

Aus dem Ballistischen Institut der Luftkriegsakademie Berlin-Gatow.

Beschuß von Drähten und Panzerplatten.

Von Prof. Dr. Ing. **HUBERT SCHARDIN**
unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. **W. STRUTH.**

(Mit 9 Abbildungen).

Um das deutsche Infanteriegeschöß (s.S.-Geschöß) beim freien Flug mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 785 m/s im Lauffilm verfolgen zu können, muß man mindestens verlangen, daß ein Bild nach dem anderen mit einem solchen zeitlichen Abstand aufgenommen wird, daß innerhalb desselben die Fortbewegung des Geschosses nicht mehr als eine Geschößlänge betragen hat. Um die Geschößlänge von 35,3 mm bewegt es sich in $\frac{0,0353}{785} = \frac{1}{22\ 200}$ Sekunden, dementsprechend wäre unter dieser Voraussetzung die Aufnahmebildfrequenz 22 200 in der Sekunde; sicherlich wird aber allein schon beim freien Flug des Geschosses ein Mehrfaches dieser Frequenz als wünschenswert erscheinen, um einen ruhigen Eindruck der Bewegung zu erhalten.

Wenn man nun aber mit Hilfe des Filmes ein anschauliches Bild von den Vorgängen gewinnen will, die sich z. B. beim Beschuß von Panzerplatten abspielen, so interessiert ja gerade das, was in der Zeit vorgeht, in der beim freien Flug das Geschöß sich um eine Geschößlänge fortbewegt haben würde. Ein Ausfüllen dieses Zeitraumes mit 10 Einzelbildern ergäbe eine Bildfrequenz von rund 250 000 in der Sekunde.

So sind auch die in diesem Film gezeigten Beschüsse von Drähten und Panzerplatten mit Bildfrequenzen bis zu 250 000/s aufgenommen worden. Um zu verstehen, wie es möglich war, so hohe Bildfrequenzen zu erreichen, sei zunächst einiges über die Aufnahmeapparatur gesagt.

Die Aufnahmeapparatur.

Mit mechanischen Zeitlupen, deren Bilder das Normalformat 18×24 mm haben, ist es nur möglich, eine Aufnahmefrequenz bis etwa 2000 in der Sekunde zu erreichen. Für eine höhere sekundliche Bildzahl muß man das Bildfeld unterteilen. Wenn es auch mit den neuzeitlichen mechanischen Zeitdehnern nicht unmöglich ist, Bildzahlen in der Größenordnung von 100 000 in der Sekunde zu erreichen, so ist es doch fraglich, ob das dann notgedrungen kleine Bildformat (etwa 1×1 mm) und die Bildschärfe ausreichen, um Einzelheiten wiederzugeben, auf die es bei den vorliegenden ballistischen Untersuchungen ankommt. Außerdem hätten diese Aufnahmen den Nachteil, daß nicht alle Teile eines Bildes zum gleichen Zeitpunkt belichtet werden.

Schon von ERNST MACH ist zur Photographie ballistischer Vorgänge der elektrische Funke verwendet worden. Seine diesbezüglichen Arbeiten sind von C. CRANZ weitergeführt und vervollständigt worden. Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen entwickelte dieser den sog. „ballistischen Kinematographen“: eine Hochfrequenzmaschine von 2500 Hertz speist einen Resonanztransformator, dessen Sekundärseite ein Kondensator und eine Funkenstrecke parallel geschaltet sind. Bei geeigneter Einstellung erhält man in jedem Wechsel einen Funken, also 5000 in der Sekunde. Diese dienen zur Beleuchtung des aufzunehmenden Vorganges. Der photographische Film, auf dem der Vorgang mit Hilfe eines Objektivs abgebildet wird, muß sich so schnell bewegen, daß jedes Bild auf unbelichteten Film fällt. Mit dieser Apparatur sind vor dem Kriege von CRANZ und seinen damaligen Mitarbeitern eine Reihe von Aufnahmen durchgeführt worden, die in einem „ballistischen Film“ zusammengestellt wurden.

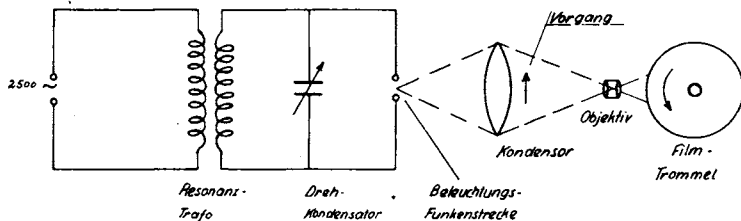


Abb. 1. Ballistischer Kinematograph nach C. CRANZ.

Der Hochschulfilm C 96 ist mit der gleichen Apparatur aufgenommen worden.

Zur Untersuchung von Durchschußvorgängen reicht allerdings, wie auf Grund der eingangs angestellten Betrachtung hervorgeht, die Bildfrequenz dieses „ballistischen Kinematographen“ nicht aus. Bereits vor dem Kriege gelangten CRANZ und GLATZEL mit Hilfe von Gleichstrom-Löschfunken zu einer Funkenfolge von 100 000 pro Sekunde. Die Helligkeit der Funken war allerdings nicht sehr groß und infolge der nicht genügend schnellen Bewegung des Filmes war die Bildhöhe auf 1,8 mm begrenzt, so daß diese Methode bis jetzt ohne Bedeutung geblieben ist.

Um die für unsere Untersuchungen notwendigen Bildfrequenzen zu erreichen, muß man auf die kontinuierliche Funkenfolge verzichten, d. h. sich mit einer beschränkten Anzahl von Teilbildern begnügen und dafür sorgen, daß die Apparatur ohne bewegten Film arbeitet. Man erreicht das mit der 1927/28 von C. CRANZ und H. SCHARDIN entwickelten Methode.

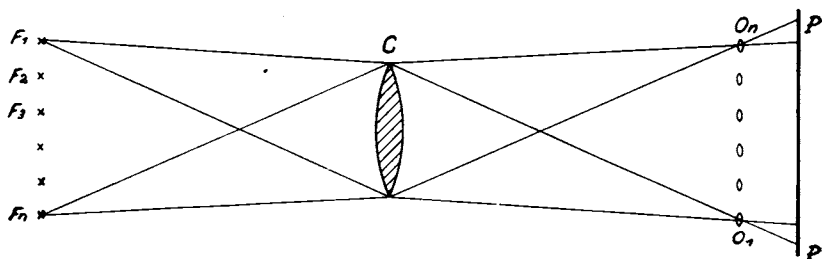


Abb. 2. Prinzipielle Anordnung der Hochfrequenzapparatur nach CRANZ-SCHARDIN.

Die Abb. 2 zeigt die prinzipielle Anordnung derselben. F_1 bis F_n sind n Funkenstrecken, die zeitlich nacheinander springen. Das Licht jedes Funkens beleuchtet den Vorgang und wird mit Hilfe der Linse C in einem der Objektive O_1 bis O_n vereinigt. Die Objektive O_1 bis O_n wiederum bilden den Vorgang auf der Platte P ab. Auf diese Weise erhält man von diesem n zeitlich aufeinanderfolgende Bilder. Die Aufgabe der zeitlich geregelten Aufeinanderfolge der Funken F_1 bis F_n wird rein elektrisch mit Hilfe einer Spezialschaltung nach Abb. 3 gelöst.

C_1 bis C_{2n} sind Kondensatoren, die auf eine Spannung von 20 000 bis 40 000 Volt aufgeladen sind. Mit dem Beginn des zu untersuchenden Vorganges wird der Kondensator C_1 über die Auslösefunkenstrecke F_0 entladen. In dem Augenblick herrscht an der Funkenstrecke F_1 eine Spannung, so daß diese überschlägt und das erste Bild belichtet. Damit wird dann der Kondensator C_2 entladen. Darauf erfolgt, zeitlich durch die Induktivität L_1 verzögert, die Entladung von C_3 und infolge davon wieder das Springen des zweiten Beleuchtungsfunkens F_2 .

So läuft die Entladung durch die ganze Schaltung, und in einem durch passende Wahl der Induktivitäten regelbaren zeitlichen Abstand springen nacheinander die Beleuchtungsfunken F_1 bis F_n .

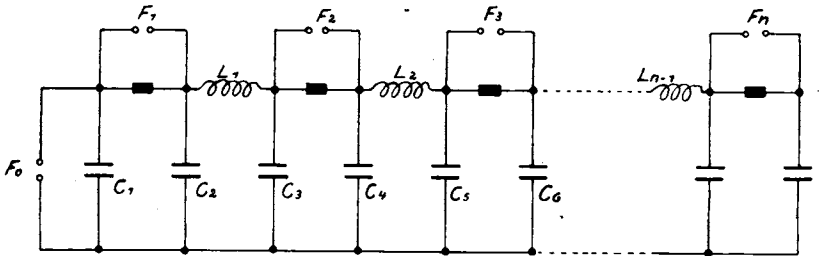


Abb. 3. Schaltbild für die Beleuchtungsfunken der Hochfrequenzapparatur nach CRANZ-SCHARDIN.

Selbstverständlich können die Funkenstrecken sowohl neben- als auch übereinander angeordnet sein. Die Apparatur, mit der der vorliegende Film aufgenommen worden ist, bestand aus 24 Beleuchtungsfunken; sie liefert also 24 Bilder eines Vorganges. Würden diese Bilder als Lauffilm mit einer Frequenz von 16 Bildern in der Sekunde wiedergegeben werden, so wären sie in 1,5 Sekunden abgelaufen. Es hat sich gezeigt, daß man noch sehr gut den Eindruck einer gleichmäßigen Bewegung empfindet, wenn jedes Bild zweimal erscheint. Dann läuft der Vorgang in 3 Sekunden ab. Diese 3 Sekunden genügen, wie der Film beweist, vollauf zum Erfassen der aufgenommenen Vorgänge.

Damit das Auge den eigentlichen Vorgang noch besser verfolgen kann, sind das erste und das letzte Bild mehrmals kopiert.

Die Bildfrequenz, die mit der beschriebenen Apparatur nach CRANZ-SCHARDIN erreichbar ist, liegt ungefähr in den Grenzen von 5000 bis 10 Millionen pro Sekunde.

Für eine Frequenz von 5000 Hertz müssen die Induktivitäten Werte von etwa 0,8 Henry haben, bei der höchsten Frequenz von 10 Millionen sind sie kurz geschlossen.

Die Aufnahmen.

Der vorliegende Film ist der erste mit derart hohen Aufnahme-frequenzen. Dementsprechend dürfen noch nicht allzugroße Anforderungen an die Güte der Filmstreifen gestellt werden. Auch ist die Auswahl der gezeigten Vorgänge eine mehr oder weniger zufällige. Es ist geplant, eine Reihe von weiteren Filmen folgen zu lassen, die in systematischer Weise verschiedene ballistische Vorgänge veranschaulichen.

Der Film zeigt zunächst das Durchschießen von Drähten. Solche Aufnahmen können eine unmittelbar praktische Bedeutung

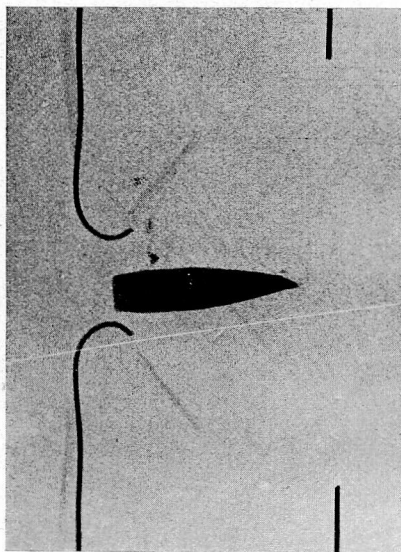


Abb. 4. Schuß mit s.S.-Geschoß durch einen 1 mm starken Stahldraht (Bild Nr. 9 des betr. Filmstreifens). Nur die durchschossenen Drahtenden sind umgebogen, der übrige Draht ist noch in Ruhe. Das Geschoß ist fast unversehrt geblieben.

haben. Mehrere Geschößgeschwindigkeitsmesser arbeiten z. B. mit Stromöffnen infolge Durchreißen von Drähten. Es interessiert, bei welcher Lage des Geschosses die Stromunterbrechung

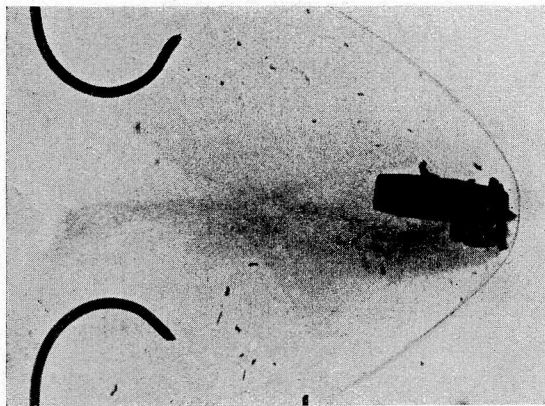
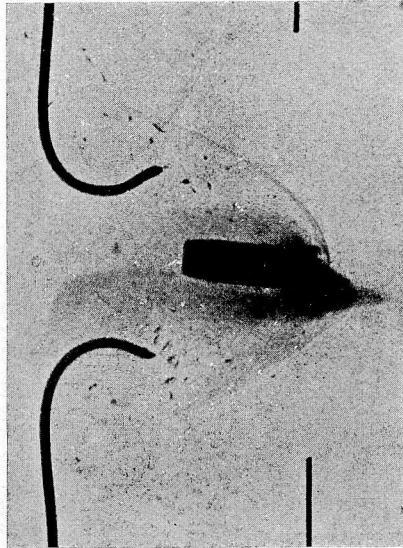


Abb. 5a und 5b: Schuß mit s.S.-Geschöß durch einen 2 mm starken Stahldraht. (Bild Nr. 10 und 16 des betr. Filmstreifens). Die Geschößspitze ist beim Durchschuß stark beschädigt, die schwarze Wolke hinter dem Geschöß besteht aus zerstäubtem Geschößmaterial.

erfolgt. Oder man möchte wissen, wie der Flug eines Geschosses beeinflusst wird, wenn in der Nähe der Mündung Zweige, Grashalme u. dgl. getroffen werden.

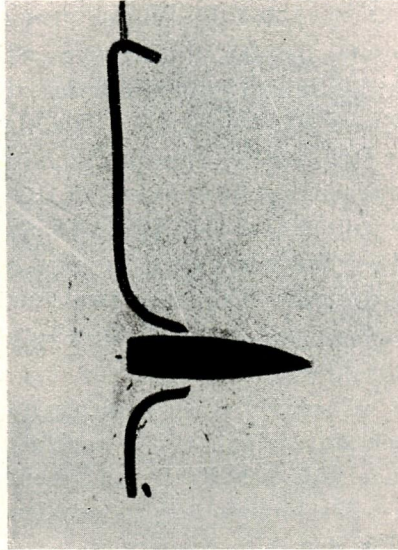


Abb. 6.
Schuß durch einen frei aufgehängten 2 mm starken Stahldraht. (Bild Nr. 8 des betr. Filmstreifens).

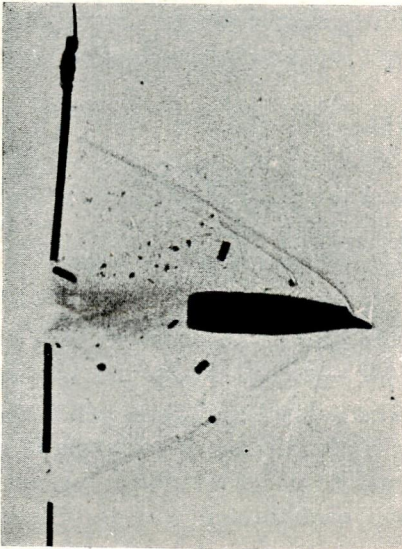


Abb. 7.
Schuß durch einen frei aufgehängten glasharten Stahldraht eines Benschgitters. (Bild Nr. 11 des betr. Filmstreifens.)

Die gezeigten Drahtbeschüsse verfolgen jedoch im wesentlichen einen anderen Zweck; sie sollen zeigen, wie anders bei hohen Geschwindigkeiten und großen Kräften und demzufolge in extrem kurzen Zeiten der mechanische Ablauf der Vorgänge ist, als man es sonst aus der Mechanik her gewöhnt ist.

Die ersten beiden Bildstreifen (Schuß mit s.S.-Geschoß durch 1 bzw. 2 mm starken Stahldraht) veranschaulichen, welche Rolle die Massenträgheit spielt. Die starke elastische Kräfte bedingende Deformation der durchschossenen Drahtenden wird gegen die Massenträgheit des übrigen Drahtes ausgeführt. — Normalerweise müßte man den Draht in einen Schraubstock einspannen, um diese Formänderung zu erreichen. — Die Deformation läuft dann wie eine Welle den Draht entlang.

Führt man denselben Versuch mit einem sehr stark gehärteten Stahldraht durch (wie er für das sog. Bensberggitter verwandt wird), so scheint er sich überhaupt nicht zu bewegen. Er wird einfach durchstanzt. Die geringen, bis zur Bruchgrenze möglichen elastischen Kräfte genügen nicht, der Drahtmasse eine solche Beschleunigung zu erteilen, daß innerhalb der kurzen Zeit, die der Film wiedergibt, eine sichtbare Bewegung zustande kommt.

Noch verblüffender wirken diese Erscheinungen, wenn man die Aufnahmen des Durchschusses an frei aufgehängten Drähten wiederholt.

Wird beim Schuß durch Drähte das Geschoß zum Teil schon stark beschädigt (bei der Bildreihe 2 löst sich die Spitze vom Geschoß ab, siehe Abb. 5), so kann ein Schuß auf eine Panzerplatte zur vollständigen Verflüssigung und teilweisen Verdampfung des Bleis und Zerfetzung des Stahlmantels führen.

Der Film zeigt zunächst den Schuß durch eine sehr dünne Aluminiumfolie, das Geschoß bleibt hierbei natürlich unversehrt.

Ein 1,5 mm starkes Blech aus weichem Eisen beschädigt das Geschoß bereits. Die Spitze wird eingedrückt. Das dabei herausgequetschte Blei bildet eine Wolke hinter dem Geschoß. Zertrümmertes Material, insbesondere der Eisenplatte, breitet sich trichterförmig nach vorne und nach hinten von der Einschußstelle aus.

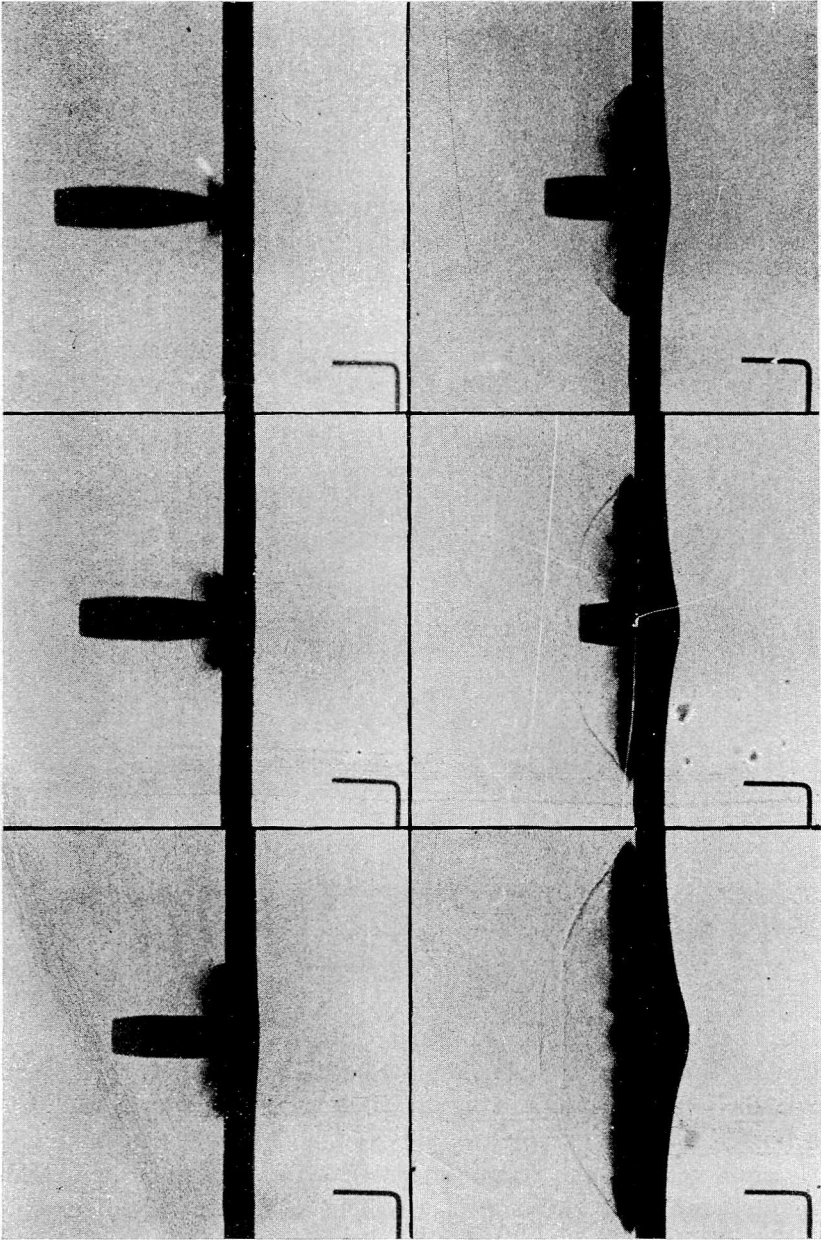


Abb. 8a—8f. 6 aufeinanderfolgende Bilder des Schusses mit einem s.S.-Geschoß auf eine 5 mm starke Panzerplatte. Das Geschoß löst sich auf; die Platte wird eingeeult, ohne jedoch durchschlagen zu werden.

Beim Auftreffen eines s.S.-Geschosses auf eine 5 mm starke Panzerplatte wird es vollkommen zertrümmert. Das Blei geht offenbar sofort zu einem Teil in Dampfform über und breitet sich längs der Platte mit einer Geschwindigkeit aus, die wesentlich größer als die Geschößgeschwindigkeit ist. Es erfolgt eine so starke Expansion des Bleidampfes, daß sich eine Knallwelle ausbildet. Der ganze Vorgang wirkt also wie eine Explosion. Aber auch die Panzerplatte wird beansprucht; sie erfährt je nach ihrer Stärke eine Ausbeulung, die z. T. elastisch ist und wieder zurückgeht, z. T. reißt sie aber auf.

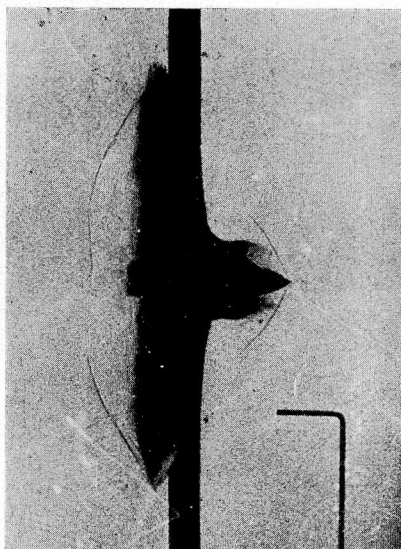


Abb. 9. Schuß mit S.m.K.-Geschöß auf eine 5 mm starke Panzerplatte. Sie wird vom Stahlkern durchschlagen. Die Rückseite der Platte bietet dasselbe Bild wie Abb. 8a—8f.

Den Schluß des Filmes bilden Panzerbeschüsse mit S.m.K.-Geschossen. Diese haben einen Stahlkern, der natürlich nicht wie das Blei verdampfen kann. Daher werden von S.m.K.-Geschossen noch Panzerplatten durchschlagen, an denen das s.-S.-Geschöß vollkommen zertrümmert wird. Das zwischen dem Stahlmantel und dem Stahlkern befindliche Blei soll vor allem eine weiche Hülle zum Zweck des Einpressens des Geschosses in die Züge bilden. Es fragt sich, ob der Bleimantel auch günstig auf

den Panzerdurchschuß wirkt. Die Filmaufnahmen unterscheiden sich nur wenig von den Aufnahmen des s.S.-Geschosses. In beiden Fällen breitet sich das Blei mit großer Geschwindigkeit längs der Platte aus. Es wäre denkbar, daß das Blei infolge seiner Massenträgheit sich wie ein straffer Gürtel um den Stahlkern legt und dadurch ein vorzeitiges Zerschneiden desselben verhindert. So erklärt man sich nach CRANZ die panzerbrechende Wirkung der Kappengeschosse.

Die Hochfrequenzkinematographie ist ein unentbehrliches Hilfsmittel, um solche und ähnliche Fragen zu untersuchen. Sie ist in der Lage, zum Teil unmittelbar von der militärischen Praxis gestellte Aufgaben zu lösen, zum anderen Teil führt sie uns in ein bisher wenig erforschtes Gebiet der Physik hinein: das der kurzen Zeiten und hohen Drücke. Es ist zu erwarten, daß die gewonnenen, zunächst rein wissenschaftlichen Erkenntnisse dazu beitragen werden, die deutsche Wehrkraft zu erhöhen. Die Hochfrequenzaufnahmen zu dem Film wurden im ballistischen Institut an der Luftkriegsakademie von Herrn Dipl.-Ing. STRUTH durchgeführt. Ich möchte ihm auch an dieser Stelle hierfür herzlich danken.

Schrifttum:

- C. CRANZ: Lehrbuch der Ballistik, Bd. I—III und Ergänzungsband. Verlag Springer, Berlin.
- C. CRANZ u. H. SCHARDIN: Kinematographie auf ruhendem Film und mit extrem hoher Bildfrequenz. Ztschr. f. Physik 56 (1929), S. 147—183.
- H. SCHARDIN: Die Grenzen der Hochfrequenzkinematographie. Die Kinetik 14 (1932), Seite 41—45.
- C. CRANZ und H. SCHARDIN: Fortschritte auf dem Gebiet der Hochfrequenzkinematographie. Ztschr. V.D.I. 79 (1935), Seite 1075—1079.

