feinen, eben gestrichenen Thon abgedrückt. Nach dem Trocknen wurde hievon abermals in Thon eine Form abgenommen und dieselbe mit einem hohen Rand umgeben. Diese Form, mit Eisen ausgegossen, ergab erst eine eiserne Gussform für die eigentliche Panzerplatte. Man rieb sie etwas mit Petroleum ein, stäubte Graphit darauf und dann wurde der Eisenfluss eingegossen. Nach dem Erkalten konnte man die Panzerplatte aus der eisernen Form herausnehmen, und das Resultat war, wie ich erwartet hatte, eine an der Oberfläche glasharte Platte, die von den Stahlspitzen der Projectile nicht einmal geritzt wurde. Es wird nämlich dem rothglühenden Eisen an der Oberfläche durch die sehr massige metallene Form rasch Wärme entzogen, was ein Gussstück mit zwar harter Oberfläche, aber weichem Kern ergibt. Eine durchaus harte Platte zerspringt, wie der Versuch gelehrt hat, beim ersten Schuss.

Die elektrische Aufstellung und die Auslösung des Beleuchtungsfunkens. An der elektrischen Aufstellung wurde zunächst wenig geändert. Die in Fig. 1 dargestellte Anordnung functionirt recht gut. Die Flasche A (3500 cm Capacität)

wird durch das zwischen die Drahtlagen bei D eindringende Projectil in sich entladen, wobei sich ohne merkliche Zeitdifferenz die kleine Flasche B von 500 cm Capacität durch die Funkenstrecke P (den Beleuchtungsapparat) in die grosse Flasche entleert. Später wurden jedoch die Drahtgitter und die Funkenauslösung durch das die Gitter durchsetzende Projectil ganz aufgegeben. Abgesehen von den Unregelmässigkeiten der Entladung, welche durch die Gitter, namentlich die Ladungsverluste an denselben, eingeführt wurden, wirken die Gitter noch in anderer Weise schädlich. Durch die zahlreichen Wellenreflexionen an den Gittern werden nämlich die gewonnenen Bilder sehr verunstaltet, und wichtige Einzelheiten derselben werden hiedurch oft ganz gedeckt. Es war daher mein Bestreben, den Beleuchtungsfunken auszulösen, während das Projectil frei im Felde stand. Nach einigen Bemühungen gelang dies auch vollständig, und gerade durch dieses Verfahren wurde es ermöglicht, wirklich reine Resultate zu erhalten.

Nach mancherlei anderen Versuchen, die hier nicht beschrieben werden sollen, blieb ich bei folgender Anordnung stehen: Das Projectil erregt an einer Stelle seines Weges eine Schallwelle, welche fortläuft, dann eine Flamme bewegt, und durch diese den elektrischen Schluss und die Entladung der Beleuchtungsflasche auslöst.

Ich construirte nun den in Fig. 5 dargestellten Apparat. In einiger Distanz vom Feldcentrum wird der mit Strohpapier überzogene, auf das Messingrohr R aufgesteckte Holzreif rvom Projectil durchsetzt. Es läuft nun in dem Rohr eine Luftwelle bis zur Spitze, die in eine kleine, aus dem Brenner bherausbrennende Gasflamme taucht, und stösst durch die Bohrung des elektrischen Schirmes S einen Pilz heissen Gases gegen die Kugel am Ende der Elektrode e (in der Figur durch den Schirm verdeckt), und bildet, da das Rohr und die Kugel in den Schliessungsbogen einer Flasche eingeschaltet sind, einen Schluss. Der Apparat muss in einer solchen Distanz vom optischen Feldcentrum aufgestellt werden, dass das Projectil in der Zeit, die vom Durchschlagen der ersten Papierlamelle bei rbis zur Funkenauslösung verstreicht, den Weg von r bis zum optischen Feldcentrum zurücklegt.

Sitzb. d. mathem.-naturw. Cl.; CV Bd., Abth. II. a.

40

Die Vorrichtung functionirt sehr gut. Man muss jedoch berücksichtigen, dass der Vorgang der Flammenbewegung gegen die Schallfortpflanzung im Rohr sehr träge ist. Eine Verlängerung des Rohres R von 5—10 cm bewirkte z. B. eine Verschiebung des Projectilbildes um 1—2 cm, wogegen das Entfernen der Elektrodenkugel um 4—8 mm fast die doppelte Distanz des Ringes r vom Feldcentrum erforderte. Bei



Fig. 5.

den von mir empirisch ermittelten Dimensionen versagte die Vorrichtung niemals.¹ Besonders beim Mannlicher-Gewehr waren die Variationen sehr gering. Zweifellos empfiehlt sich diese Auslösung auch für das Studium der Kanonenprojectile,

Ich gebe hier anmerkungsweise die ungefähren Dimensionen des Auslösungsapparates. Distanz vom Trommelende bis zur Spitze 25 *cm*, vom Schirm bis zur Kugel 1·3 *cm*, Distanz der Auspuffspitze von der Schirmbohrung. 6 *mm*. Die Flamme muss 13 *mm* unter der Auspuffspitze ihren Brenner haben Die Entfernung der Trommel vom Feldcentrum verhält sich bei den einzelnen Projectilen und Pulversorten folgendermassen

da man die Gasflamme, wie ich mich überzeugt habe, ohne Nachtheil durch eine überall anwendbare Kerzenflamme ersetzen kann.

Die Aufstellung für die Versuche ohne Drahtgitter, welche in den Souterrainlocalitäten des Institutes untergebracht wurde, ist in Fig. 6 veranschaulicht. Die Gewehrmündung hatte einen Abstand von $2 \cdot 5 m$ vom Ring r, und dieser war rund 30 cmvom Feldcentrum entfernt. Der Spiegel S war auf einem festen Stativ angebracht und mehrfach beweglich. Die Bündel I und II sind nur in der Horizontalen getrennt, und I ist durch eine achromatische Linse L (von 5 cm Öffnung und 43 cm Brennweite) auf 1.9 m verkürzt. Die elektrische Aufstellung stimmt mit jener in Fig. 1 überein, nur ist statt der Drahtgitter der Ringapparat in dieselbe eingeschaltet.

Vor den Kugelfang ist eine Kerze k gestellt, deren Licht durch die Schirme EE von dem Spiegel und dem Antiplanet abgehalten wird. Diese Beleuchtung reicht vollständig zum genauen Zielen aus. Die Höhe des Lichtes ist so eingestellt, dass es nach jedem Schusse erlischt, indem das Projectil die Dochtspitze streift, wodurch man die photographische Platte vor zu viel falschem Licht schützt. Die Regulirung der Flamme des Auslösungsapparates ist recht heikel, doch trifft man nach einiger Übung bald das Richtige. Ich stellte diesen Apparat auf einen mit Höhentransport versehenen Kreuzsupport, wodurch es mir möglich wurde, den Ring systematisch in die richtige

Werndl, doppelt stumpfes Messingprojectil	.28•5 cm `	Distanzen vom		
Werndl, Aluminiumprojectil.	.52 cm	Feldcentrum bei		
Werndl, Messingprojectil circa 360 m/sec	.25 cm	möglichst unver-		
Mannlicher, Stahlmantelgeschoss, Schwarzpu	rückter Flammen-			
M. 1886	.34 cm	und Schirm-		
Mannlicher, rauchschwaches Pulver	.48 <i>cm</i>	stellung.		

Die Entfernung des Ringes vom Feldcentrum war in den einzelnen Fällen nicht immer gleich, so betrug sie z. B. bei einer Versuchsreihe mit rauchschwachem Pulver nicht 41, sondern über 50 *cm*. Die Variation ist bloss auf minimale Änderungen in der Distanz der Auspuffspitze von dem Schirme, auf die Art, wie die Flamme die Spitze umspült u. s. w. zurückzuführen. Sorgt man dafür, dass dieser Apparattheil nicht geändert wird, so erscheint das Projectil mit grosser Präcision an derselben Stelle des Feldes. Höhe und die entsprechenden Entfernungen vom Felde zu bringen. Zum Verschlusse des Ringes verwendete ich durch Petroleum transparent gemachtes Josephpapier, das in der Mitte einen mit Kienruss markirten Zielpunkt trug. Bei dem niedrig tragenden Militärgewehr wurde natürlich immer höher angelegt.



Fig. 6.

Man kann auch anstatt des Papiers Collodiummembranen verwenden, was den Vortheil hat, dass das Ringfeld absolut durchsichtig ist, und die Zielmarke frei in der Luft zu schweben scheint. Und endlich gelang es auch, bloss durch das Durchschiessen des offenen Ringes den Funken auszulösen, wobei ein auf einem diametral aufgespannten Faden aufgeklebtes Cartonscheibchen das Ziel bildete. Dabei muss man allerdings berücksichtigen, dass die Auslösung etwas träger, sonst aber ebenso regelmässig vor sich geht, wie mit den Verschlussmembranen, und dass man also nur nöthig hat, den Ring vom Feldcentrum etwas zu entfernen.

Die Photographie. Bei den meisten der hier beschriebenen Versuche gelangt, besonders bei scharfer Blendung, nur wenig Licht auf die photographische Platte, so dass mancherlei Kunstgriffe angewendet werden müssen, um ein durchgearbeitetes Bild zu erhalten. Die Schleussner'schen Platten haben sich hier vollkommen bewährt. Von Originalaufnahmen, welche durch 1-2 Stunden entwickelt worden waren, konnte ich noch fünffache brauchbare Linearvergrösserungen herstellen. Herr Dr. Karl Schleussner hat mir durch seine freundliche Unterstützung die Durchführung dieser Arbeit erst ermöglicht, wofür ich hier herzlich danke.

Das Entwicklungsverfahren ist in der »Süddeutschen Photographen-Zeitung« (Bd. I, Juli 1894) näher beschrieben. Hier sei nur bemerkt, dass die lange Einwirkung einer schwachen Entwicklungsflüssigkeit auf die schwach belichteten Platten sehr vollkommene Bilder lieferte.

Die schwächsten Belichtungen wurden bei den später zu beschreibenden Interferenzversuchen angewendet. Ich glaube bemerkt zu haben, dass Vorbelichtung durch das rothe Licht einer guten Dunkelkammerlaterne oder Vorwärmung (durch ein Wasserbad) die Resultate wesentlich verbesserte.

Ergebnisse der Schlierenversuche.

Schon in der ersten Mittheilung wurde dargelegt, dass mit abnehmender Projectilgeschwindigkeit die Kopfwelle dem Projectil vorauseilt, an Stärke und Krümmung abnimmt, bis sie beim Herabsinken der Projectilgeschwindigkeit auf die normale Schallgeschwindigkeit endlich verschwindet. Es schien nun interessant, bei geringen Geschwindigkeiten (ungefähr 360 m/sec) diese Verhältnisse besonders zu untersuchen. Dieselben werden durch Fig. 7, *a, b, c* (im Text) erläutert.

Bei so geringen Geschwindigkeiten finden wir das Feld ausser der schwach gekrümmten Kopfwelle von eigenthümlichen, fast geraden Verticallinien durchzogen, welche noch 70 cm vor dem Projectil und 90 cm hinter dem Projectil mit Sicherheit photographirt werden konnten. Diese Linien sind aller Wahrscheinlichkeit nach jene Schallwellen, welche der nicht ganz gleichmässigen (ruckweisen) Explosion der Pulvergase entsprechen,¹ und welche bei Gelegenheit früherer Versuche unmittelbar vor der Laufmündung nachgewiesen wurden. Fig. 7, c sieht so aus, als ob eine Welle (Kopfwelle) an einer anderen Welle (Explosionswelle) reflectirt worden wäre.² Die Frage ist nicht ohne Interesse, warum ein Analogon der gebrochenen Welle hier nicht sichtbar ist. Bei Steigerung der Projectilgeschwindigkeit rückt die Kopfwelle näher an das Projectil heran. Bei sehr spitzen Projectilen berührt der Scheitel



Fig.

der Kopfwelle aus nahe liegenden Gründen fast die Spitze des Projectils (Fig. 6, Taf. III; Fig. 4, Taf. II; Fig. 7, Taf. IV).

Auf die erste Verdichtungswelle (Kopfwelle) folgen abwechselnd Verdünnungs- und Verdichtungswellen. Was bei den älteren Aufnahmen einfach schien, erweist sich jetzt als sehr zusammengesetzt, erscheint in einen ganzen Fächer aufgelöst. Die Zahl der Zwischenwellen zwischen Kopf- und Schwanzwelle hängt von der Länge und Oberflächenbeschaffenheit des Projectils ab. Längere Projectile zeigen eine ganze Reihe von Zwischenwellen. Dreht man in ein Geschoss Rinnen ein, so geht von jeder solchen Rinne eine Welle aus. Bei einem

Vergl. die oben citirte Mittheilung von E. Mach und L. Mach.

² Man vergleiche Riemann's Ausführungen über ebene Luftwellen von endlicher Schwingungsweite.

Projectil (Fig. 5, Taf. III) war die Stahlspitze abgefeilt, und der Mantel war durch Heraustreten der Bleifüllung etwas geknittert. Von diesen wahrscheinlich spiralig angeordneten Unebenheiten gehen ganze Reihen von Zwischenwellen aus. Auch an den Aluminiumprojectilen sind solche Erscheinungen zu sehen (Fig. 1, Taf. I).

Stellt man die Blendung des Schlierenapparates so, dass das Licht der Verdichtungskopfwelle auf diese Blendung abgelenkt wird, so erscheint in dem Negativ die Kopfwelle hell ausgespart, grenzt sich aber gegen das mattgraue äussere Feld durch eine scharfe schwarze Linie ab. Bei Ocularinspection würde also die Kopfwelle, wie jeder undurchsichtige Körper, im Felde dunkel mit einer feinen hellen Linie umsäumt erscheinen. Die letztere kann nur eine Beugungserscheinung sein, welche dadurch entsteht, dass die Kopfwelle als Schirm die ins photographische Objectiv eindringende Lichtwelle begrenzt.

Die schwarze Grenzlinie erscheint an guten Bildern doppelt. Sieht man genau zu, so findet man auch den Kopf und das Ende des Projectils doppelt, wenn der Grund auf dem sie erscheinen nicht zu dunkel ist. Kurz, man hat zwei ineinandersteckende Bilder vor sich, welche sehr wenig gegeneinander verschoben sind. Es ist dies eine Folge der Dauer der Funkenbeleuchtung, beziehungsweise des zeitlichen Abstandes der am stärksten leuchtenden Oscillationen desselben. Aus dieser Bildverschiebung kann bei bekannter Projectilgeschwindigkeit die Funkendauer, beziehungsweise die Oscillationsdauer ermittelt werden. Bei sehr grossen Geschwindigkeiten, wie z. B. bei dem Aluminiumprojectil (Fig. 1, Taf. I), kann man sogar drei ineinandersteckende Bilder unterscheiden.

Das Bild eines Projectils von 620 m/sec Geschwindigkeit wies, auf natürliche Grösse reducirt, einen Abstand der Doppellinie von 0.8 mm auf, was einer Funken-, beziehungsweise Oscillationsdauer von $1/_{800000}$ Secunde entspricht. Selbst die kleine Beleuchtungsflasche von 1000 cm Capacität hat eine merkliche Entladungsdauer, und es ist gewiss zu berücksichtigen, dass die Beleuchtungszeit noch durch die nachglühenden abgerissenen Elektrodentheilchen, sowie durch die Fluorescenz des Deckglases vergrössert wird. In den schwach belichteten Feldtheilen kann letzteres Licht immer noch schwache Wirkungen ausüben.

Bei sehr aufmerksamer Betrachtung eines Negativs, namentlich eines Projectils von grösserem Kaliber, sieht man so zu sagen einen zarten hellen Streifen, der wie eine Verlängerung des Projectils aussieht, die Kopfwelle durchbrechen, und in das matte graue Feld vor der Kopfwelle hinausragen, wo sich derselbe allmälig verliert. Die Erscheinung ist wohl kaum anders als durch die an Lichtintensität sehr allmälig abnehmenden Funkenoscillationen in der eben angedeuteten Weise zu erklären. Das Projectil nimmt eben in seinen späteren Lagen in jenem Felde, welchem ohnehin sehr wenig Licht zukommt, auch von diesem noch einen beträchtlichen Bruchtheil hinweg.

Vor dem Projectilkopf liegt anscheinend eine kleine helle Scheibe, die man am natürlichsten als aus comprimirter Luft bestehend ansehen wird. Ihre Form hängt von jener des Projectilkopfes ab. Am stärksten tritt die Erscheinung, die in Fig. 8, a-d in verschiedenen Formen dargestellt ist, bei stumpfen Projectilen von hoher Geschwindigkeit auf.



Fig. 8.

Das merkwürdige Aussehen der Erscheinung bei den von Herrn Hauptmann Weigner hergestellten Projectilen (Fig. 8, d) rührt, wie ich mich überzeugt habe, von zwei Riefen her, welche die Kegel sämmtlicher Projectile trugen, und die offenbar von einer nicht genügend ausgearbeiteten Stanze herstammen. Bei Projectilen mit sehr scharfer Spitze gibt es keine Luftscheibe. Zwischen dem als Luftscheibe bezeichneten Gebilde und dem Projectil scheint sich Luft von sehr geringer Dichte zu befinden, denn dieser Raum erscheint im Bilde tief schwarz. Bei zugerundeten Geschossen, wie z. B. beim gewöhnlichen Stahlmantelgeschoss (Taf. II, 4) liegt die Scheibe unmittelbar vor dem Projectilkopf, und es ist zwischen beiden keine Verdünnung wahrzunehmen.

Bei stumpfen Projectilen findet sich hinter der Scheibe die grösste Verdünnung. An Projectilen mit scharfen Spitzen sind die scharfen Kanten, da wo der Kegel an den Cylinder stösst, von verdünnter Luft umgeben. Die Verdünnung muss hier sehr bedeutend sein, indem bei stark geblendetem Feld, so dass Kopfwelle und Projectil schon unsichtbar sind, diese Kanten mit tief schwarzen Büscheln umgeben erscheinen. Ein Projectil mit sehr langer allmälig in den Cylinder übergehende Spitze zeigt sehr schwache Verdünnungen.

Zwischen der beschriebenen Luftscheibe und einem stumpfen Projectilkopf befindet sich zuweilen noch ein dünnes Scheibchen, dessen Natur wegen der Variabilität der Erscheinung in den Bildern schwer zu ermitteln ist. Mitunter sieht dasselbe wie ein Doppelbild des Projectilkopfes aus, doch ist die verschiedene Lage und Grösse des Scheibchens mit dieser Auffassung schwer zu vereinigen.

Die Kopfwelle ist als eine stationäre Schallwelle anzusehen, welche sich aus den durch das Projectil fortwährend neu erregten Verdichtungen stets regenerirt. Sie deformirt sich nicht, wie dies eine Riemann'sche Welle von endlicher Schwingungsweite, sich selbst überlassen, thun müsste, sondern bleibt bei constanter Geschwindigkeit des Projectils beständig. Darin liegt das Hauptinteresse dieser Erscheinung für den Akustiker.

Über die Reibungsverhältnisse des Projectils erhält man Aufklärung, wenn man das Bild eines Projectils fixirt, welches eben eine Flamme eines Bunsenbrenners durchdringt. Man sieht dann, dass die Flamme fast wie ein fester Körper durchlöchert wird. Während der Durchbohrung ist eine Ausbreitung der Bewegung durch Reibung noch nicht sichtbar. Die vom Projectil ausgehenden Wellen gehen durch die Flamme hindurch und schreiten über dieselbe hinaus fort. Nur in der Flamme selbst sind diese Wellen wegen der optischen Eigenschaften der Flamme weniger deutlich. (Fig. 3, Taf. II.) Zweifellos spielt die Reibung bei der Wirbelbildung an den Projectilen eine Rolle. Bei der Form *a*, Fig. 9, sind an den Längsseiten des Projectiles ziemlich hohe Wirbelzüge zu sehen; das ist die Luft, die vom Kopf gegen das Projectilende abströmt. Mit dem Wachsen der Geschwindigkeit werden die Wirbel immer flacher, bis sie endlich bei sehr hohen Geschwindigkeiten zu einer Linie zusammenschrumpfen. Besonders gut kann man sie bei einer zur Projectilaxe parallel gestellten Blendungsschneide sehen. (Fig. 8, Taf. IV.)

Zwei Projectile von gleichem Gewicht und gleicher Pulverladung, von denen jedoch das eine rückwärts stumpf, das andere zugespitzt ist, haben nahezu dieselbe Anfangsgeschwindigkeit. Die Kopfwelle, die Zwischenwellen, aber auch die



Fig. 9.

Schwanzwellen schliessen in beiden Fällen denselben Winkel mit der Projectilaxe ein. Die Existenz der hinteren Spitze (Fig. 9, a und b) beeinflusst auch nicht den Ansatz der Wellenfächer und die Grösse des von innen eingeschlossenen Winkels. Diese beginnen immer an den Rändern mit zwei dunkleren Geraden, und brechen dann mit einer leicht grauen Grenze gegen den lichten Raum ab, doch immer so, dass die Verlängerung der Wellengrenze durch den Rand des Projectilbodens hindurchgeht. Im Falle b schmiegen sich die Fächer der Spitze an; es sind beinahe keine Wirbel im Schusscanale vorhanden. wohl aber kann man sehr gut feine Wirbel verfolgen, wie sie vom Kopfe nach den Längsseiten des Projectiles über die Spitze hinuntergleiten, um sich dann aufzulösen. Ein eigenthümliches Verhalten zeigt sich noch bei hohen Geschwindigkeiten, wie bei den Aluminiumprojectilen von ungefähr 900 m/sec. (Fig. 1, Taf. I.) Hier verengt sich der Schusscanal ziemlich rasch und verringert 7 cm hinter dem Projectil seinen ursprünglichen Durchmesser von 11 cm auf bloss 5 cm. Die Verlängerungen der inneren Grenzlinien der Wellenfächer gehen nicht mehr durch den Rand, sondern das Centrum des Projectilbodens. Die Wirbelbildung im Schusscanal ist ungewöhnlich stark (Fig. 9 c).

Aufstellung und Apparate für die Interferenzversuche.

Theilt man ein Lichtbündel in 2 beträchtlich getrennte cohärente Bündel von bedeutendem Querschnitt, welche nachher zusammengeführt interferiren, und ein Feld mit geradlinigen Interferenzstreifen darbieten, so kann eine solche Anordnung benützt werden, die Vorgänge in der Umgebung der Projectile zu untersuchen. Blitzt nämlich die Lichtquelle nur in dem Moment auf, als das Projectil sich in dem einen der beiden Bündel befindet, so erscheinen die Streifen jenes Feldes, wo dieselben in die Luftwelle eintreten, geknickt und verkrümmt. Man kann aus der Grösse der Streifenverschiebungen und aus der Weglänge in der Luftwelle auf die Grösse der Dichtenänderungen schliessen. Für diesen Zweck müssen jedoch die beiden Lichtbündel besonders grossen Querschnitt haben und weit voneinander verlaufen, und keiner der bekannten Interferenzapparate konnte verwendet werden. Es wurde deshalb ein besonderes aus vier Platten bestehendes Interferenzrefractometer construirt, welches bereits anderwärts beschrieben worden ist.¹

Das Refractometer R Fig. 10 stand auf dicken Filzunterlagen in der Schusslinie des Gewehres, und dahinter die mit Holz wohl verkleidete Panzerplatte. Auf den Planplatten und Spiegeln lag ein Dämpfer in Form eines viereckigen mit Flanell beklebten Holzrahmens. Das Licht des Funkens f wurde durch eine Linse L auf dem spaltförmigen Diaphragma Dentworfen, passirte den Interferenzapparat, um endlich vom Gruppen-Antiplanet G in einer Reihe von Bildern gesammelt

L. Mach, Akademischer Anzeiger, 1891, Nr. 22, 5. November; Über ein Interferenzrefractometer. — Diese Sitzungsberichte, Bd. CI, Abth. II. a., Jänner 1892. — Über ein Interferenzrefractometer. Ebendaselbst, Bd. CII, Abth. II. a., October 1893. — Akademischer Anzeiger, 1893, Nr. 19, S. 198.

zu werden. Durch die Blende B wurden sämmtliche Bündel abgeblendet bis auf eines, welches das erste Streifensystem enthält, und welches in das kleine Gruppen-Antiplanet A von 16 mm Öffnung und 5 cm Brennweite gelangt. Dieses entwirft von dem kreisförmigen Interferenzfelde (76 imm Durchmesser) ein kleines Bild von 4mm Durchmesser. Diese Aufstellung gestattet auch mit monochromatischem Licht zu arbeiten, indem man vor das Diaphragma ein möglichst kurzes Prisma mit gerader Durchsicht einschaltet. Recht unangenehm war es, dass ich fast nur mit Sonnenlicht die Streifen einstellen konnte. Bei der Anwendung von so intensivem Licht projicirt sich die Platte mit dem Rahmen, den Befestigungskeilen und den Streifensystemen auf einem über das Gruppen-Antiplanet gehängten Papierblatte, und es ist ungemein leicht, die Streifen horizontal oder vertical zu stellen, oder sie genau in die Mitte zu bringen, bei welch letzterer Manipulation die Befestigungskeile bequeme Marken bilden. Will man vom Sonnenlicht unabhängig sein, so muss man zwischen den beiden Elektroden mit Hilfe einer grossen Influenzmaschine oder eines Ruhmkorffs ununterbrochen Flaschenfunken springen lassen. Dieses Licht reicht jedoch keineswegs aus zur Projection der Streifen, sondern man ist vielmehr gezwungen, bei P zu beobachten, was wegen der Kleinheit des Bildes unangenehm ist, und obendrein macht die Distanz des photographischen Apparates vom Refractometer mehrere Hughes'sche Schlüssel nothwendig. Bei der Einstellung mit Sonnenlicht schiebt man genau an die Stelle der Funkenstrecke ein Blechdiaphragma, und entwirft mit Hilfe der Linse l und einem Uhrheliostaten auf demselben ein Sonnenbild. Ein nach Bedürfniss eingeschaltetes total reflectirendes Prisma T gestattet auch ein zweites Heliostatenfenster zu benützen.1 Man muss vor jedem Schuss den Streifen die entsprechende Breite und Lage ertheilen, da dieselben durch die Lufterschütterung immer etwas verschoben werden. Über Nacht können die Streifen durch starke Temperaturschwan-

¹ Der beste Ersatz für Sonnenlicht ist natürlich elektrisches Licht, doch waren die vom Gasmotor und der Lichtmaschine ausgehenden Erschütterungen selbst im Souterrain des Institutes so merklich, dass die genaue Einstellung der Interferenzstreifen Schwierigkeiten hatte.





kungen aus dem Felde gehen, stellen sich jedoch bei Rückkehr der früheren Temperatur genau wieder ein. Die elektrische Aufstellung blieb dieselbe, wie bei den Schlierenversuchen, nur wurde statt der einfachen Influenzmaschine eine solche mit vier Scheiben verwendet.

Der Auslösungsapparat erlitt eine kleine Änderung, welche ein exactes Zielen wesentlich erleichterte, was bei der Gefährlichkeit eines Fehlschusses für den kostbaren Interferenzapparat von Wichtigkeit war.

Hinter dem Holzring des Auslösungsapparates befindet sich eine kleine Kiste (Fig. 11) mit geknicktem Schlot, schwarz



Fig. 11.

ausgestrichen, und an der Rückseite mit einem Ausschnitt in der Ringgrösse versehen, welcher mit schwarzem Papier verklebt ist. In der Kiste steht eine Kerze, welche das Verschlusspapier des Auslösungsringes beleuchtet, auf dem sich ein schwarzer Zielpunkt befindet. Durch die Kopfwelle des Projectils wird bei jedem Schluss die Flamme ausgelöscht. Diese Anordnung hat neben der intensiven Beleuchtung des Ringes auch noch den Zweck, jedes falsche Licht vom Apparat auszuschliessen. Würde man das Licht, wie bei den Schlierenaufnahmen, vor den Kugelfang stellen, so würde trotz aller Abblendungen durch die vielen reflectirenden Flächen des Interferenzapparates Licht in das Objectiv A geworfen, was eine Trübung der photographischen Platte zur Folge hätte.

Der Beleuchtungsfunken bildet die grösste Schwierigkeit. Bei Beschreibung des Interferenzapparates wurde schon erwähnt, dass man (wegen der vielen nicht exact parallelen Flächen) ein reines Streifensystem nur mit einer punktförmigen Lichtquelle erhält. Die Funkenlänge, welche hier angewendet werden konnte, überstieg nun nicht 1.8 mm. Die verwendbare Lichtquantität wurde jedoch fast auf das Doppelte dadurch gesteigert, dass ein kleiner Hohlspiegel (aus einem Amici'schen Spiegelmikroskop) hinter den Beleuchtungsfunken gestellt wurde, und zwar so, dass letzterer fast in den Mittelpunkt des Spiegels, und somit das Funkenbild, unmittelbar neben den Originalfunken fiel. Dennoch musste man sich auf sehr kleine Bilder (4 mm) beschränken.

Ergebnisse der Interferenzversuche.

Ich kann nicht unterlassen, gleich hier zu bemerken, dass, so sehr sich der neue Interferenzapparat bei anderen Versuchen bewährt hat, die Ergebnisse bei den Projectilversuchen hinter den Erwartungen zurückgeblieben sind. Es liegt dies hauptsächlich an der geringen Lichtmenge, welche bei der Momentbeleuchtung in Form sehr kurzer Funken (1.8 mm) zur Verwendung kommen musste. Hiedurch war wieder die Grösse des Originalbildes (auf 4 mm) beschränkt, und bei der nothwendigen Vergrösserung dieser Bilder zum Zwecke des Studiums kam natürlich das Korn der Platte sehr bedeutend zum Vorschein.

Die meisten Bilder wurden mit weissem Licht gewonnen. Dieselben gewähren den Vortheil, dass man den Interferenzstreifen, der dem Gangunterschied Null entspricht, auch in der Photographie deutlich erkennt, und dass man denselben auch in seinen Verschiebungen und Verkrümmungen leicht verfolgen kann. Zu beiden Seiten dieses Streifens befinden sich in diesem Falle nur wenige deutliche Streifen, dann tritt eine Verwischung ein, und erst die folgenden Streifen sind wieder deutlicher. Man sieht dies an den Interferenzbildern, welche bei verschiedener Streifenrichtung (ohne Projectil) auf Tafel V dargestellt sind.

Hat man sich so über den Hauptverlauf der Streifen orientirt, so wünscht man natürlich an einem reineren Bilde, welches mit monochromatischem (einer Stelle des Funkenspectrums entsprechendem) Licht hergestellt ist, den genaueren Verlauf zu studiren. Die so gewonnenen Bilder sind aber ungemein zart und schwach, so dass dieselben durch ein besonderes Verstärkungsverfahren deutlich gemacht werden müssen. Ich sehe von denselben hier vorläufig ab. Leider bin ich erst nach Beendigung der Versuche zur Einsicht gelangt,



Fig. 12.

dass es zweckmässiger gewesen wäre, statt monochromatischer Beleuchtung des Interferenzfeldes, einfach ein Spectrum über dasselbe auszubreiten, was zwar eine etwas umständlichere Interpretation, aber einen beträchtlichen Gewinn an Lichtintensität gegenüber der monochromatischen Beleuchtung ergeben hätte.

Es soll nicht unbemerkt bleiben, dass das kleine photo-

graphische Objectiv mit der Blendung, welches das Interferenzbild aufnimmt, zugleich als Schlierenapparat wirkt, weshalb auf den Bildern eine Silhouette der Kopfwelle erscheint, welche das Streifensystem durchzieht. An manchen Stellen, so am Projectilende, greifen die Streifen über das Projectilbild über, eine Erscheinung, deren vollständige Erklärung ich hier noch nicht geben kann. Ich beschränke mich hier, da ich nun äusserer Umstände wegen diese Arbeit doch zu einem vorläufigen Abschluss bringen muss, auf einige quantitative Angaben von grösserer Sicherheit.

Fig. 12 stellt eine Vergrösserung des Projectbildes im Interferenzfelde vor. Die folgende schematische Fig. 13 ist nach verschiedenen photographischen Bildern in natürlicher Grösse entworfen. Wir denken uns z. B. 19 mm hinter dem Projectil-

627

kopf einen auf die Projectilaxe senkrechten (kreisförmigen) ebenen Schnitt durch die Kopfwelle geführt. Die Streifenverschiebung für einen Strahl, welcher in einer bestimmten Entfernung r von der Projectilaxe in diesem Schnitt verläuft,



Fig. 13.

kann unmittelbar aus der Zeichnung abgelesen werden; dieselbe hängt von r ab, mit welchem r zugleich der Weg des Strahles durch die Kopfwelle gegeben ist. Man hat nun zu bedenken, dass die Luftdichte ebenfalls von r abhängt, und dass in dem betrachteten Schnitt in jeder Kreislinie, deren Mittelpunkt in der Projectilaxe liegt, überall gleiche Dichte herrscht.

Sitzb. d. mathem.-naturw. Cl.; CV Bd., Abth. II. a.

41

Stellt also Fig. 14 jenen Kreisschnitt vor, so zerfällen wir denselben in Ringe und betrachten die jene Ringe tangirenden



Fig. 14.

Strahlen in der Ordnung von aussen nach innen.

Der eine der interferirenden Strahlen geht durchaus durch normale Luft, der andere auf dem Wege s durch Luft, welche gegen jene den Dichtenunterschied ρ darbietet. Nach dem Fresnel'schen Princip ist, wenn v die Verschiebung des Interferenzstreifensystems bedeutet,

$$s.\rho \equiv k.v$$

und nach einer früheren Entwicklung von E. Mach¹ kann für unseren Fall einfach gesetzt werden

$$s \rho \equiv 2 v$$
,

wenn s den Weg in Millimetern, ρ die Dichtenzunahme in Atmosphären und v die Verschiebung in Streifenbreiten bedeutet. Bezeichnet man nun die Werthe für die auf einander folgenden Schichten von aussen nach innen mit dem Index 1, 2, 3 so ergeben die Gleichungen.

$$s_{1}\rho_{1} \equiv 2v_{1}$$

$$s_{1}'\rho_{1} + s_{2}\rho_{2} \equiv 2v_{2}$$

$$s_{1}''\rho_{1} + s_{2}'\rho_{2} + s_{3}\rho_{3} \equiv 2v_{3}$$

wobei darauf Rücksicht genommen ist, dass die Weglängen der auf einander folgenden Strahlen durch Schichten derselben Dichte verschieden sind, wie dies Fig. 14 veranschaulicht. Diese Gleichungen können aus Fig. 13 und 14 hergestellt werden, indem die s und v unmittelbar abgelesen werden können. Dann folgt aus der ersten Gleichung ρ_1 , welches in die zweite ein-

¹ E. Mach und I. Weltrubsky, Über die Formen der Funkenwellen. Diese Sitzungsberichte, Bd. LXXVIII, Abth. II, Juli 1878.

gesetzt liefert, während beide Werthe ρ_1 , in die dritte Gleichung eingeführt ρ_3 liefern u. s. w., so dass man von aussen nach innen fortschreitend den Schichtenbau der Welle in dem betreffenden Schnitt construirt. Es ergibt sich so

	e atm		
$24 - 22 \cdot 5$	+0.166		
$22 \cdot 5 - 20 \cdot 5$	+0.20		
20.5 - 17.5	+0.1		
17.5-14	-0.035		
144	-0.085		

wobei die p natürlich nur Mittelwerthe vorstellen.

Multiplicirt man den Ringflächen der Fig. 14 proportionale Zahlen mit $1 + \rho$, und vergleicht die Summe mit einer der ganzen Schnittfläche (mit Einschluss des Projectilquerschnittes) proportionalen Zahl, so erhält man eine Vorstellung von der Gesammtwirkung des Projectils. Die Zahlen verhalten sich in unserem Falle wie 582 576 und entsprechen den Luftmassen, welche in einer dem Schnitt parallelen dünnen Schichte mit und ohne Projectil enthalten sind. Das Projectil hat also die umgebende Luft nur etwas nach aussen und vorne zusammengeschoben, ohne im Ganzen eine grosse Verdichtung zu erzeugen. Das ist ja zu erwarten, da das Projectil keine neue Luftmasse schafft, sondern nur die vorhandene verschiebt, und da zudem der Einfluss der Reibung auf die eben durchsetzte Luft, wie aus dem Schuss durch die Flamme hervorgeht, nur gering ist, entgegen der Vorstellung, die Melsens seinerzeit entwickelt hat.

Durch analoge Betrachtungen an Fig. 13 findet man in der Schwanzwelle eine Verdünnung von 0.07 Atmosphären, und unmittelbar am Projectilende ist sogar $\rho = -1$, d. h. man muss daselbst ein Vacuum annehmen. Die Verdünnung nimmt im Schusscanal mit der Entfernung vom Projectil rasch ab. In einiger Entfernung vom Projectil erhalten die Streifen ein etwas wirres Ansehen. Das Licht geht dort wahrscheinlich durch die erwärmte wirbelnde Luft des Schusscanals.

Hiemit ist das erschöpft, was sich nach meiner Meinung gegenwärtig mit einiger Sicherheit angeben lässt.

Gowebr-Art	Geschoss		Ladung		Geschwindigkeit	
Gewent-Art	Art 💥 ——> (Flugrichtung)	Gewicht	Pulversorte	Gewicht	$V_1 m/sec.$	$V_2 m/{ m sec}.$
Werndl 11 mm	Messingprojectil	18 g			503	
Werndl 11 mm	Messingprojectil	18 g			567	,
Werndl 11 mm	Messingprojectil	18 g			425	
Werndl 11 <i>mm</i>	Aluminiumprojectil	1 • 9 g			974	

Werndl 11 mm	Projectil aus Buchsbaumholz	0·7 g				
Mannlicher 8 <i>mm</i>	Österreichisches Stahlmantel- geschoss M. 1888	15·85 g	Schwarzpulver M 92.	4 g	493	530 m/.
Mannlicher 8 mm	Österreichisches Stahlmantelgeschoss M. 1888. Die Spitze abgeschnitten	13•65 g	Schwarzpulver M. 92.	4 g	518	
Mannlicher 8 <i>mm</i>	Österreichisches Stahlmantel- geschoss M. 1888	15·75 g	Rauch- schwaches Pulver	2•75 g		620 <i>m</i> /sec.
Mannlicher 8 mm	Stahlmantel- geschoss mit nach der Curve kleinsten Widerstandes geformter Spitze	15·8g	Schwarzpulver M. 92	4 g	498	530 <i>m/</i> scc.

 V_1 nach der Form der Wellengrenze geschätzt, $\,V_2$ officiell.

Erklärung der Tafeln.

Die elliptische Form des Feldes ist durch die optische Aufstellung (Trennung der Bündel in der Horizontalen) bedingt. Die ersten vier Tafeln enthalten die nicht retouchirten Reproductionen der doppelt vergrösserten Originalaufnahmen (die grosse Axe beträgt 37 *mm*). Bei der Anwendung hochempfindlicher Schleussnerplatten musste gegen $11'_{2}$ Stunden entwickelt werden.

Taf. I.

- Fig. 1. Doppelt stumpfes Aluminiumprojectil 974 *m*/sec. Blendungsschneide senkrecht zur Projectilaxe (23. December 1892).
- Fig. 2. Hinten gespitztes Messingprojectil 420 *m*/sec. Blendungsschneide senkrecht zur Projectilaxe (19. December 1892).

Taf. II.

- Fig. 3. Österreichisches Stahlmantelgeschoss 530 /sec. Blendungsschneide senkrecht zur Projectilaxe (26. December 1892).
- Fig. 4. Das Stahlmantelgeschoss inmitten eines von einem Bunsenbrenner aufsteigenden heissen Luftstromes 530 m/sec. Blendungsschneide senkrecht zur Projectilaxe (31. December 1892).

Taf. III.

- Fig. Abgestumpftes österreichisches Stahlmantelgeschoss 558 m/sec. Blendungsschneide senkrecht zur Projectilaxe (26. December 1892).
- Fig. 6. Abgestumpftes österreichisches Stahlmantelgeschoss 518 m/sec. Blendungsschneide senkrecht zur Projectilaxe (27 December 1892).

Taf. IV.

- Fig. 7. Spitzes Stahlmantelgeschoss nach Prof. August's Angaben von Herrn Hauptmann Adolf Weigner in Wien hergestellt. Die Geschwindigkeit beträgt nach der Grösse des Schwanzwellenwinkels etwa 530 m/sec. Blendungsschneide senkrecht zur Projectilaxe (1. August 1893).
- Fig. 8. Österreichisches Stahlmantelgeschoss 530 m/sec. Blendungsschneide parallel der Projectilaxe.

Taf. V.

Alle Projectile gehen von links nach rechts durch das Interferenzfele. (78 mm Durchmesser). Die Tafelreproductionen sind fünffache Linearvergrösserungen der kleinen Originalbilder blos 4 mm Durchmesser. Die Entwicklung letzterer dauerte bei der Verwendung vorbelichteter Schleussnerplatten meist gegen vier Stunden. Das Projectil wurde immer im Bündel I aufgenommen (Fig. 10 des Textes). Als Lichtquelle diente ein 1.8 mm langer zwischen stumpfen Magnesiumspitzen frei überspringender Flaschenfunken (500 cm Capacität). Der Apparat war immer so eingestellt, dass bei jeder Lage des Streifensystems die beiden tief schwarzen Streifen, zwischen denen der Gangunterschied Null liegt, genau durch das Feldcentrum verlaufen. Die Streifenverschiebung nach links bedeutet eine Verdichtung.

- Fig. 9 und 10. Stahlmantelgeschoss von $620 \text{ }m_2\text{sec.}$ Geschwindigkeit bei vertical stehendem Streifensystem (10. August 1893).
- Fig. 11. Kopf des Stahlmantelgeschosses von 620 m/sec. Geschwindigkeit bei vertical stehendem, aber etwas feinerem Streifensystem (15. August 1893).
- Fig. 12 und 14 Stahlmantelgeschoss von 620 *m*/sec. Geschwindigkeit bei schiefgelegtem Streifensystem (15. August 1893).
- Fig. 13. Das schiefgelegte Streifensystem (15. August 1893).
- Fig. 15. Schwanzpartie des Stahlmantelgeschosses von 620 m/sec. Geschwindigkeit bei vertical stehendem Streifensystem (10. August 1893).
- Fig. 16. Schwanzpartie des Stahlmantelgeschosses von 620 *m*/sec. Geschwindigkeit bei schiefgelegtem Streifensystem (10. August 1893).
- Fig. 17 Schwanzpartie des Stahlmantelgeschosses von 620 m/sec. Geschwindigkeit bei horizontal gelegtem Streifensystem (10. August 1893).

L. MACH: Versuche über Projectile.



Sitzungsberichte d. kais. Akad. d. Wiss., math. naturw Classe, Bd. CV Abth. IIa. 1896.

Å



Lichtdruck von J. Löwy, k. u. k. Hofphotograph, Wien.

Sitzungsberichte d. kais. Akad. d. Wiss., math.-naturw Classe, Bd. CV Abth. IIa. 1896.

Å,



Lichtdruck von J. Löwy, k. u. k. Hofphotograph, Wien.

Sitzungsberichte d. kais. Akad. d. Wiss., math. naturw. Classe, Bd. CV Abth. IIa. 1896.

TAFEL III.

ي. ا



Sitzungsberichte d. kais. Akad. d. Wiss., math.-naturw. Classe, Bd. CV Abth. IIa. 1896.

Ĵ.



Lichtdruck von J. Löwy, k. u. k. Hofphotograph, Wien.

Sitzungsberichte d. kais. Akad. d. Wiss., math.-naturw. Classe, Bd. CV. Abth. IIa. 1896.

Å

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: <u>Sitzungsberichte der Akademie der</u> Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1896

Band/Volume: 105_2a

Autor(en)/Author(s): Mach Ludwig

Artikel/Article: Weitere Versuche über Projectile 605-631