

UNTERSUCHUNGSMETHODEN

FÜR

SPRENGSTOFFE

VON

DIRECTOR C. E. BICHEL.

MIT 14 TEXTABBILDUNGEN UND EINER FARBIGEN TAFEL.



BERLIN

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN

GROPIUSSCHE BUCH- UND KUNSTHANDLUNG.

1902



II 268

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305732

UNTERSUCHUNGSMETHODEN

FÜR

SPRENGSTOFFE

VON

DIRECTOR C. E. BICHEL.

MIT 14 TEXTABBILDUNGEN UND EINER FARBIGEN TAFEL.



BERLIN

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN

GROPIUS'SCHE BUCH- UND KUNSTHANDLUNG.

1902.



II 268

Nachdruck verboten.

Sonderdruck aus der Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinen-Wesen im Preußischen Staate,
Jahrgang 1902.

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW**

III 33150

Akc. Nr. 2818/49

Untersuchungsmethoden für Sprengstoffe.

Bis vor ungefähr 15 Jahren waren die im Bergbau üblichen und fast allein herrschenden Sprengstoffe das Sprengpulver und das Dynamit. Mit der Erkenntniß der Schlagwettergefährlichkeit dieser Stoffe trat hierin eine große Aenderung ein. Heute ist das Sprengpulver aus dem Kohlenbergbau, soweit er von Schlagwettern bedroht wird, fast ganz und aus der Steinbruch-Industrie vielfach verdrängt worden. Das Dynamit hat sich verhältnißmäßig besser behauptet, jedoch hat es überall da, wo gefährlicher Kohlenstaub und Schlagwetter sich zeigen, gleichfalls weichen müssen. An die Stelle von Pulver und Dynamit traten neue Sprengstoffe, sogenannte „Schlagwetter-Sicherheits Sprengstoffe“. Wo man früher eine weichere Kohle oder ein Gestein in größeren Stücken zu gewinnen hatte, nahm man Sprengpulver. Wo das letztere wegen der Härte der Kohle oder des Gesteins oder wegen der Höhe der Bohrkosten nicht kräftig genug war, wendete man Dynamit an. Seit Erkenntniß der Gefahren der Schießarbeit in Schlagwettergruben trat ein ganz neuer Gesichtspunkt auf, welchem Rechnung getragen werden mußte, die Sicherheit des Sprengens bei Gegenwart von Schlagwettern und Kohlenstaub.

Die erhöhten Ansprüche, welche in Folge dieser Veränderungen an die erfinderische Thätigkeit der Industrie gestellt wurden, veranlaßten eine eingehendere Beschäftigung mit dem Wesen der Sprengstoffe und den Erscheinungen bei ihrer Umsetzung, als sie diesen bisher zu Theil geworden war.

Die Sprengstoff A.-G. Carbonit widmete sich auf ihrer Fabrik in Schlebusch ganz besonders der Aufgabe, zu untersuchen, weshalb eine kleinere Menge des einen Sprengstoffes Schlagwetter zündete als die eines anderen, welche Erscheinungen und Einflüsse dabei auftreten, und wie solche zusammenwirken.

Zur Lösung dieser Frage wurde eine Anzahl neuer Apparate erdacht und gebaut und eine große Reihe von Versuchen gemacht, welche in den letzten acht Jahren stattfanden. Von der Benutzung der Ergebnisse der theoretischen Behandlung des Gegenstandes nach dem Vorbilde der französischen Wissenschaft und von einer Weiterführung dieser Behandlung unter Hinzuziehung der Frage der Schlagwetersicherheit wurde von vorneherein abgesehen, dahingegen fast ausschließlich der Weg der Versuche beschritten und inne gehalten. Bei der theoretischen Behandlung ist man gezwungen Voraussetzungen zu machen und Gesetze anzuwenden, deren Gültigkeit für die in Frage kommenden Drucke und Temperaturen vielfach nicht als zulässig anerkannt ist. Außerdem aber empfahl die theoretische Behandlung sich schon deshalb nicht, weil den Fabrikanten vor Allem daran liegen mußte, nach Klarstellung der Erscheinungen und ihres Zusammenhanges durch den Versuch die erlangte Kenntniß zur Herstellung neuer und nachweislich besserer Sprengstoffe zu benutzen. Das aber ließ sich am Besten durch Versuche mit größeren Mengen unter Vornahme von Veränderungen in der Zusammensetzung des Sprengstoffes und unter Beobachtung ihres Einflusses auf die in Frage kommenden Erscheinungen bewerkstelligen.

Die bei diesen Arbeiten zur Durchführung gebrachten Untersuchungsarten und die dabei verwendeten Apparate, sowie die den Untersuchungen zu Grunde gelegten von der Sprengstoff A.-G. Carbonit hergestellten Sprengstoffe sollen hier beschrieben werden. Hinzugezogen sei von fremden Sprengstoffen noch das Sprengpulver wegen seiner besonderen Wirkungsweise und seines Verhaltens gegen Schlagwetter.

Da die Zwecke und Ziele dieser Versuche ohne Kenntniß des gegenwärtigen Standes der Frage der Sprengstoffe und der Schlagwetter nicht ohne Weiteres verständlich sind, so sei hierüber eine kurze Darstellung unter Beschränkung auf die deutschen und englischen Verhältnisse vorausgeschickt.

I. Allgemeines über Wirkung und Schlagwettersicherheit von Sprengstoffen.

Durch die Thätigkeit der Schlagwettercommissionen und genossenschaftlichen Versuchsanstalten weiß man jetzt, daß alle bekannten Sprengstoffe, wenn sie in genügend großer Menge angewendet werden, Schlagwetter und Kohlenstaub zünden und zur Explosion bringen. Nur die zur Zündung erforderliche Menge des Sprengstoffes bildet den Unterschied in der Gefährlichkeit der verschiedenen Sprengstoffe. Dieser ist aber so groß, daß z. B. Schwarzpulver, Sprenggelatine, Gelatinedynamit und Guhrdynamit mit 5 g dieselbe Mischung Schlagwetter und Kohlenstaub zünden, welche von beispielsweise 1000 g Kohlencarbonit und mehr noch nicht gezündet wird. Für die Sicherheit des Bergmanns muß man nach dieser Erkenntniß die noch ohne Gefahr zulässige Menge des Sprengstoffes bestimmen, wobei man indessen mit Rücksicht auf die Strenge des Prüfungsverfahrens nicht gar zu engherzig zu sein braucht. Allgemein wird in Deutschland jetzt aus Stahlmörsern ohne Anwendung von Besatz, wie solcher sonst im Bergbau regelmäßig zur Verdämmung des Schusses in Anwendung kommt, in ein Gemisch von Gas und Luft mit beigemengtem Kohlenstaub hineingeschossen, so daß die Explosionsflamme des Sprengstoffes in dies Gemisch hineingeschleudert wird und nothgedrungen mit diesem in innige Berührung treten muß. In England dagegen besetzt man bei der Untersuchung die Schüsse sorgfältig. Dadurch wird bewirkt, daß nur die Flamme derjenigen Sprengstoffe mit dem zu zündenden Gemisch in Berührung kommt, welche entweder eine so große und so lang dauernde Zündflamme besitzen, daß sie nach dem Herausdrängen des Besatzes noch mit dem Schlagwettergemisch in Berührung kommen, wie z. B. Schwarzpulver und ähnlich langsam detonirende Sprengstoffe, oder welche so große Detonationsgeschwindigkeiten aufweisen, daß sie den Besatz heftig heraus schleudern und das Zündgemisch noch ereilen, ehe die Explosionsgase hinreichend abgekühlt sind. Letzteres ist z. B. der Fall bei Sprenggelatine und ähnlichen Stoffen. Es kann nicht Wunder nehmen, daß bei grundsätzlich so verschiedenen Prüfungsarten in beiden Ländern auch die Ergebnisse sehr verschieden sind. In Deutschland nimmt man im Anschluß an die Bedürfnisse des Bergbaues eine Sicherheit von 300 bis 350 g als mindestens erforderlich an. Diesem Anspruche würden von den in England als sicher anerkannten und auf der „special-list“ zugelassenen Sprengstoffen nur wenige entsprechen. Man verlangt in England ferner, daß die Detonation der Sprengstoffe gesichert sei, daß also eine unvollkommene Umsetzung nicht eintrete. Nun werden aber Ammoniakalpetersprengstoffe bei unvollkommener Umsetzung nicht zündgefährlicher, vielmehr zumeist sicherer, während Nitroglycerinsprengstoffe bei unvollkommener Umsetzung zumeist mit einer großen Stichflamme ausbrennen und gefährlicher werden. Die Englische Untersuchung behandelt beide Arten Sprengstoffe, als ob für sie die Wirkung der unvollkommenen Umsetzung die gleiche wäre. In Deutschland legt man auf diesen Punkt weniger Werth, wohl mit Berücksichtigung des Umstandes, daß fast alle Schüsse heut zu Tage von besonderen Schießmeistern weggethan werden, welchen man eine gute Besetzung des Bohrloches wohl zutrauen kann. Weiter wendet man in England einen sehr geringen Querschnitt der Versuchsstrecke an, eine Erschwerung, die durch den Umstand noch verschärft wird, daß 15 pCt. Leuchtgas zur Anwendung kommen, während man in Deutschland sich mit 7 bis 9 pCt. Grubengas begnügt. Daß nur Mengen, welche in ihrer Wirkung derjenigen von 112 g Guhrdynamit gleichkommen, in Woolwich angewendet werden, zeigt, daß man der Erfahrung keinen Werth beilegt, wonach gerade die Menge der Sprengstoffe den Unterschied in der Gefährlichkeit ausmacht. Die angewendete Menge erscheint aber auch für die Bedürfnisse des Bergbaues in England etwas gering bemessen.

Die Herstellung neuer Sprengstoffe paßte sich diesen Prüfungsarten und ihren Ansprüchen an. Es entstanden Sicherheitssprengstoffe mit Nitroglycerin (wie Kohlencarbonit und ähnliche Zusammensetzungen) oder Ammonsalpeter (Roburit, Dahmenit, Westfalit, Köln-Rottweiler Sicherheitssprengpulver,

Progressit und andere), oder schließlich Ammonsalpeter und einer geringen Beimengung von Nitroglycerin (Ammoncarbonit, Donarit) als Grundlage. Die Nitroglycerinsprengstoffe zeigen den Vortheil der großen Dichte, der gesicherten Detonation und der Haltbarkeit gegen den Angriff der Feuchtigkeit, während der Ammoniaksalpeter sich wegen der großen Wasserbildung bei der Detonation (vergl. Tabelle II, S. 23) zur Verwendung in Sicherheitssprengstoffen sehr eignet, aber den Nachtheil der geringen Dichte und der Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeit, sowie der unregelmäßigen Detonation aufweist. Die Hinzufügung einer geringen Menge Nitroglycerin zu Ammonsalpetersprengstoffen bezweckt den Ausgleich dieser Vor- und Nachtheile, doch lassen sich auch schon durch die Fabrikationsmethoden die Schwierigkeiten bei der Verwendung von Ammonsalpeter mildern.

Für Sicherheitssprengstoffe besteht in Deutschland die Vorschrift, daß deren Zusammensetzung in den Behältern bei den Lieferungen angegeben sein muß. Diese Maßregel erleichtert den Aufsichtsbeamten ihre Aufgabe ganz wesentlich.

Zwischen dem Nitroglycerin und dem Ammonsalpeter als Grundlage von Sicherheitssprengstoffen hat sich ein Kampf entwickelt, der vielleicht mit einer Vereinigung von beiden enden wird. Das Nitroglycerin bietet durch seine flüssige Form und seine größere Dichte in der Verwendung zu Sprengstoffen die Vortheile der Plasticität und der besseren Wirkung in Folge der vollkommeneren Ausfüllung eines geringeren Raumes.

Ammonsalpetersprengstoffe sind gegen Feuer, Schlag und Stoß sehr unempfindlich, so daß sie auf Deutschen Bahnen zur Beförderung als Stückgut zugelassen sind, dagegen machen sie die Sprengstoffe so leicht, daß ihre Wirkung bedeutend schwächer als die der Nitroglycerinsprengstoffe ist; deshalb sind sie nur da, wo die Bohrkosten weniger ins Gewicht fallen, und in weicherem Gebirge zu verwenden. In härterem Gestein kann man nicht genug Ammoniaksalpetersprengstoff einbringen, da ein gewisser Theil des Bohrloches für den Besatz übrig bleiben muß und der Schwerpunkt der Ladung zu weit nach der Mündung des Bohrloches rücken würde. Es gibt Fälle, wo Ammoniaksalpetersprengstoffe die gestellte Aufgabe deshalb überhaupt nicht zu lösen vermögen, während Nitroglycerinsprengstoffe sich sehr gut bewähren.

Für Sicherheitssprengstoffe ist es bisher nicht gelungen, mehr als etwa 30 pCt. Nitroglycerin anzuwenden, weil bei höheren Zusätzen die Sicherheit stark herabgeht. Es besteht bei Sicherheitssprengstoffen nämlich ein festes Verhältniß zwischen Schlagwettersicherheit und Wirkungsgröße. Verstärkt man letztere, so nimmt erstere ab und umgekehrt. Es läßt sich aus gegebenem Rohstoff durch Versuche ein günstigstes Verhältniß nach beiden Richtungen, stärkste Wirkung und größte Sicherheit, ermitteln. Die Unterlagen für die Beurtheilung des Erreichbaren in dieser Richtung zu gewinnen und daraus neue Sprengstoffe zu entwickeln, war der Zweck der hier mitzutheilenden Messungen.

Wenn ein Sprengstoff detonirt, so bilden die dabei entstehenden festen flüssigen und gasförmigen Zersetzungsproducte die in Bewegung gesetzte Masse. Ihr wird durch die dabei erfolgende Wärmeentwicklung eine Temperaturerhöhung zu Theil, welche in dem gasförmigen Theile der Verbrennungsproducte einen gewissen Druck erzeugt, der je nach der Detonationsgeschwindigkeit schneller oder langsamer zu Stande kommt. Die Detonation verleiht der Masse eine Beschleunigung, welche sich als Stoßkraft auf die umgebenden Wandungen äußert. Wird hierbei eine Zertrümmerung des Bohrloches und eine Erweiterung des von dem Sprengstoff ursprünglich eingenommenen Raumes herbeigeführt, so können die schon in der Abkühlung begriffenen Gase immer noch einen gewissen Druck auf die umgebenden Wandungen ausüben. Für die Schlagwettersicherheit kommt noch die Zeit in Frage, innerhalb welcher sich die Temperaturerhöhung vollzieht und die Größe der Oberfläche der noch nicht abgekühlten Schwaden. Schießt man Sprengstoff aus einem Mörser, so bilden diese Schwaden einen Kegel, dessen Höhe das Maß für die Flammenlänge ist.

Die Quelle aller bei der Explosion auftretenden Erscheinungen und Eigenschaften von Sprengstoffen ist ihre chemische Zusammensetzung. Deshalb ist auch diese in der Tabelle I (S. 22), welche die Zusammenstellung der wichtigsten Erscheinungen und Eigenschaften enthält, vorangestellt. Nicht ohne

Bedeutung ist ferner die Darstellungsweise, die innige Mischung, Reinheit der Ausgangsstoffe und zweckentsprechende mechanische Behandlung, Patronirung und Verpackung. Doch sind dies Dinge, welche jede Fabrik bis zur größtmöglichen Vollkommenheit zu bringen suchen muß, die sich in ihrer Gesamtheit sehr fühlbar machen, jedoch nicht meßbar sind und sich deshalb auch der ziffernmäßigen Behandlung entziehen. Die Form des Sprengstoffes und seine Schwere (größte erreichbare Ladedichte, d. h. Gewicht der Ladung in Gramm im Verhältniß zum Volumen in Cubikcentimeter) spielen, wie schon angedeutet, eine erhebliche Rolle.

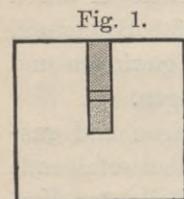
Diejenigen Umstände, welche für Wirkung und Sicherheit eines Sprengstoffes in Frage kommen, sind in den Spalten 5 bis 11 der Tabelle I mitgetheilt. Es sind dies die Art und Menge der Schwaden, die Wärmeentwicklung, der höchste erzielte Druck, die Detonationsgeschwindigkeit, die im Bleiblock nachgewiesene Wirkung, die Dauer und Länge der entwickelten Stichflamme. Diese Werthe sind zur besseren Uebersicht auf der angehefteten Texttafel graphisch aufgetragen.

Für die Feststellung der Menge der Schwaden und des Druckes wurde der Druckmesser (D. R. P. Nr. 109 187), für die Messungen der Wärmemengen das Explosionscalorimeter und für die Flammenmessungen ein photographischer Apparat besonderer Art benutzt. Die Detonationsgeschwindigkeiten wurden unmittelbar mit dem bekannten Le Boulengé'schen Chronographen gemessen. Bei allen Messungen wurden Sprengstoffmengen von über 100 g, Zündkapseln Nr. 8 mit 2 g Knallquecksilber und elektrische Zündung angewendet und besonders darauf geachtet, daß stets vollkommene Umsetzungen (Detonationen) eintraten.

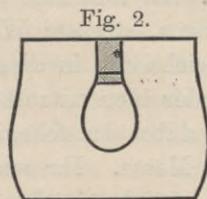
II. Druckmessungen.

Fast alle bekannten Vorrichtungen, welche die Messung des Druckes oder der Arbeitsleistung eines Sprengstoffes bewirken sollen, leiden an dem Uebelstande, daß sie nur solche Sprengstoffe mit einander zu vergleichen gestatten, welche in ihren Haupteigenschaften einigermaßen gleichartig sind. Nun ist es aber für den Erzeuger und den Verbraucher von Wichtigkeit zu erfahren, wie sich verschiedenartige Sprengstoffe, namentlich solche von verschiedener Detonationsgeschwindigkeit in ihrem Druck auf die Wandungen des Bohrloches oder in ihrer Arbeitsleistung zu einander verhalten, um danach ihre wirthschaftliche Werthschätzung zu bestimmen.

Der einfachste und handlichste Apparat ist der „Trauzl'sche“ Bleiblock.



Vor dem Schuß.



Nach dem Schuß.

Durch Abfeuern des Schusses wird die Ausbohrung des Bleiblockes birnenförmig erweitert. Diese Ausbauchung wird durch Eingießen von Wasser aus einem eingetheilten Glase gemessen. Fig. 1 und 2 zeigen einen solchen Bleicylinder vor und nach dem Schuß im Querschnitt.

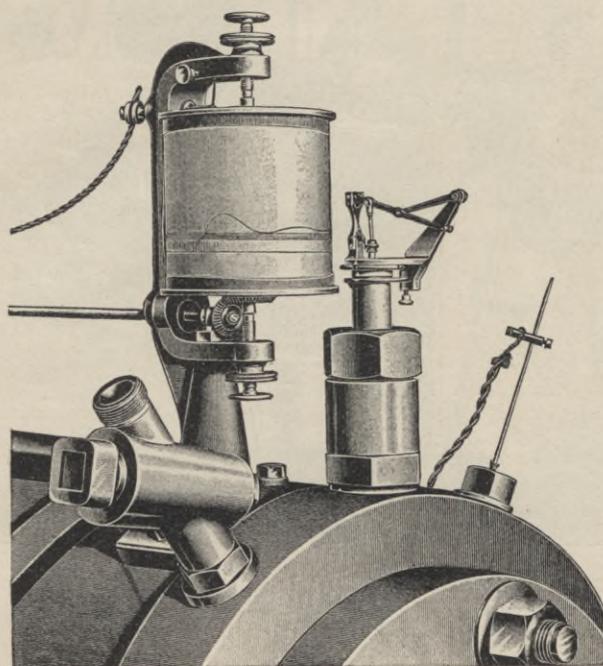
Wenn die Bleicylinder unter möglichst gleichen Bedingungen gegossen und bei gleichmäßiger Temperatur des Bleies gebraucht werden und die Handhabung jedesmal mit gleicher Sorgfalt geschieht, so sind für gleichartige Sprengstoffe die beobachteten Werthe sehr gut brauchbar. Der Besatz wird von schnell detonirenden Sprengstoffen herausgeschleudert, bei langsamer detonirenden gelockert, die Keile lockern sich oder fallen zur Seite. Ganz langsam detonirende oder vielmehr verbrennende Stoffe, wie Sprengpulver, ergeben überhaupt keine meßbare Erweiterung, weil ihre Gase durch den Besatz entweichen, ehe sie die höchste Temperatur und Spannung erreichen. Je größer die Detonationsgeschwindigkeit ist, desto größer ist die der Messung unterliegende sichtbare Wirkung.

Ein Cylinder aus Blei von 20 cm Höhe und gleichem Durchmesser mit einer 12 cm tiefen, 2 cm starken achsialen Ausbohrung wird mit einer Ladung von 10 g Sprengstoff und einem Zündhütchen versehen, mit trockenem Sande und darauf mit feuchtem Thon besetzt und mit Keilen unter einem Bügel von Schmiedeeisen möglichst fest verschlossen. Die Zündung geschieht elektrisch.

Will man den Druck verschieden schnell detonirender Sprengstoffe messen, so muß man vor Allem bei dem Entwurf eines neuen Apparates dafür sorgen, daß ein Entweichen von Gasen vollkommen ausgeschlossen ist. Von dieser Ueberlegung aus ist der Druckmesser D. R. P. Nr. 109187 gebaut worden.

Er besteht aus einem 80 cm langen Stahlblock von 50 cm Durchmesser, welcher auf einer genügend festen Auflagerung von Mauerwerk ruht und durch zwei verankerte Bügel festgehalten ist. Die zur Aufnahme der Sprengladung bestimmte Kammer hat einen Durchmesser von 20 cm und eine Tiefe von 48 cm, sodaß sie einen Inhalt von 15 l aufweist. Ein anderer Apparat zeigt einen Inhalt von 20 l. In die Kammer stellt man auf ein leichtes Drahtgestell die abzuschießende Menge Sprengstoff und versieht sie mit einem elektrischen Zünder. Die Zünddrähte werden durch die Wandungen geführt. Der Verschluß der Sprengkammer geschieht durch einen besonders kräftigen Deckel, welcher durch starke Schrauben und Muttern gehalten und durch einen starken Bügel in achsialer Richtung angedrückt wird. Die Dichtung erfolgt mit Hilfe von Bleiringen. Eine seitliche Ausbohrung gestattet die Anbringung eines Schlauches zur Absaugung der atmosphärischen Luft. Die Entfernung der Luft geschieht bis auf 20 mm Quecksilberdruck mit einer Luftpumpe. Senkrecht über der Ladung befindet sich eine Vorrichtung zur Anbringung eines Federindicators, wie er für die Messung des Dampfmaschinendruckes verwendet wird. Ein Schreibstift, welcher mit der Feder in Verbindung steht, schreibt ein Diagramm auf eine, durch ein Uhrwerk umgetriebene Trommel (s. Fig. 3). Die Um-

Fig. 3.



Indicatorvorrichtung zum Druckmesser.

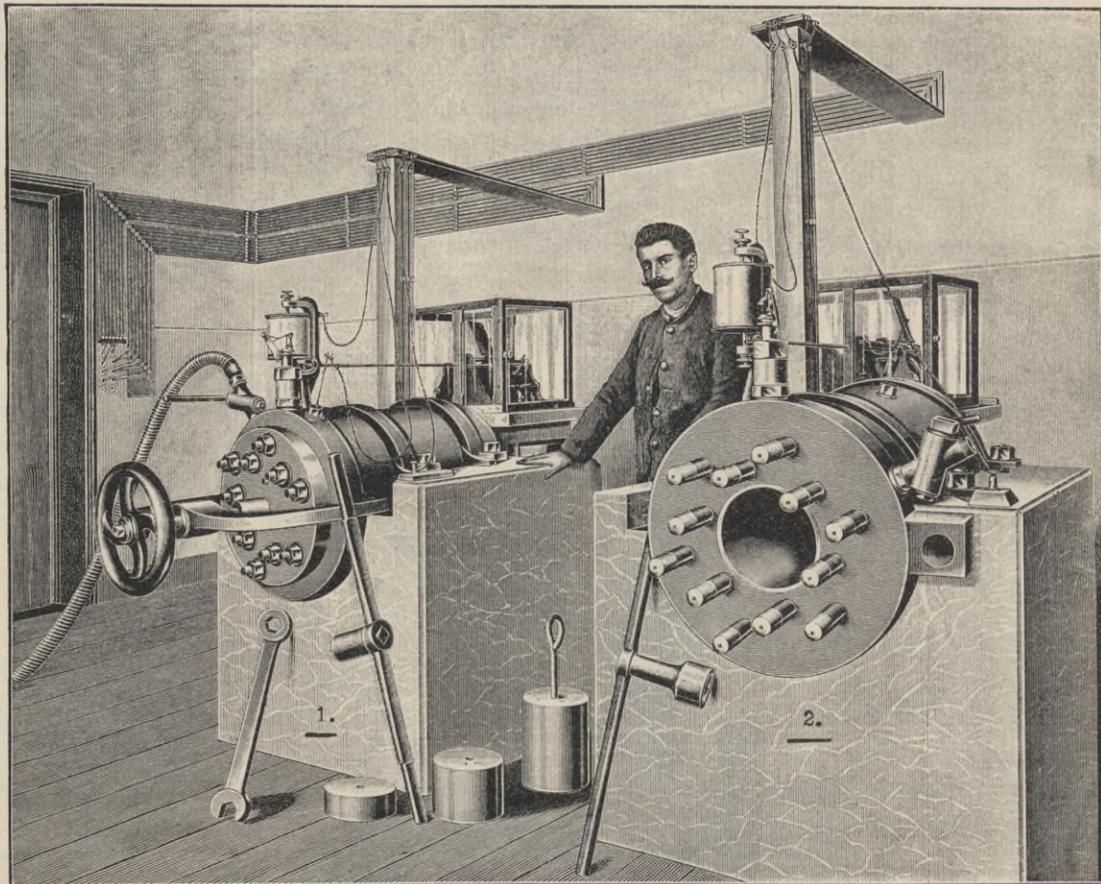
drehungsgeschwindigkeit wird bei jedem Schuß durch die Anzahl der die Umdrehungen angehenden Signale gemessen. Fig. 4 zeigt einen geöffneten und einen geschlossenen Druckmesser.

Bei langsam detonirenden Sprengstoffen ist die vom Indicator gezeichnete Linie eine flach ansteigende, bei schnell detonirenden Sprengstoffen eine steil ansteigende Curve, die mit zunehmender Abkühlung sich wieder senkt, bis sie wagerecht wird. Sie gibt dann den Druck an, den die abgekühlten

in der Kammer befindlichen Gase noch ausüben. Hieraus läßt sich die Bestimmung der festen, flüssigen und gasförmigen Schwaden herleiten. Auch kann man die gasförmigen Explosionsproducte durch die Oeffnung, welche zur Luftabsaugung dient, für Analysenzwecke entnehmen.

Der Schuß fällt nahezu unhörbar. Es sind Mengen bis zu 1500 g gewöhnlichen Sprengpulvers und 300 g brisanter Sprengstoffe angewendet worden, ohne daß der Stahlblock oder einzelne Druckmessertheile gelitten hätten. Die Herrichtung und Abfeuerung eines Schusses erfordert ungefähr 30 Minuten Zeit. Beide Apparate haben jeder schon mehrere 1000 Schüsse ausgehalten.

Fig. 4.



Druckmesser: 1. Geschlossen. 2. Geöffnet.

Die Ablesung des Diagramms erfolgt nach denselben Grundsätzen wie bei den Dampfmaschinen-indicatoren. Die Aufzeichnungen des Apparates stellen sich in wellenförmigen Curven dar, welche über den wirklich ausgeübten Höchstdruck in Folge der Beschleunigung der Massentheile des Indicators und der Feder hinausgehen. Je größer der Druck des Sprengstoffes ist und je größer die Detonationsgeschwindigkeit, desto größer ist der Ausschlag der Feder. Mit einiger Uebung läßt sich die maßgebende Linie des höchsten Druckes als Verlängerung der obersten schwach gekrümmten Linie leicht auszeichnen. Die Abweichungen in den Ergebnissen der gemessenen Drucke betragen selten mehr als 2 bis 3 pCt. Einige Diagramme sind in Fig. 5 bis 7 dargestellt.

Fig. 5.

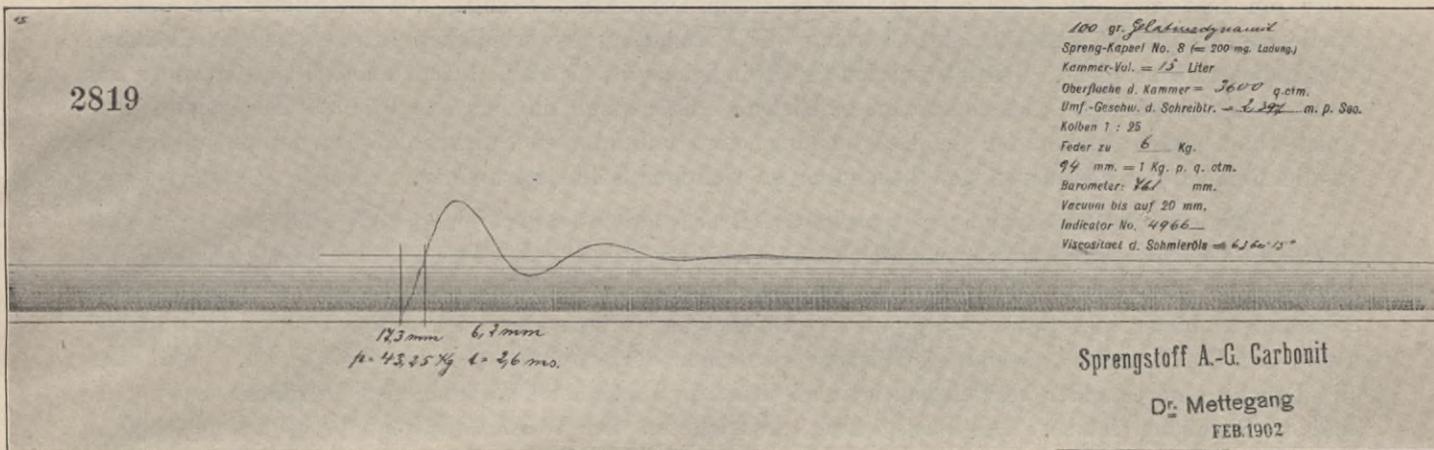


Fig. 6.

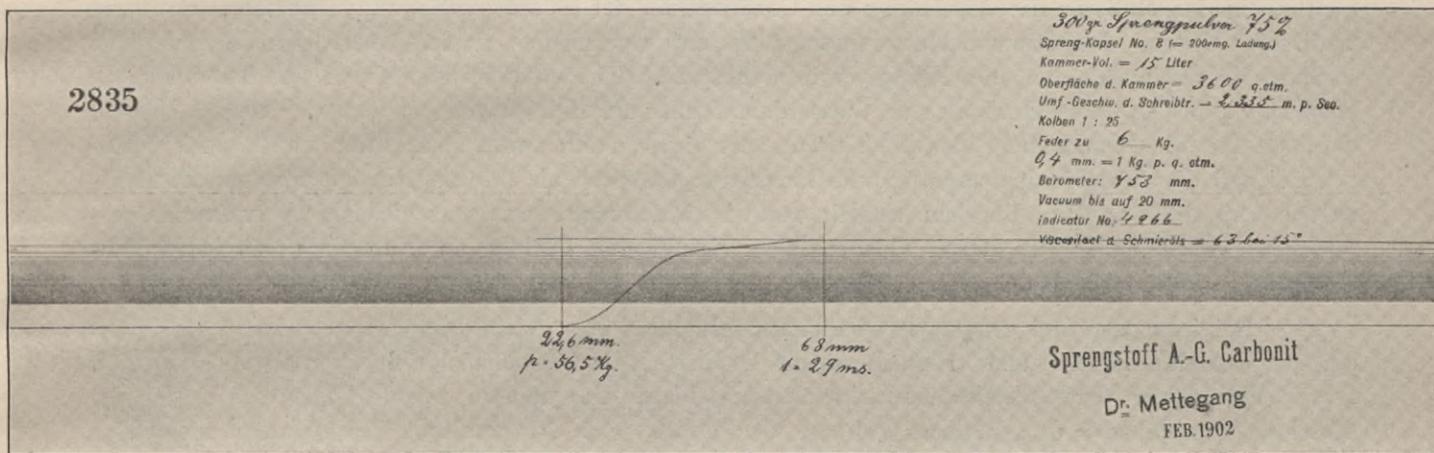
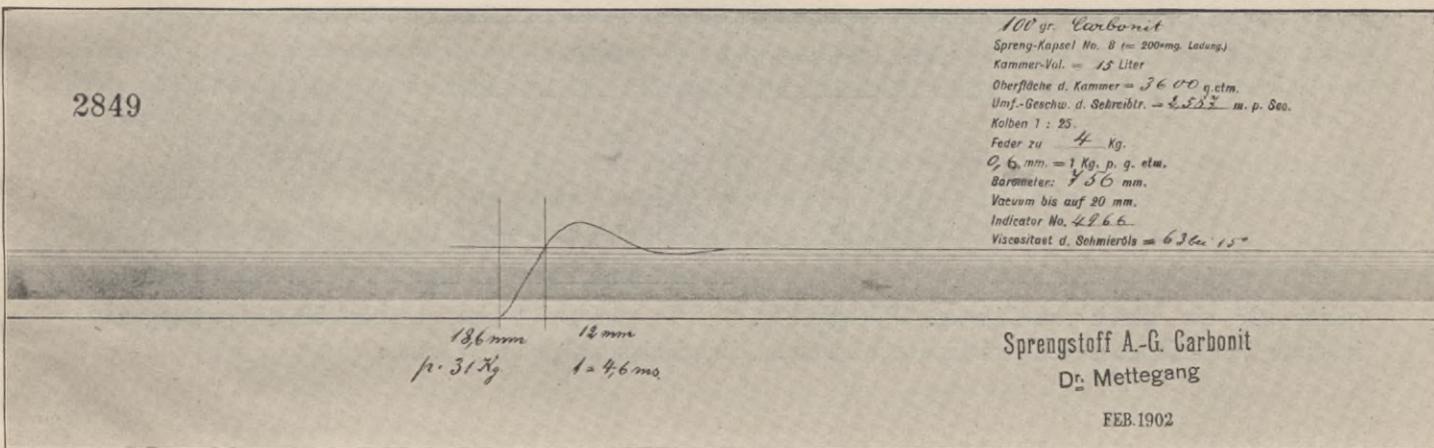


Fig. 7.



Das Diagramm gibt zwar nicht ein absolutes Maß für die Detonationsgeschwindigkeit, wohl aber ein Bild von der mehr oder minder schnellen Druckentwicklung. Die Nachheilung der Massentheile des Indicators gestattet eine Messung der Detonationsgeschwindigkeit in absoluter Größe durch die Indicatorfeder nicht. Die Detonationsgeschwindigkeit ist deshalb durch unmittelbare Messung mit dem Le Boulengé'schen Chronographen geschehen. Es genügt das erzielte Bild des Diagramms aber doch einen ersten Anhalt für die Beurtheilung eines unbekanntes Sprengstoffes zu gewinnen, um ihn in die Reihe der vorhandenen und bekannten an richtiger Stelle einzureihen.

Die in der Sprengkammer gemessenen Drucke detonirender Sprengstoffe sind augenscheinlich durch die Wärmeabgabe verringert, welche während der Bildung des Druckes an die Wandungen des Stahlblockes stattfindet. Der Betrag, um welchen der Druck ohne den Einfluß der umgebenden Wandungen höher sein würde, wird um so größer sein, je langsamer sich dieser Druck bildet und je mehr zur Condensation geneigte gasförmige Schwaden der untersuchte Sprengstoff bildet. Will man die Drucke untereinander vergleichen, so muß man die abkühlende Wirkung der Oberfläche bestimmen und in Rechnung setzen. Die Bestimmung geschieht in der Weise, daß man bei gleich bleibendem Volumen durch eingelegte Stahlkörper die Oberfläche vergrößert, indem man zu der 15 l-Kammer die 20 l-Kammer zu Hülfe nimmt und so drei Oberflächen von z. B. 3 600, 6 600 und 7 600 qcm beim Volumen von 15 l bildet. Die hierbei erzielten Drucke liegen nahezu in einer Geraden, deren Neigung gleichzeitig das Maß für die Abkühlung und Condensation der gebildeten Schwaden abgibt. So liegen z. B. die Drucke der Ammonsalpetersprengstoffe mit verschiedenen großen Oberflächen in einer viel steileren Geraden, als die der Nitroglycerinsprengstoffe. Die ersteren setzen, wie aus Tabelle II zu ersehen, $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ ihres Gewichtes in Wasserdampf um, der sich schnell condensirt. Dieser Zustand verdient für die Beurtheilung des Nutzeffectes der Sprengstoffe wohl Beachtung, zumal noch hinzukommt, daß die Ammonsalpetersprengstoffe langsamer detoniren als die aus Nitroglycerin mit Zumischpulver hergestellten. Im Bergbau schießt man in Wandungen von verschiedener Wärmeaufnahmefähigkeit, es ist daher der durch Condensation verursachte Verlust an Nutzeffect bei jedem Einschließungsstoff verschieden.

Bei jeder der drei genannten Oberflächen gibt man eine Anzahl Schüsse ab, nimmt das Mittel der beobachteten Drucke und trägt dieses als Ordinate, die Oberflächengröße aber als Abscisse auf. Durch Verbindung der Ordinatenendpunkte entsteht dann eine nahezu gerade Linie, die in der zur Abscisse (Oberfläche = 0) gehörigen Ordinate den Druck nach Ausschaltung des Oberflächeneinflusses angibt. Die in der Tabelle I verzeichneten Drucke sind alle so gefunden.

Ein Beispiel möge nähere Erläuterung bieten: 50 g Guhrdynamit ergaben in der 15 l-Kammer bei verschiedenen inneren Oberflächen folgende Drucke:

Innere Oberfläche	Druck
7 600 qcm	17,4 kg auf 1 qcm
6 600 "	18,5 " " 1 "
5 000 "	19,7 " " 1 "
3 600 "	20,76 " " 1 "

Trägt man diese Werthe in der beschriebenen Weise auf, so ergibt sich für die Oberfläche gleich „0“ ein Druck von 24,0 kg. (Vergl. Fig. 8.) In gleicher Weise ergaben 50 g Guhrdynamit in einer 7,5 l-Kammer bei verschiedenen inneren Oberflächen folgende Werthe:

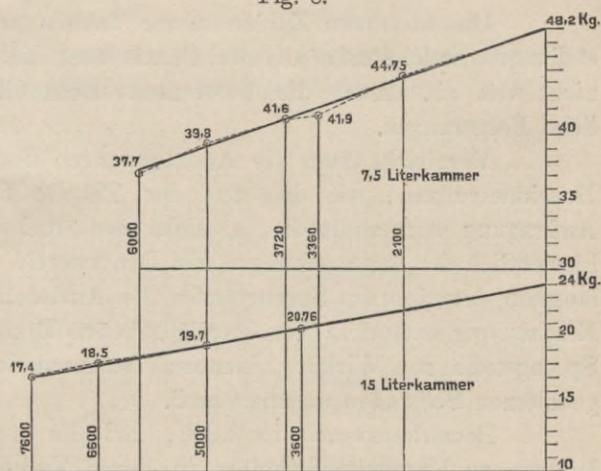
Innere Oberfläche	Druck
6 000 qcm	37,7 kg auf 1 qcm
5 000 "	39,8 " " 1 "
3 720 "	41,6 " " 1 "
3 360 "	41,9 " " 1 "
3 100 "	44,75 " " 1 "

Trägt man die Werthe wiederum in gleicher Weise auf, so erhält man bei der Oberfläche gleich „0“ den Druck von 48,2 kg. (Fig. 8.) Bei diesen Ladedichten verhalten sich die Drucke also entsprechend dem „Boyle'schen“ Gesetz umgekehrt wie die Volumina.

Diese Ausschaltung des Einflusses der Oberfläche hat aber noch einen weitergehenden Zweck. Der Druckmesser gestattet nur die Anwendung einer sehr kleinen Ladedichte. Wenn man 100 g eines Sprengstoffes, dessen Dichte gleich 1 ist, in einer Kammer von 15 l Inhalt abschießt, so ist die Ladedichte erst 100 : 15 000 oder 1 : 150, während im Bohrloch die Ladedichte theoretisch 1 : 1 sein würde. Durch Verkleinerung der Kammern und Verwendung stärkerer Federn kann man bis zu 1 : 25 gehen, ohne den Stahlblock zu gefährden, aber auch diese Ladedichte ist noch sehr klein. Trägt man nun unmittelbare Messungen von Drucken bei mehreren Ladedichten zwischen 1 : 150 und 1 : 25 ohne Berücksichtigung des Einflusses der Oberfläche als Ordinaten und die zugehörigen Kammer-Größen als Abscissen auf, so ist die Verbindungslinie eine hyperbolische Curve, deren Gleichung man durch Probiren finden kann. Trägt man aber die Drucke für dieselben Ladedichten auf, nachdem der Einfluß der Oberfläche beseitigt ist, so ist die Verbindungslinie eine Gerade. Hieraus mag man, bis durch Versuche mit noch stärkeren Apparaten und Ladedichten andere Verhältnisse gefunden werden, annehmen, daß die für die Ladedichte 1 : 150 ermittelten, vom Einfluß der Condensation befreiten Drucke, denjenigen bei den größeren Ladedichten, direct proportional sind. Es wäre sehr erwünscht, wenn durch weitere Versuche diese Annahme eine Prüfung erführe, weil dadurch das Verhalten der Gase bei höheren Temperaturen und Drucken in einer auch für viele andere Aufgaben förderlichen Weise aufgeklärt würde.

Rechnet man nun unter der Annahme der Richtigkeit obigen Satzes den Druck aus der Ladedichte 1 : 150 auf die durch die Versuche ermittelte günstigste Ladedichte um, so ergeben sich folgende Zahlen für die der Betrachtung unterworfenen 12 Sprengstoffe :

Fig. 8.



Graphische Darstellung der Drucke von 50 g Guhrdynamit in der 7,5 Liter- und 15 Literkammer bei verschiedenen inneren Oberflächen.

	Günstigste Ladedichte	Druck im eigenen Volumen, kg auf 1 qcm	Verhältniß der Drucke
Schwarzpulver . . .	1,04	2 917	1,0
Sprenggelatine . . .	1,63	17 213	5,9
Guhrdynamit . . .	1,58	11 420	4,0
Gelatinedynamit . . .	1,67	13 878	4,7
Donarit . . .	1,31	9 570	3,3
Ammoncarbonit I . . .	1,11	7 792	2,7
Ammoncarbonit . . .	1,19	7 541	2,6
Thunderite . . .	1,07	6 099	2,1
Carbonit II . . .	1,49	7 755	2,7
Carbonit I . . .	1,55	7 533	2,6
Kohlencarbonit . . .	1,42	6 603	2,3
Carbonite . . .	1,08	4 309	1,5

Die absoluten Zahlen dieser Tabelle sowohl, wie die Verhältnißzahlen weichen von den Vorstellungen, welche man aus der Praxis über die Wirkungen der verschiedenen Sprengstoffe sich bildet, nicht weit ab. Auch die theoretische Behandlung nach den Gesetzen der Thermochemie ergibt ähnliche Folgerungen.

Vergleicht man die Ausbauchungen des Bleiblockes für die betrachteten Sprengstoffe mit den Druckmessungen, wie dies aus der Tabelle I zu ersehen und in der Texttafel durch graphische Auftragung dargestellt ist, so sieht man, daß die Sprengstoffe mit großer Detonationsgeschwindigkeit hinsichtlich der Ausbauchungen und Druckwerthe nahezu zusammenfallende Werthe ergeben, während bei langsam detonirenden Sprengstoffen die Ausbauchungen hinter den Druckwerthen zurückbleiben. Diese Erscheinung entspricht der oben gegebenen Erklärung. Der Bleiblock läßt nur die schnell detonirenden Sprengstoffe zur Wirkung kommen, während der Druckmesser den Druck der gesammten beisammengehaltenen Schwaden angeben muß.

Bemerkenswerth ist noch, daß die Ammonsalpetersprengstoffe ganz besonders bei geringen Mengen zu Unregelmäßigkeiten in ihrem Verhalten neigen, indem sie das eine Mal vollständig detoniren, das andere Mal nicht zur vollkommenen Detonation gelangen, vielmehr unter Entwicklung rother Dämpfe sich umsetzen. Erst bei größeren Mengen von rd. 300 g an ergaben sich im Druckmesser regelmäßige Detonationen und gleichmäßige Verhältnisse.

III. Umsetzungsproducte.

Beim Verlaufe einer Explosion ist der Augenblick der höchsten Wärme und Druckentwicklung besonders wichtig, weil von ihm die größte Arbeitsleistung einerseits und die größte Schlagwettergefährlichkeit andererseits bestimmt wird. Dieser Zeitpunkt setzt der Messung aber die größten Schwierigkeiten entgegen. Das bezieht sich besonders auf die Untersuchung des augenblicklichen chemischen und physikalischen Zustandes der Umsetzungsproducte. Nach der Explosion und nach Abkühlung kann man eine chemische Analyse der Schwaden und eine physikalische Beurtheilung der Bestandtheile leicht eintreten lassen. Die Schwaden im Augenblicke der Explosion und nach der Abkühlung sind aber nicht dieselben. Im Augenblicke der Detonation werden wahrscheinlich alle festen Stoffe flüssig (bezw. geschmolzen) oder gasförmig sein. Bei der Abkühlung im Druckmesser scheidet sich ein Theil als fester Körper, ein Theil flüssig aus. Die abgekühlten Schwaden theilen sich der umgebenden Luft mit und deren chemische Untersuchung ist zur Beurtheilung ihrer Einwirkung auf die Gesundheit der Bergleute zweifellos von großer Wichtigkeit. Für Wirkung und Schlagwetersicherheit hat man sich zunächst darauf beschränken müssen, die physikalische Scheidung der Umsetzungsproducte in feste, flüssige und gasförmige Bestandtheile im Augenblicke der Detonation festzulegen.

Zur Gewinnung der Werthe in Tabelle II wurde zwischen dem Indicator und der Explosionskammer des Druckmessers ein starker Hahn eingeschaltet, um nicht den Explosionsdruck auf den für diese Fälle größeren Indicator Kolben und die kleinere Feder wirken zu lassen. Dieser Hahn wurde geöffnet, nachdem die Nachschwaden des Schusses sich auf Zimmertemperatur abgekühlt hatten. Dann wurde der Druck dieser abgekühlten Gase am Indicator abgelesen. Das Product von Druck und Volumen der Schwaden gab ihre Menge an. Das specifische Gewicht bezw. das Litergewicht der Schwaden wurde mit der Lux'schen Gaswaage festgestellt und so die Gewichtsmenge der gasförmigen Schwaden gefunden. Nach dem Oeffnen der Kammer wurden dieser die flüssigen und festen Producte entnommen und gewogen. Das Gesamtgewicht der gasförmigen flüssigen und festen Producte mußte natürlich der angewendeten Ladung gleichkommen. Die so gewonnenen Ergebnisse über die Zusammensetzung der abgekühlten Schwaden wurden benutzt, um die im Augenblicke der Explosion wahrscheinlich vorhandenen gasförmigen und flüssigen bezw. geschmolzenen Bestandtheile zu bestimmen. Hierbei wurde angenommen, daß das als flüssig vorgefundene Wasser als Wasserdampf, die Alkalisalze als geschmolzene Carbonate und die Kohlensäure als solche vorhanden waren. Daraus ergaben sich die in der Tabelle II angegebenen Werthe.

Als Beispiel sei die Bestimmung der Nachschwaden von Sprenggelatine, Carbonite und Donarit gegeben. Die in der Tabelle angegebenen Zahlen sind das Mittel aus mehreren Versuchen.

Erstes Beispiel: 100 g Sprenggelatine mit Kapsel Nr. 8 in der 15 l-Kammer bei 16,56°, 760 mm Barometerstand. Nachdem die Schwaden sich drei Viertelstunden abgekühlt hatten, war der abgelesene Druck am Indicator 2,15 kg. Dieses entspricht einem Drucke von 2,222 Atmosphären. Hierzu tritt der Druck der aus dem Druckgefäß entfernten einen Atmosphäre. Der in Frage kommende Druck ist mithin 3,222 Atmosphären, oder auf 15° C. umgerechnet 3,205 Atmosphären. Die Gase nehmen mithin bei 1 Atmosphäre und 15° C. den Raum von 48,075 l ein. 1 l wiegt nach den Ergebnissen der Lux'schen Waage 1,510 g. 48,075 l wiegen also 72,5 g. Ziehen wir diese von der Ladung von 102 g ab, so verbleiben für den Rest 29,5 g, welche sich noch in der Explosionskammer befinden und nur Wasser sein können. 29,5 g Wasser entsprechen bei 15° und 760 mm Barometerstand 38,7 l Wasserdampf.

100 g Sprenggelatine einschl. Zünder lieferten mithin:
 72,5 g gasförmige Schwaden
 29,5 g Wasser.

Zweites Beispiel: 206 g Carbonite einschließlich Umhüllung und Sprengkapsel Nr. 8 in der 15 l-Kammer bei 16,81° C. und 750 mm Barometerstand. — Der Indicator zeigte 7,13 kg Druck, welche zuzüglich der 1 Atmosphäre wegen des Vacuums von 725 mm 8,21 Atmosphären bei 15° C. und 760 mm Barometerstand entsprechen. Diese ergaben 123,15 l gasförmige abgekühlte Schwaden von je 0,566 g Litergewicht, entsprechend einem Gesamtgewicht von 118,8 g. Von den noch in der Kammer befindlichen 87,2 g Rückstand wurden 1,6082 g im Verbrennungsofen zu heller Rothgluth erhitzt. Sie ergaben dann:

0,2411 g Wasser,
 0,3313 „ Kohlensäure,
 1,0372 „ Glühreste.

In 87,2 g sind also enthalten:

13,13 g Wasser, entsprechend 17,20 l Wasserdampf,
 17,95 „ Kohlensäure, entsprechend 9,63 l in Gasform,
 56,2 „ Glührest, welche im Augenblicke der Explosion als geschmolzenes Alkali-carbonat angenommen werden.

Drittes Beispiel: 206 g Donarit einschließlich Umhüllung und Sprengkapsel Nr. 8 in der 15 l-Kammer bei 17,65° C. und 748 mm Barometerstand.

Der Indicator zeigte 7,28 kg Druck, welche zuzüglich der 1 Atmosphäre wegen des Vacuums von 725 mm 8,296 Atmosphären bei 15° und 760 mm Barometerstand entsprechen. Diese ergaben 124,44 l gasförmige abgekühlte Schwaden von je 1,081 g Litergewicht, entsprechend einem Gesamtgewicht von 134,6 g. Beim Oeffnen der Kammer wurden dieser 67,95 g Wasser entnommen und zwar zum Theil unmittelbar durch Abfangen, zum Theil durch Aufnahme des an den Wandungen haftenden Wassers in Chlorcalciumapparaten. 67,95 g Wasser entsprechen 89,10 l Wasserdampf bei 15° C. und 760 mm Barometerstand. Nach Restbestimmung hätten 71,4 g Wasser vorhanden sein müssen, 3,45 g fehlten.

Bei der Detonation werden die gasförmigen Bestandtheile durch die entwickelte Wärme auf die höchste Temperatur gebracht und erzeugen den entsprechenden höchsten Druck. Die festen Bestandtheile werden voraussichtlich geschmolzen sein, sie wirken als Masse bei der Detonation mit, einen Druck vermögen sie jedoch nicht auszuüben. Den bei der Umsetzung des Sprengstoffes gebildeten Gasen steht beim gutbesetzten Schusse das eigne Volumen des Sprengstoffes zu Gebote. Je größer die Dichte des Sprengstoffes ist, desto kleiner ist der die Gase einschließende Raum. Je mehr Gase vorhanden sind, je kleiner der Raum, je größer die Anzahl der entwickelten Calorien, desto größer wird der Druck sein.

Sehr verschieden sind die Gasmengen, welche von den einzelnen Sprengstoffen entwickelt werden, und deren specifische Gewichte. Bestimmend für den entwickelten Druck werden jedenfalls die Mengen gasförmiger Schwaden sein, welche sich in dem vom Sprengstoff eingenommenen eignen Volumen bilden, und die gleichzeitig dabei freiwerdenden Calorien. Es folgen deshalb diese Werthe hierunter zusammengestellt:

Sprengstoff	1 kg entwickelt bei der Detonation gasförmige Producte	1 kg nimmt einen Raum ein von	Auf 1 l eignen Volumens entfallene Gase	Anzahl der Calorien, welche 1 kg Sprengstoff entwickelt
1.	2.	3.	4.	5.
Sprengpulver	386	0,961	401	574
Sprenggelatine	851	0,614	1386	1422
Guhrdynamit	536	0,633	847	1170
Gelatinedynamit	487	0,599	813	1321
Donarit	1023	0,763	1341	836
Ammoncarbonit I	922	0,900	1024	850
Ammoncarbonit	930	0,840	1107	757
Thunderite	1021	0,935	1092	777
Carbonit II	746	0,671	1112	602
Carbonit I	773	0,645	1198	601
Kohlencarbonit	816	0,704	1160	506
Carbonite	729	0,926	783	576

Die Zahlen der vierten Spalte geben die Verhältnisse der Räume an, welche dieselbe Menge eines Sprengstoffes vor und nach der Explosion einnimmt, unter Vernachlässigung der während der Explosion nicht gasförmig werdenden, unbedeutlichen Mengen fester Stoffe.

Welchen Druck die Schwadenmengen durch die Einwirkung der entwickelten Wärme im eignen Volumen ausüben, das ist mit Hilfe der vorhandenen Apparate und Meßverfahren noch nicht festzustellen und muß weiteren Arbeiten vorbehalten bleiben. Jedoch ist die Zeitdauer der Entwicklung des Druckes durch Messung der Detonationsgeschwindigkeit bekannt.

IV. Wärmeentwicklung.

Abgesehen von den Schwierigkeiten, welche die Messung hoher Temperaturen überhaupt bietet, läßt die Kürze der Zeitdauer der Explosion die sonst üblichen Verfahren der Temperaturmessung nicht

zu. Wohl aber bietet sich die Möglichkeit durch Verwendung der Berthelot'schen Calorimeterbombe die Wärmemenge zu messen, die bei der Detonation einer gewissen Menge Sprengstoff frei wird, wenn man diesen bekannten Apparat vergrößert, so daß er für Detonationen von Sprengstoffmengen von 100 g und mehr verwendbar ist.

Es wurde eine geschmiedete Stahlflasche von 30 l Inhalt mit einer Vorrichtung zum luftdichten Verschließen und Evacuiren versehen; der Sprengstoff wurde in der Mitte der Bombe aufgehängt und elektrisch gezündet. Im Uebrigen entsprachen alle Einrichtungen den bei Calorimetern üblichen mit denjenigen Umänderungen, welche durch die veränderten Druck- und Größenverhältnisse nothwendig wurden. Die Wassermenge betrug rd. 70 l, der Gesamtwert der Wärmecapazität war einschließlich der Stahlflasche und der übrigen Metalltheile 71 719 kleine Calorien, die Rührung geschah maschinell. Eine photographische Abbildung des Apparates erläutert ihn zur Genüge (Fig. 9).

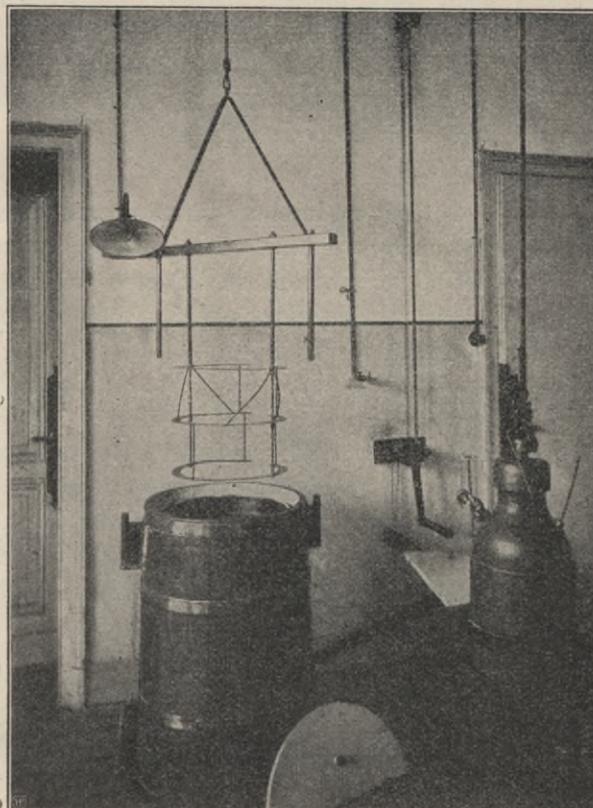
In ähnlicher Weise, wie es für die Untersuchung der Schwadenmengen nothwendig war, mußte auch hier der Augenblick der Messung auf den Augenblick der Detonation zurückgeführt werden, um alle diejenigen Veränderungen auszuschließen, welche zeitlich nach Erreichung der Höchst-Temperatur stattfanden. Es waren dies die Wärmemengen, welche durch Condensation des Wassers in den Schwaden innerhalb des Apparates abgegeben werden, ferner diejenigen, welche in Folge der Bildung von Bicarbonaten aus den Carbonaten durch Aufnahme der Kohlensäure frei werden. Um das angewendete Verfahren zu verdeutlichen, sei als Beispiel die Ermittlung der Wärmemengen für Ammoncarbonit I. gegeben:

70 g Ammoncarbonit I. ergaben unter Berücksichtigung der durch die Zimmerwärme herbeigeführten Zunahme eine Temperaturerhöhung des Calorimeterwassers um 1,050 Grad. Der Gesamtwasserwerth war zu 71 719 kleine Calorien ermittelt. Die gesammte von der Explosion herrührende Wärmemenge ist mithin $1,050 \cdot 71\,719 = 75\,205$ kleine Calorien. Hiervon sind die auf die Sprengkapsel entfallenden 1381 Calorien abzuziehen. Es verbleiben dann 73 824 Calorien, also für 1 kg des Sprengstoffes 1 055 große Calorien.

Aus der Tabelle über die Schwadenmengen entnehmen wir, daß 1 kg Ammoncarbonit I 341,3 g Wasser bildet. Dieses Wasser condensirte sich und machte 202 Calorien frei. Es verbleiben somit noch 853 Calorien.

1 kg Ammoncarbonit I enthält 90 g Kalium- und Natriumsalpeter. Die Wärmemenge, die bei der Umsetzung des aus 1 kg Kalium- oder Natron-Salpeter bei der Detonation entstandenen Carbonate in Bicarbonate entwickelt wird, beträgt 35,8 Calorien. Aus 90 g Kalium- und Natrium-Salpeter sind also 3,2 Calorien frei geworden. Auch diese sind von dem obigen Werth abzuziehen. Es verbleiben 849,8 Calorien als diejenige nutzbringende Wärmemenge, welche die Detonation von 1 kg Ammoncarbonit I erzeugt.

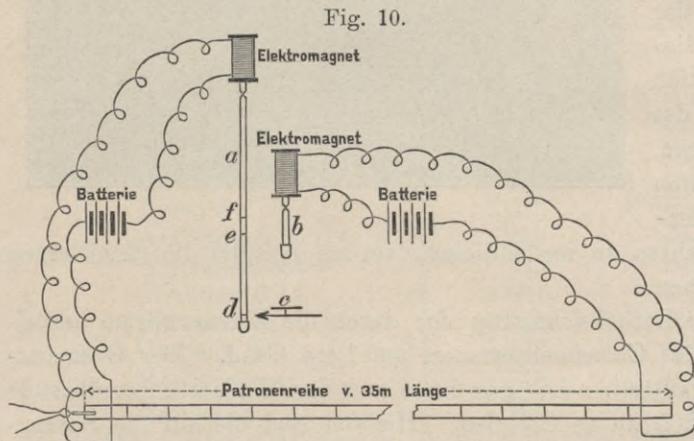
Fig. 9.



V. Detonationsgeschwindigkeit.

Alle Sprengstoffe bedürfen eines Anstoßes zur Einleitung der Explosion, Dieser Anstoß muß bei den verschiedenen Sprengstoffen genügend groß sein, um eine Detonation zu gewährleisten. Ist die Explosion eingeleitet, so vollzieht sie sich je nach dem Zusammenwirken chemischer und physikalischer Ursachen mehr oder minder schnell. Je schneller die Umsetzung in die Endproducte bei der Detonation erfolgt, desto größer ist die Stoßkraft, mit welcher die Gase auf die Wandungen des Bohrloches einwirken. Daß die Kenntniß der Detonationsgeschwindigkeit für die Beurtheilung der Leistung von unerläßlicher Bedeutung ist, bedarf wohl keiner Begründung, daß sie aber auch für die Schlagwetter-sicherheit von wesentlichem Einflusse ist, zeigen die Tabelle I und die graphischen Auftragungen auf der Texttafel.

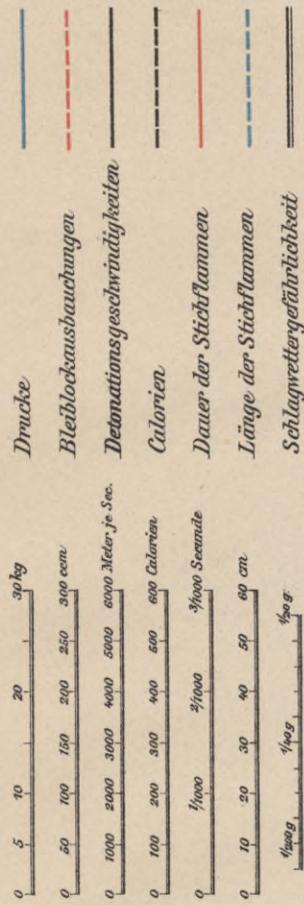
Die Detonationsgeschwindigkeit wurde gemessen, indem Patronen in genügender Anzahl und gleichen Durchmessers fest an einander gelegt wurden. Die so gebildete Patronenreihe wurde sorgfältig auf ihre Verbindung geprüft, so daß eine einzige, ununterbrochene Patrone entstand. Bei plastischen Sprengstoffen wurde dasselbe erreicht, indem eine einzige lange Patrone mit Hülfe der Patronenmaschinen hergestellt wurde. Die Länge betrug gewöhnlich 35 m. Bei dieser Länge waren die Messungen genügend genau. Es stellte sich sehr bald heraus, daß die Detonationsgeschwindigkeit bis zu einem gewissen Grade vom Durchmesser der Patronen abhängig ist und mit zunehmendem Durchmesser wächst. Sprengstoffe größerer Detonationsgeschwindigkeit bedürfen geringerer Querschnitte, wie solche von geringerer Detonationsgeschwindigkeit. Bei den Dynamiten findet über 30 mm ein erheblicher Zuwachs an Geschwindigkeit nicht mehr statt, bei Ammonsalpetersprengstoffen ohne Nitro-Glycerin nimmt die Detonationsgeschwindigkeit bis 50 mm noch beträchtlich zu. Für die mitgetheilten Geschwindigkeiten kamen stets Durchmesser von 30 mm in Anwendung, weil dieser Durchmesser ein im Bergbau häufig angewendeter ist und es wünschenswerth war, die für diesen eintretende Detonationsgeschwindigkeit zu kennen. Die große Menge der zur Detonation kommenden Sprengstoffe machte es erforderlich, diese Versuche an einer abgelegenen Stelle vorzunehmen. Die ersten Versuche wurden gemeinsam mit der Königlichen Artillerie-Prüfungscommission begonnen und dann von den Vereinigten Dynamitfabriken auf dem Gelände der Dynamitfabrik Wahn fortgesetzt.



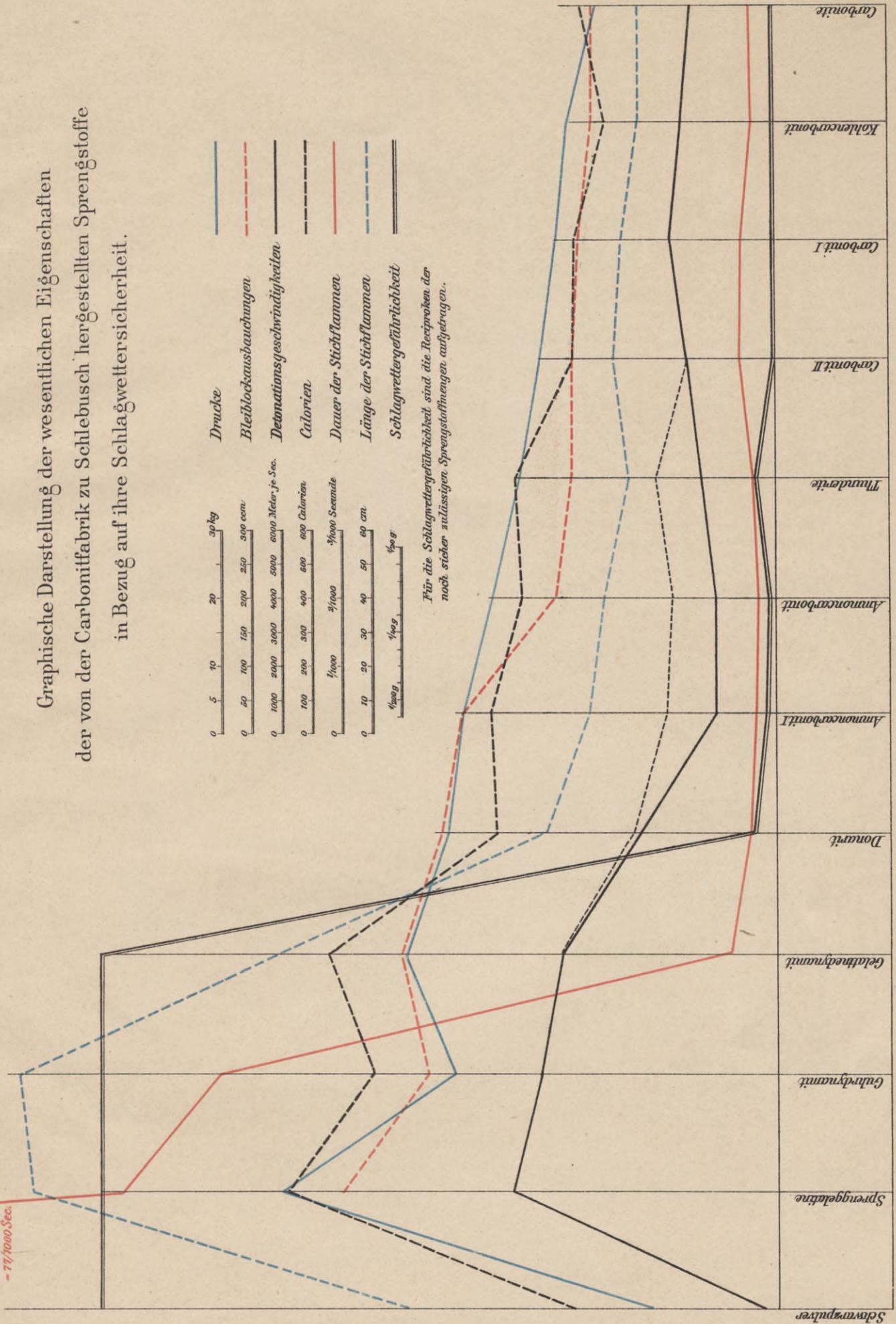
Zur Messung des Verlaufes der Detonation vom Anfang bis zum Ende der langen Patrone wurden drei bis vier Boulengé'sche Chronographen verwendet, wie sie bei der Messung der Geschwindigkeit üblich sind. Die Stromkreise der Elektromagneten gingen durch den Anfang und das Ende der langen Patronenreihe und wurden durch die Detonation unterbrochen. Zur Erläuterung diene nebenstehende Fig. 10.

Zwei Eisenstäbe *a* und *b* hängen an Elektromagneten. Durch Herabfallen des Gewichtes *b* auf den Teller *c* wird ein federndes Messer ausgelöst, welches in den Stab *a* eine Marke *d* einschlägt. Werden beide Stromkreise gleichzeitig unterbrochen, so fällt die Nullmarke, von welcher aus gemessen werden soll, auf einen bestimmten Punkt, etwa *e*. Wird durch den Beginn der Detonation der Stromkreis des Stabes *a* zuerst unterbrochen, so legt der Stab *a* ein gewisses Stück Weg zurück, bis der Stab *b*, dessen Stromkreis durch die Zerstörung des Drahtes am Ende der Patronenreihe unterbrochen wird, das Messer auslöst und die Marke einschlägt. Der Unterschied der Fallhöhen *fd* und *ed* ent-

Graphische Darstellung der wesentlichen Eigenschaften
der von der Carbonitfabrik zu Schlebusch hergestellten Sprengstoffe
in Bezug auf ihre Schlagwettersicherheit.



Für die Schlagwettersicherheit sind die Recepten der
noch stärker zulässigen Sprengstoffmengen aufgetragen.



spricht dann der Detonationszeit der Patronenreihe. Dieser Unterschied muß eine gewisse Größe haben, um gut meßbar zu sein. Hieraus ergab sich die gewählte Länge der Patronenreihen.

Ein Beispiel möge nähere Erläuterung geben:

Patronenreihe = 35 m Carbonit. Fallhöhe bei gleichzeitiger Unterbrechung beider Stromkreise = 496,7 mm, Fallhöhe bei dem Versuch 457,5 mm. Der Unterschied der Fallzeiten entspricht der Detonationszeit der Patronenreihe.

Berechnung der Fallzeiten: In der Formel $s = \frac{gt^2}{2}$ bedeutet s die Fallhöhe, t die Fallzeit und g die Gravitation = 9,81 m.

Die beiden Fallzeiten seien t_1 und t_2

$$0,4967 = \frac{9,81 t_1^2}{2}; t_1 = \sqrt{\frac{0,4967 \cdot 2}{9,81}} = 0,3182 \text{ Sec.}$$

$$0,4575 = \frac{9,81 t_2^2}{2}; t_2 = \sqrt{\frac{0,4575 \cdot 2}{9,81}} = 0,3054 \text{ Sec.}$$

$$t_1 - t_2 = 0,0128 \text{ für } 35 \text{ m.}$$

$$1 \text{ Sekunde für } \frac{35}{0,0128} = 2735 \text{ m.}$$

Ausgehend von der Erwägung, daß, wenn die Detonationsgeschwindigkeit als vom Durchmesser der Patronen abhängig erkannt wurde, möglicherweise auch eine Einschließung der Patronenreihe in einen umgebenden Widerstand von Einfluß sein könnte, führte man noch den Versuch durch, Gelatine-Dynamit in eisernen Rohren 1 m tief in Erde einzubetten und die Detonationsgeschwindigkeit unter solchen Umständen zu messen. Es ergab sich kein Unterschied in den Beobachtungen¹⁾.

VI. Zeitdauer und Länge der Stichflamme.

Bei der Detonation bildet sich durch die freiwerdende Wärme eine für verschiedene Sprengstoffe verschieden große Flamme von verschieden langer Dauer. Die Größe des Flammereiches ist von der Menge des Sprengstoffes abhängig. Was in diesen Bereich kommt, wird entsprechend der Flammentemperatur erhitzt bzw. zerstört, Sprengstoffe gelangen zur Detonation und Schlagwettergemische werden gezündet, wenn die Dauer der Flammenberührung genügend lang war.

Die Messung der Flammenlänge wurde vielfach vergeblich durch Zündung von Körpern versucht, welche in den Bereich der Flamme gebracht wurden. Als diese Versuche nicht zum gewünschten Ziele führten, gelang es auf photographischem Wege ziffernmäßige Ergebnisse zu erlangen.

Ein Stahlmörser, wie er in den Versuchsstrecken für Schlagwetterzündung gebraucht wird, wurde aufrecht hingestellt und dahinter ein Maßstab angebracht. Die zu verschießenden Sprengstoffe wurden in den Mörser geladen. Die photographischen Aufnahmen geschahen zur Nachtzeit mit Hülfe einer Quarzlinse, welche auch die den höchsten Temperaturen entsprechenden ultravioletten Strahlen durchläßt, auf einer umlaufenden Trommel. Die Trommel war mit einem lichtempfindlichen Film überzogen. Zwischen Quarzlinse und Trommel, dicht vor letzterer, war ein Schirm angebracht, der einen senkrechten Spalt hatte. Bei stillstehender Trommel entsprach die Länge des Bildes der Flammenlänge und die Breite des Bildes der Breite des Spaltes. Bei schnell laufender Trommel verzerrte sich das Bild nach der Breite. Die Breitenausdehnung des Bildes bezogen auf die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel gab die Flammendauer in 1:1000 Secunden an. Mehrere solcher Flammenbilder sind in Fig. 11 bis 14 wiedergegeben.

¹⁾ Man vergleiche die Anmerkung S. 20.

Fig. 11.

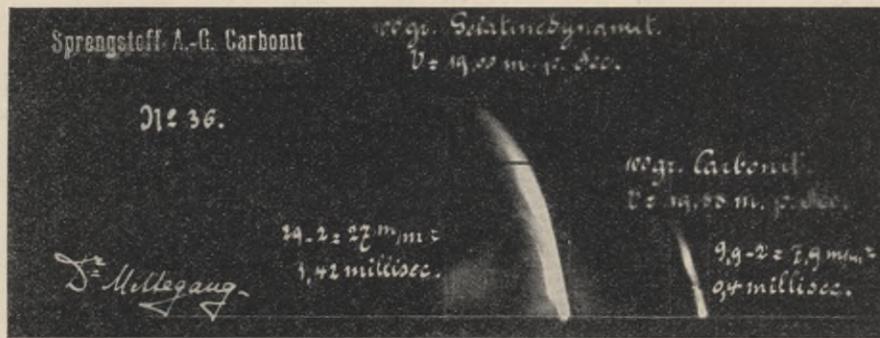


Fig. 12.

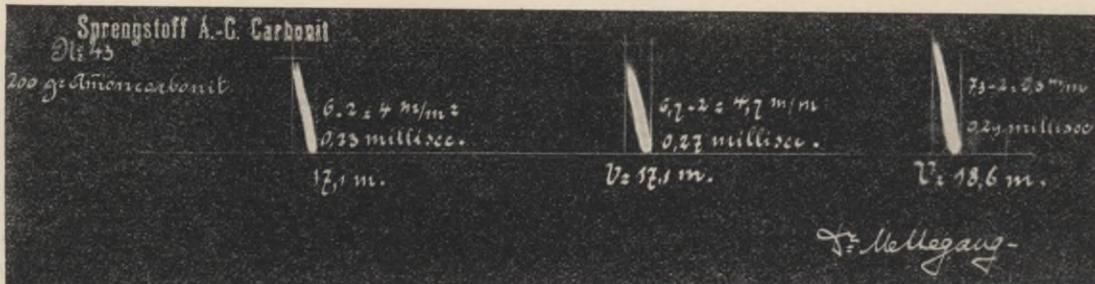


Fig. 13.

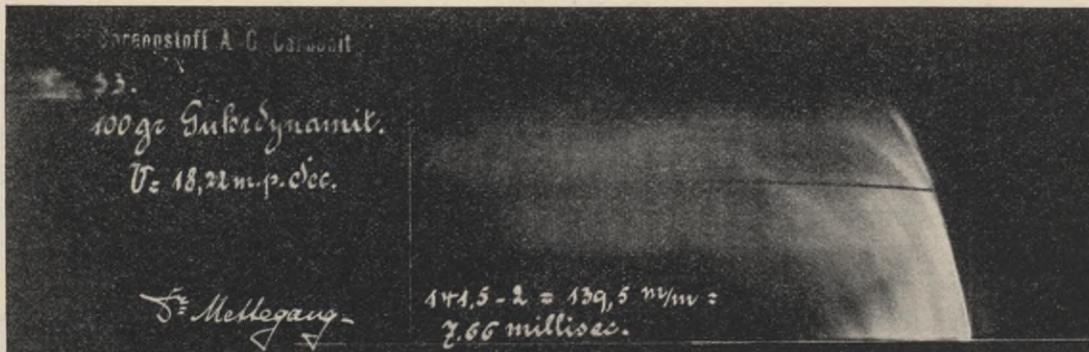


Fig. 14.



Photographische Darstellung der Flammendauer detonirender Sprengstoffe.

VII. Uebertragung von Explosionen.

Wenn man Patronen eines und desselben Sprengstoffes, von denen eine mit einer Zündkapsel versehen ist, während die andere frei aufliegt, mit dem Kopfende gegen einander legt und die mit der Zündkapsel zur Detonation bringt, so überträgt sich ihre Explosion auf die andere. Läßt man nun zwischen diesen beiden Patronen einen Zwischenraum und vergrößert diesen bei jedem weiteren Versuch, so findet man, daß die Sprengstoffe sich in Bezug auf die Uebertragungsfähigkeit nicht gleich verhalten, sondern daß vielmehr die Uebertragungsweite für jeden Sprengstoff kennzeichnend ist. In der Tabelle I, Spalte 14, sind die Uebertragungsweiten angegeben.

Die Uebertragung ist bei den Nitroglycerinsprengstoffen weiter als bei den Ammonsalpetersprengstoffen. Auch erfolgt die Zündung der ersteren durch eine kleinere Menge Knallquecksilber als bei den letzteren. Um über diese Vorzüge einige Klarheit zu gewinnen, wurde die Zündungsübertragung von Gelatinedynamit in Mengen von 1, 5, 10, 25, 50, 100 und 200 kg auf im Kreise vertheilte Ladungen von $\frac{1}{2}$ bis $2\frac{1}{2}$ kg versucht und diese zu 0,9, 1,45, 1,80, 2,25, 2,50, 2,75 und 5,25 m ermittelt. Wenn sämtliche Ladungen in Erde eingesetzt waren, fand von 10 kg Gelatinedynamit auf $2\frac{1}{2}$ kg und 1,00 m Entfernung keine Uebertragung statt. Es ist also wohl anzunehmen, daß die Stichflamme die Zündung bewirkt und daß deren Länge daher für die Uebertragung maßgebend ist. Die Länge der Stichflamme ist aber wiederum von der Menge der explodirenden Sprengstoffe abhängig. 10 kg Ammonsalpetersprengstoffe übertragen die Explosion auf $\frac{1}{2}$ kg Ladung nur auf 0,5 m Entfernung, Nitroglycerinsprengstoffe in gleicher Menge bis zu 4,5 m. Eine unfreiwillige Explosion in Keken im Jahre 1885 von 18 960 kg Dynamit und Sprenggelatine entzündete eine in 40 m Entfernung stehende Menge von rd. 150 kg Dynamit und eine ebensolche auf 50 m Entfernung, während eine 20 m weiter befindliche gleiche Menge nicht mehr zur Explosion gebracht wurde.

Findet in Folge schlechter Uebertragung eine unvollkommene Explosion statt, so verbrennt der Sprengstoff oder wird umhergeschleudert. Bei Nitroglycerinsprengstoffen bildet sich dann eine große, bei Ammonsalpetersprengstoffen eine geringe Flamme, die Schwadenbildung ist eine ganz andere als bei Detonationen. Unvollkommene Uebertragung ist gewöhnlich auf schlechtes Laden oder gefrorenes Nitroglycerin zurückzuführen.

VIII. Schlußfolgerungen.

Fassen wir die Ergebnisse der vorstehend im Einzelnen beschriebenen Untersuchungen nun in Hinsicht auf Wirkung und Wettersicherheit zusammen, so gibt die Texttafel, welche eine graphische Auftragung der verschiedenen Ziffern für die Schlegbuscher Sprengstoffe enthält, ein übersichtliches Bild.

Für die Wirkung kommen wesentlich die Linien des Druckes und der Detonationsgeschwindigkeit in Betracht, die Calorien sind das Maß der Wärme-Energie, welche bei der Umsetzung des festen Sprengstoffes in die angegebenen gasförmigen und festen Producte frei wird. Die Bleiblockuntersuchungen geben die Drucklinie in der im Abschnitt II angegebenen Weise. Die Reihe der Sprengstoffe ist, nachdem dem Sprengpulver eine besondere Stellung zu Anfang angewiesen worden, so gewählt, daß die Schlagwettergefährlichkeit von links nach rechts abnimmt. Dabei ergab sich fast von selbst, daß alle Linien mit Regelmäßigkeit nach rechts zu ebenfalls abfielen. Hieraus sind schon die Wechselbeziehungen zwischen Wirkung und Schlagwettergefährlichkeit im Allgemeinen zu ersehen.

Die Calorienlinie bleibt bei den kräftigeren Sprengstoffen über der Drucklinie, bei den schwächeren unter ihr. Wären beide Linien parallel, so würde man daraus entnehmen können, daß die Explosionsgase proportional der Wärmemenge expandirten. Die Abweichung der Linien zeigt, daß dies nicht der Fall ist.

Die Linie der Detonationsgeschwindigkeit schließt sich recht gut der Drucklinie an. Nur bei den Ammonsalpetersprengstoffen zeigt sie geringere Ordinaten. Dies erklärt sich daraus, daß der gewählte Durchmesser der Patronen von 30 mm noch nicht günstig genug für die Detonation dieses

Sprengstoffes gewählt ist und daß wahrscheinlich bei ganz fester Einschließung des Sprengstoffes die Detonationsgeschwindigkeit sich noch etwas größer ergibt ¹⁾).

In Bezug auf die Wirkung läßt sich der Schluß ziehen, daß sie unmittelbar von der Wärmemenge und der Detonationsgeschwindigkeit abhängig ist. In wie weit die Verschiedenheit der Menge an gasförmigen Schwaden und deren chemischer Zusammensetzung im Augenblick der Explosion auf die Wirkung von Einfluß ist, läßt sich noch nicht übersehen.

Was die Schlagwettersicherheit angeht, so sind Sprengpulver, Sprenggelatine, Guhrdynamit und Gelatinedynamit sehr unsicher. Die Ammonsalpetersprengstoffe zeigen (mit Ausnahme von Donarit, welches nur in Kalisalzwerken und Steinbrüchen verwendet wird) genügende, die Carbonite hervorragende Sicherheit. Zu den bei der Erörterung des Einflusses der verschiedenen Erscheinungen auf die Sicherheit genannten Umständen tritt noch die Länge und Dauer der Stichflamme hinzu. Man sieht aus der graphischen Darstellung sofort, daß die Flammenlänge und -Dauer bei Sprengpulver allein ausschlaggebend ist, während alle anderen Erscheinungen die Zündgefährlichkeit an sich nicht bedingen. Bei den Dynamiten tragen alle Erscheinungen ohne Ausnahme zu ihrer Schlagwettergefährlichkeit bei. Bei den Ammonsalpetersprengstoffen ist die Länge der Stichflamme, die Wärmemenge und der Druck höher, wie bei den Carboniten, deren größere Sicherheit gegenüber den Ammonsalpetersprengstoffen hierin ihren Grund hat. Wahrscheinlich wirkt aber noch das Wärmeverhalten der Nachschwaden des Sprengstoffes im Augenblick der Explosion mit. Bei den Carboniten zeigen alle Linien durchweg niedrige Ordinaten und wahrscheinlich erklärt sich aus dem Zusammenwirken aller Erscheinungen die große Sicherheit.

Allgemein läßt sich folgern, daß bei Sicherheitssprengstoffen die Detonationsgeschwindigkeit, die Wärmemenge, die Flammenlänge und -Dauer bei gegebenem Druck möglichst klein sein muß und daß keine dieser Erscheinungen eine gewisse Grenze überschreiten darf, weil ein Ausgleich durch überwiegend günstigen Einfluß der übrigen Erscheinungen nicht stattfindet. Diese durch die Linien der Texttafel anschaulich gemachte Erklärung bestätigt sich durch die Betrachtung der Vorgänge bei der Explosion der einzelnen Sprengstoffe und der Gründe ihrer mehr oder minder großen Schlagwettergefährlichkeit.

Beim Sprengpulver ist die lange Dauer der Berührung der Stichflamme mit dem Zündgemisch ausschlaggebend, gegen welche die niedrigen Calorienzahlen gar nicht in Betracht kommen. Von einer Detonation des Sprengpulvers ist selbst bei Anwendung einer Sprengkapsel und guter Einschließung kaum die Rede, es findet vielmehr eine schnelle Verbrennung statt. Die heißen Nachschwaden bleiben lange mit dem Zündgemisch in Berührung und selbst bei niedriger Temperatur muß die Zündung erfolgen.

Die hochhaltigen Nitroglycerinsprengstoffe detoniren sehr schnell, so schnell, daß das von der langen und heißen Stichflamme getroffene Zündgemisch, welches in die Versuchsstrecke eingeschlossen ist, nicht ausweichen kann und wenn auch die Berührung nur eine kurze ist, doch Zündung in Folge der größeren Wärmeentwicklung stattfindet.

¹⁾ Diese Vermuthung ist durch spätere Versuche bestätigt worden. Bei fester Einschließung ergaben sich höhere Werthe, und zwar für:

Donarit, eingeschlossen	4 137 m
„ nicht eingeschlossen	3 930 „
Ammoncarbonit I, eingeschlossen	3 195 „
„ nicht eingeschlossen	1 753 „
Ammoncarbonit, eingeschlossen	3 094 „
„ nicht eingeschlossen	1 649 „
Thunderite, eingeschlossen	3 654 „
„ nicht eingeschlossen	2 137 „

Die Linie der Werthe für die eingeschlossenen Sprengstoffe ist in der graphischen Tabelle punktirt angegeben.

Da Gelatinedynamit erheblich kürzere Flammendauer aufweist als Sprenggelatine und Guhrdynamit, ohne daß es deshalb sicherer ist, so muß man wohl annehmen, daß die größere Wärmemenge und die schnelle Detonation bei den hochhaltigen Nitroglycerinsprengstoffen die hauptsächlichsten Ursachen der Zündung sind.

Die Schlagwettersicherheit bei Mengen von 300 bis 400 g tritt erst ein, wenn wie bei den Ammonsalpetersprengstoffen die Wärmemengen, die Detonationsgeschwindigkeit und die Flammen-Dauer und -Länge erheblich und gleichzeitig zurückgehen. Erscheinungen, welche die Zündung veranlassen könnten, sind alsdann nicht mehr vorhanden.

Bei den Carboniten werden die Ordinaten bei allen Erscheinungen gleichmäßig noch niedriger als die der Ammonsalpetersprengstoffe und darin liegt der Grund ihrer größeren Sicherheit.

Daß aber bei zunehmender Menge sich in der Versuchsstrecke noch bei den sichersten bekannten Sprengstoffen Zündungen ergeben, ist aus den Uebertragungsversuchen zu ersehen, aus welchen hervorgeht, daß die Stichflamme der Sprengstoffe mit zunehmender Menge wächst.

In der Versuchsstation kann man ohne Gefährdung der Strecke mit größeren Mengen als 1 kg nicht wohl arbeiten. Die im Bergbau angewendeten Mengen Sprengstoff sind auch gewöhnlich geringer.

Die beschriebenen Versuche und Arbeiten wurden auf Anregung und unter Leitung des Verfassers zumeist in den Laboratorien der Carbonitfabrik zu Schlebusch durch Herrn Dr. Mettegang ausgeführt, welchem für den Entwurf und die Durchführung des mechanisch-technischen Theiles sowohl der Apparate als auch der Versuche die größte Anerkennung gebührt; auch die Herren Dr. Schmidt und Rudeloff waren an den Arbeiten betheilig. Die hier veröffentlichten Mittheilungen sind selbstverständlich nur das Endergebniß einer großen Anzahl von Einzelversuchen, welche in jahrelanger Arbeit gemacht werden mußten, um die Verfahren festzustellen und sie dann für die Gewinnung der Werthe für die einzelnen Sprengstoffe anzuwenden. Die Detonations- und Uebertragungsversuche wurden zu Anfang auf dem Schießplatz zu Kummersdorf, später in der Dynamitfabrik zu Wahn ausgeführt. Den betheiligten Behörden und Beamten sei an dieser Stelle für die bereitwillige Unterstützung gedankt. Die Kosten der Arbeit trugen die mit der Dynamit-Trust-Co. vereinigten Gesellschaften, zu denen auch die Sprengstoff-A.-G. „Carbonit“ gehört.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Tabelle II.

Name des Brennstoffes	Gewicht der Ladung mit Umhüllung und Zündung bei dem Versuch	Inhalt der Sprengkammer				Von den festen und flüssigen Rückständen sind				Gesamt- betrag der gasförmigen Schwaden während der Detonation		1 kg Sprengstoff ergibt während der Detonation							
		an abgekühlten Schwaden unter Druck		an festen und flüssigen Rückständen		Wasser während der Detonation	Kohlensäure	gas- förmig	gas- förmig	Während d. De- tonation dauernd feste bzw. ge- schmolzene Stoffe	g	l	1	l l wiegt g	g	pCt.	g	pCt.	feste oder flüssige Stoffe
		1	g	l l wiegt g	g														
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	
1. Sprengpulver	306	95,70	136,8	1,431	169,2	9,0	11,81	19,56	10,49	140,64	165,36	118	386	1,402	540	54	460	46	
2. Sprengelatine	102	48,08	72,5	1,510	29,5	29,5	38,7	0	0	0	102,0	86,78	851	1,175	1 000	100	0	0	
3. 75procentiges Guhrdynamit	106	37,21	60,53	1,625	39,97	14,97	19,64	0	0	25,00	75,5	56,85	536	1,33	750	75	250	25	
4. 65procentiges Gelatedynamit	156	48,07	75,9	1,577	80,1	16,43	21,56	11,85	6,36	51,82	104,18	75,99	487,5	1,37	668	66,8	332	33,2	
5. Donarit	206	124,44	134,6	1,081	71,4	71,4	93,6	0	0	0	206	218,04	1 023	0,946	1 000	100	0	0	
6. Ammoncarbonit I	206	98,00	121,5	1,24	84,5	68,26	89,6	4,3	2,31	11,94	194,06	189,91	922	1,003	942	94,2	58	5,8	
7. Ammoncarbonit	206	77,03	101,2	1,314	104,8	86,6	112,166	4,4	2,36	13,8	192,2	191,55	930	1,002	932,8	93,28	67,2	6,72	
8. Thunderite	206	76,05	103,5	1,361	102,5	102,5	134,5	0	0	0	206	210,55	1 021	0,879	1 000	100	0	0	
9. Carbonit II	206	120,6	107,5	0,892	98,50	19,45	25,55	14,18	7,61	64,87	141,13	153,72	746,5	0,919	685	68,5	315	31,5	
10. Carbonit I	256	139,8	120,5	0,862	135,5	33,1	43,6	27,16	14,57	75,24	180,76	197,97	773,5	0,914	706	70,6	294	29,4	
11. Kohlencarbonit	206	114,45	111,45	0,975	94,55	36,11	47,38	15,85	8,50	42,50	163,41	168,13	816,5	0,87	793,5	79,35	206,5	20,65	
12. Carbonite	206	122,15	118,8	0,966	87,2	13,10	17,20	17,95	9,63	56,15	149,85	149,98	729	0,999	729	72,9	275	27,5	

S. 61

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

33150
L. inw.

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN, BERLIN W 66 WILH

DES INGENIEURS TASCHENBUCH.

HERAUSGEGEBEN VOM AKADEMISCHEN VEREIN „HÜTTE“.

18. VÖLLIG UMGEARBEITETE AUFLAGE.

MIT ÜBER 1400 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.

8°. 1902. IN 2 LEDERBÄNDEN. PREIS 16 MARK.

DAS WESEN
UND DIE
BEHANDLUNG VON BRISANTEN
SPRENGSTOFFEN.

1888.

KL. 8°. CART. PREIS 60 PF.

POLIZEI-VERORDNUNG
DES
MINISTERS DES INNERN
UND DES
MINISTERS FÜR HANDEL UND GEWERBE
BETREFFEND DEN
VERKEHR MIT SPRENGSTOFFEN.

4°. 1893. PREIS 60 PF.

GRUNDRISS DER EISENHÜTTENKUNDE

VON

PROFESSOR DR. HERMANN WEDDING

KÖNIGL. GEHEIMER BERGRATH.

VIERTE UMGEARBEITETE AUFLAGE

MIT 205 IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN UND ZWEI STEINDRUCKTAFELN

GR. 8°. PREIS: GEH. 10 MARK, GEB. IN LEINEN 11,20 MARK.

DIE SIEDESALZ-ERZEUGUNG

VON IHREN ANFÄNGEN BIS AUF IHREN GEGENWÄRTIGEN STAND

NEBST

EINEM ANHANGE ÜBER SEESALINEN

VON

CARL BALTZ, EDLEM V. BALZBERG

BERGRATH.

MIT 4 ABBILDUNGEN IM TEXT UND EINEM ATLAS VON 19 TAFELN.

SONDERDRUCK AUS DER ZEITSCHRIFT FÜR DAS BERG-, HÜTTEN- UND SALINENWESEN
IM PREUSSISCHEN STAATE, JAHRGANG 1896.

TEXT QUART. ATLAS FOLIO. STEIF GEH. PREIS 32 MARK.

Druck von Oskar Bonde, Altenburg.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305732