

Wissenschaftliche Beilage zum Programm der Falk-Realschule.
Ostern 1882.

Über Explosivstoffe.

Von

Dr. P. Schellbach.

BERLIN.

Weidmannsche Buchhandlung.

1882.

BERL
18. (1882)

Wissenschaftliche Beiträge zum Fortschritt der Kalligraphie

Wien 1882

Über Explosivstoffe

Dr. F. Schellbach

VERLAG
Neubauer'sche Buchhandlung
1882

Über Explosivstoffe.

Seit der Erfindung des Schießpulvers bis gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts ist keine explosive Substanz entdeckt worden, die von irgend welcher Bedeutung für die Praxis geworden wäre, geschweige denn mit diesem ältesten aller Kraftmittel hätte rivalisieren können. Damals aber lernte man eine ganze Reihe neuer Verbindungen kennen, wie die Chlorate, die Pikrate, die Fulminate, den Chlorstickstoff u. a. m., alles explosive Substanzen, die, wenn auch von sehr kräftiger Wirkung, doch überaus gefahrvoll zu handhaben sind.

Deshalb hat man denn auch die Chloratpulver, dem Schießpulver ähnliche Gemenge, in denen der Salpeter durch Kaliumchlorat ersetzt ist, und deren fabrikmäßige Darstellung 1786 in Frankreich versucht wurde, sehr bald aufgeben müssen. Nur wie durch ein Wunder entging der Entdecker des Kaliumchlorats, der berühmte französische Chemiker Berthollet, bei einer Explosion in der Pulverfabrik von Essones, die sechs Menschenleben vernichtete, und die nur durch die Berührung einer kleinen Menge des neuen Chloratpulvers herbeigeführt wurde, einem schrecklichen Tode.

Zu den überraschendsten Resultaten hat aber eine von dem französischen Chemiker Braconnot zuerst in Anwendung gebrachte einfache Reaction geführt, die darin besteht, organische Körper mit konzentrierter Salpetersäure zu behandeln. Mittelst dieser Reaction ist von Braconnot 1832 das leicht verbrennliche Xyloidin, von Schönbein in Basel 1846 die Schiefsbaumwolle und von Sobrero in Paris 1847 das Nitroglycerin erhalten worden.

Seitdem hat man diese Reaction auf einige vielatomige Alkohole, wie das Glycol, den Erythrit, den Mannit u. a. m. angewandt, und so Verbindungen erhalten, die mit ähnlich explosiven Eigenschaften begabt sind wie die Schiefsbaumwolle und das Nitroglycerin.

Aber wie beträchtlich auch die Reihe der durch explosive Eigenschaften ausgezeichneten Präparate erweitert worden ist, so haben doch nur zwei, die Schiefsbaumwolle oder die Nitrocellulose im allgemeinen und das Nitroglycerin resp. die Nitroglycerinpulver den an Sprengmittel zu stellenden Anforderungen in solcher Weise genügt, daß sie mit Erfolg fabrikmäßig haben dargestellt werden können, nur diese beiden Präparate sind für die Industrie und den Krieg eminent nützliche Hülfsmittel geworden.

Gleichzeitig hat man spezielle Methoden, die Explosion dieser Substanzen hervorzurufen, entdeckt und hat mit denselben so ganz neue und furchtbare Wirkungen hervorbringen können.

Endlich hat man vom theoretischen Standpunkte aus die Ergebnisse der modernen Wissenschaft und speziell die Theorien der Thermochemie auf die explosiven Reaktionen anzuwenden versucht, um so die bereits beobachteten Erscheinungen zu erklären und diejenigen vorauszusagen, die in einem jeden speziellen Falle eintreten mußten.

Die Arbeiten von Abel, Nobel, Trauzl, Hefs, Berthelot und Vieille, Roux und Sarrau, Champion und Pellet u. a. m. zeigen, welche überraschenden Fortschritte auf dem Gebiete der Explosivstoffe in den letzten 15 Jahren gemacht worden sind.

Abel in Woolwich war es, der zuerst auf die unerläßlichen Bedingungen aufmerksam machte, unter denen die Explosion der wichtigsten Explosivstoffe hervorgerufen werden kann. Nobel aber entdeckte besondere Methoden, die momentane Zersetzung der Explosivstoffe einzuleiten und so deren gesamte Trieb- und Sprengkraft zu verwerten.

Die heutige Chemie führt bekanntlich die chemischen Vorgänge und die Verschiedenheit der Körper auf eine Anzahl sogenannter Elemente, d. h. solcher Körper zurück, welche sich bis jetzt einer weiteren Zerlegung in ungleichartige Bestandteile als nicht fähig und nach Qualität und Quantität unwandelbar erwiesen haben und geht von der Grundvorstellung aus, daß die Materie sich in einzelne Teilchen gliedert. Diese als unmeßbar klein geltenden Teilchen hat man Atome genannt. Den Atomen schreibt man Bewegungen verschiedener Art zu; geradlinig fortschreitende, periodisch schwingende. Man nimmt kreisende Bewegungen wie bei den Planeten auch in dieser kleinen Welt an, und daneben Drehungen um die eigene Axe. Es sind aber die Atome nicht jedes für sich frei beweglich, sondern durch wechselseitig ausgeübte Kräfte, durch ihre Affinität sind sie unter einander verbunden. Hierdurch entstehen Vereinigungen der Atome zu größeren Massen, welche man Moleküle nennt. Demnach hat man Atombewegung und Molekularbewegung zu unterscheiden. Unter der letzteren kann die fortschreitende Bewegung des gemeinsamen Schwerpunkts der das Molekül bildenden Atome verstanden werden, während zur Atombewegung alle die Bewegungen zu rechnen sind, welche die einzelnen Atome jedes für sich ausführen können, ohne den Zusammenhang des Moleküls zu zerreißen.

Ähnlich wie die Atombewegung den Zusammenhang des Moleküls aufzulösen sucht, so lockert die Molekularbewegung sowohl durch den Stoß, als auch durch die Fliehkraft der Moleküle die Festigkeit, mit welcher die Teile eines Körpers zusammenhalten. Ihr wird aber das Gleichgewicht gehalten, wenn nicht durch einen äußeren Druck, so durch die Cohäsion, eine Kraft, die als identisch mit der Affinität betrachtet werden kann. Der Ursprung der Cohäsion kann in dem Überschuss der Affinität über die zersetzende Wirkung der Atombewegung gesucht werden, einem Überreste, der nicht weiter vermag ein Atom in den Verband des Moleküls aufzunehmen und festzuhalten, der aber genügt benachbarte Moleküle, wenn auch nur schwach zu fesseln.

Unveränderter Bestand der Moleküle, d. i. chemisches Gleichgewicht wird erhalten, wenn die die Atome zusammenhaltende Affinität, den Kräften das Gleichgewicht hält, welche den Zusammenhang der Moleküle lockern. Diese Kräfte entstehen aus der Bewegung der Atome, teils durch Zusammenstoß der vibrierenden, teils aus der Centrifugalkraft der rotierenden.

In einem chemisch stabilen Körper werden demnach die Atombewegungen in dauerndem dynamischen Gleichgewicht mit den chemischen Kräften erhalten und ihre Wirkungen durch diese überwunden.

Die Bewegungen, die die Atome im Molekül vollbringen, sind abhängig von der Art ihrer Anordnung in demselben. Ähnlich wie wir in unserem Sonnensystem einen Gleichgewichtszustand erblicken müssen, in welchem die einzelnen Himmelskörper, die Atome dieses Weltmoleküls gewisse Bewegungen vollbringen, die aber durch die Verteilung der Kräfte im System selbst bestimmt sind, so lange das System seinen eigentümlichen Charakter behalten soll, so sind im Molekül die Atome zu einem geschlossenen Systeme gruppiert und bilden ein selbständiges Ganze, das zu anderen Molekülen in gewisse Beziehungen treten kann, wie ja unser Sonnensystem zu anderen Systemen des Himmelsraumes in gewissen Beziehungen steht.

Explosive Reaktionen.

Alle chemischen Veränderungen, seien es Verbindungen oder Zersetzungen, werden Reaktionen genannt. Reaktionen erfolgen in oder zwischen Molekülen. Dieselben Atome, die vor der Reaktion vorhanden waren, finden sich nach der Reaktion, aber anders gruppiert, und bilden nun andere Moleküle als die waren, die in die Reaktion eintraten.

Reaktionen können schnell oder langsam erfolgen und können von Entwicklung von Gas, Wärme, Licht, Elektrizität u. a. m. begleitet sein. Sind diese Erscheinungen gewisser Art, dann erfolgt Explosivwirkung und explosive Reaktionen werden erhalten.

Versteht man unter Explosion eine sich fast momentan vollziehende Reaktion, so kann Explosion als eine chemische Veränderung definiert werden, die die plötzliche oder außerordentlich schnelle Bildung eines großen Volumens hochgespannter Gase veranlaßt. Diese Gase bringen in einem geschlossenen Raume beträchtliche Drucke und eine große Summe mechanischer Arbeit hervor. Substanzen, die solch eine Veränderung durch Wärme oder eine andere störende Ursache erfahren, werden Explosivstoffe genannt. Oder als Explosivstoffe sind solche zusammengesetzte Körper oder solche Gemenge von Körpern zu betrachten, die die Eigenschaft zeigen, daß durch irgend einen Bewegungsimpuls eine plötzliche Umlagerung ihrer Atome unter Bildung vorwiegend gasförmiger Produkte eingeleitet wird. Diese Produkte nehmen ein viel größeres Volumen ein, als es dem ursprünglichen Stoffe zukam, und werden noch außerdem durch die bei diesem Prozesse frei werdende Wärme weiter expandiert. An in ihrer Nähe befindlichen widerstandsfähigen Objekten äußern sie dann treibende oder brechende Wirkungen.

Feuererscheinungen und mehr oder weniger heftige akustische Effekte sind Phänomene, die den Vorgang einer Explosion in den meisten Fällen, aber nicht immer, begleiten.

Explosivstoffe können fest, flüssig oder gasförmig sein, bald sind es Gemenge einfacher Körper, wie das Gemenge von Sauerstoff und Wasserstoff, das Knallgas; bald chemische Verbindungen, wie der Chlorstickstoff, das Nitroglycerin u. a. m.; bald sind es Gemenge mehrerer chemischer Verbindungen, wie z. B. die Pikratpulver, Gemenge von Kalium- oder Ammoniumpikrat mit Kaliumnitrat resp. Kaliumchlorat; oder endlich Gemenge chemischer Verbindungen und einfacher Körper wie das aus Kaliumnitrat, Schwefel und Kohle bestehende gewöhnliche Schießpulver.

Dieser Verschiedenheit in der Zusammensetzung entspricht eine gleiche Verschiedenheit in der Natur der chemischen Wirkungen, welche die Wärme erzeugen und die Gase entwickeln.

In dem Knallgase, dem aus Sauerstoff und Wasserstoff gebildeten explosiven Gemenge, entstehen diese Wirkungen durch die Verbindung der beiden einfachen Körper in Folge der Verbrennung des Wasserstoffs.

Im Chlorstickstoff dagegen sind diese Wirkungen Folge der Trennung der beiden Elemente; die Zersetzung der flüssigen Verbindung läßt Chlor und Stickstoff entstehen und entwickelt Wärme.

Bei den explosiven chemischen Verbindungen, wie der Schiefsbaumwolle oder dem Nitroglycerin, und ebenso bei den Pulvern, bei denen Nitrate oder Chlorate die Basis bilden, erfolgt die Zersetzung des Explosivstoffes in seine Bestandteile unter Wärmeabsorption, aus den Zersetzungsprodukten werden aber sofort neue Verbindungen unter viel beträchtlicherer Wärmeentwicklung gebildet, so daß auch hier die Reaktion mit Gas- und Wärmeentwicklung endigt. Fast ausschließlich diese Explosionen finden technische Verwendung.

Die bei der Explosion entwickelte Wärme wird zum Teil zur Erhitzung des die Ladung einschließenden Materials und auch der umgebenden Luft verwendet, ein Teil verbleibt in den festen und gasigen Verbrennungsprodukten, ein anderer Teil wird durch die Expansion der Gase absorbiert, in dem Maße, als der Raum, in dem dieselben sich befinden, in Folge der Fortschiebung, der Verdämmung oder des Berstens der Wandungen des Recipienten größer wird. Alle diese Wärmewirkungen einer Explosion tragen nicht dazu bei, das beabsichtigte Resultat herbeizuführen.

Der Rest der Wärme tritt unter der Form von mechanischer Arbeit auf. Er setzt das die Ladung einschließende Material und die Atmosphäre in Vibrationen, er macht sich durch Reibungen der Gasmasse an den Wandungen der Umhüllung bemerklich, er deformiert oder zerschmettert einen Teil dieser letzteren, er zerreißt und bringt andere aus den Fugen, er teilt dem Projectile der Verdämmung und den Bruchstücken des Recipienten mehr oder weniger rapide, oder mehr oder weniger weite Bewegungen mit.

In dieser zweiten Gruppe von Wirkungen sind die einen nützlich je nach dem Endzweck, den man beabsichtigt, die andern sind verloren oder selbst schädlich.

Handelt es sich z. B. darum, einem Projectile eine große Geschwindigkeit zu erteilen, so sind der Rückschlag der Waffe die Vibration des Rohres, der durch die Erschütterung der Luft hervorgebrachte Knall, die Erhitzung der Waffe und des Projectils unnütze oder schädliche Wirkungen; die lebendige Kraft, die der Flinten- oder Kanonenkugel mitgeteilt worden, ist die einzige nützliche Wirkung der Explosion. Beim Sprengen von Felsen will man keine Zerreibung, keine Vibration, kein Fortschleudern der Bruchstücke; die Zerreißen des Felsens mit einer mächtigen Fortschiebung der Bruchstücke ist der einzige wirklich nützliche Effekt.

Ursachen der Explosionsfähigkeit.

Je komplizierter die chemische Structur eines Körpers, desto leichter im allgemeinen kann eine Umlagerung seiner Bestandteile erfolgen, keineswegs aber wächst mit der größeren Anzahl der Atome in seinem Molekül stets auch seine Zersetzbarkeit, diese ist vielmehr durch einen gewissen labilen Gleichgewichtszustand in seinen Molekülen bedingt, der den gegenseitigen Bindungen gewisser Elemente in hervorragendem Grade innezuwohnen scheint. Der Chlorstickstoff, ein Körper von einfachster chemischer Struktur, sein Molekül besteht aus 1 Atom

Stickstoff und 3 Atomen Chlor, zerfällt gleichwohl schon bei der geringsten Erschütterung unter heftigster Explosion in seine elementaren Bestandteile. Ebenso sind die Verbindungen des Stickstoffes mit Jod und Brom und mit einigen Metallen wie Silber und Gold, ferner die Verbindungen des Stickstoffes mit Sauerstoff, dann einige organische Stickstoffverbindungen aus der Gruppe der sogenannten Azoverbindungen, wie das Diazobenzolnitrat, ferner die Verbindungen des Chlor mit Sauerstoff, sowie andere an Sauerstoff reiche Substanzen, im allgemeinen leicht einer plötzlichen Zersetzung fähig. Enthalten diese letzteren außerdem noch solche Stoffe in chemischer Verbindung, oder auch nur mechanisch ihnen beigemischt, die wie z. B. Phosphor, Kohlenstoff oder Wasserstoff eine überwiegende Affinität zum Sauerstoff besitzen, so erfolgt die Zersetzung dieser Körper noch viel leichter.

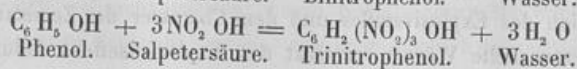
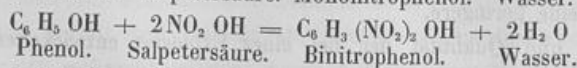
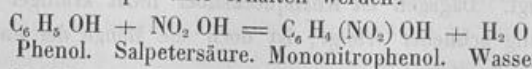
Von mechanischen Gemengen haben sich daher vor allem die Mischungen brennbarer Substanzen, wie Schwefel, Kohle, Holz, Phosphor, Zucker u. a. m. mit Nitraten und Chloraten als Explosivstoffe erwiesen, während unter den explosiven chemischen Verbindungen, die wichtigste Klasse von jenen Körpern gebildet wird, in deren Struktur die Atomgruppe NO_2 , die sogenannte Nitrogruppe enthalten ist, wie in der Schiefsbaumwolle, dem Nitroglycerin u. a. m.

Der Nitrirungsprozefs.

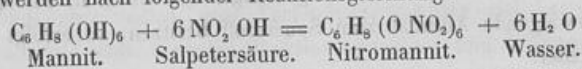
Die durch hervorragend explosive Eigenschaften ausgezeichneten Präparate, die Schiefsbaumwolle, das Nitroglycerin, die Pikrinsäure, das Knallquecksilber, der Nitromannit, das Diazobenzolnitrat u. a. m. werden sämtlich durch Einwirkung von konzentrierter Salpetersäure auf gewisse organische, Wasserstoff enthaltende Substanzen aus den Gruppen der Fettkörper oder der aromatischen Substanzen erhalten. Bei diesem Prozesse, dem Nitrirungsprozesse, substituiert die von der Salpetersäure NO_2OH abgegebene Atomgruppe NO_2 , die sogenannte Nitrogruppe, von den in einem Moleküle der erwähnten organischen Verbindungen enthaltenen Wasserstoffatomen eines oder mehrere, während der austretende Wasserstoff an Stelle der Nitrogruppe in einem oder in mehreren Molekülen Salpetersäure tritt und mit den Resten dieser Moleküle Wasser bildet.

Beteiligt sich bei dieser Reaktion auf je ein Molekül der organischen Substanz nur ein Molekül Salpetersäure, so wird ein Mono-Nitropräparat erhalten. Aber auch zwei, drei oder mehrere Moleküle Salpetersäure können auf ein Molekül der zu nitirenden organischen Substanz einwirken, so dafs die Bildung von Bi-, Tri-, ja Hexa-Nitropräparaten erfolgt.

Bei Einwirkung von Salpetersäure auf Phenol, z. B. einer unter dem Namen Carbolsäure allgemein bekannten Substanz, deren Zusammensetzung durch die Formel $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ausgedrückt wird, können in einem Phenolmolekül ein, zwei, und selbst drei Wasserstoffatome durch ein, zwei und drei Nitrogruppen NO_2 einer entsprechenden Anzahl Salpetersäuremoleküle substituiert werden und so folgende drei Nitroprodukte erhalten werden:



Die Anzahl der Wasserstoffatome, welche in einem Molekül des zu nitrirenden Körpers durch die Nitrogruppe ersetzt werden können, ist in erster Linie von der Natur des betreffenden organischen Körpers abhängig, dann aber auch von den Umständen, unter denen der Nitrirungsprozess vor sich geht. Je konzentrierter die angewendete Salpetersäure und je länger die Dauer ihrer Einwirkung ist, desto mehr Wasserstoffatome werden im allgemeinen durch die Nitrogruppe substituiert. Bei Nitrirung des Mannit's, einer aus der Manna, dem eingetrockneten Saft der Mannasche gewonnenen Zuckerart, können 6 Wasserstoffatome durch eine gleiche Anzahl Nitrogruppen substituiert werden nach folgender Reaktionsgleichung:



Soll die zu nitrirende organische Substanz für Sprengzwecke dienen, so muß die Nitrirung so weit als möglich getrieben werden. Bei der Schiefsbaumwolle muß die Trinitrocellulose, bei dem Glycerin das Trinitrin erhalten werden, denn die Explosivität überhaupt und das Maß von Kraftentfaltung der Nitroverbindungen wird vorzugsweise durch die Anzahl der Nitrogruppen in einem Molekül dieser Nitroverbindungen bedingt. Dazu kommt, daß nur die höchst nitrierten Produkte dieser Substanzen von solcher Stabilität sind, daß der Fachkundige sie ohne Gefahr gebrauchen kann. Diese höchst nitrierten Produkte sind im allgemeinen äußerst schwierig im reinen Zustande zu erhalten, bei der Darstellung im großen gelingt dies niemals. Bei der kräftigsten Schiefsbaumwolle, beim kräftigsten Nitroglycerin ist die Trinitrocellulose stets von schwächer nitrierter Cellulose, das Nitroglycerin von schwächer nitriertem Glycerin, ja die Trinitrocellulose selbst von nicht nitrierter Baumwolle begleitet.

Da bei dem Nitrirungsprozesse die Salpetersäure unter Wasserbildung aufgebraucht wird, verliert die noch vorhandene Säure die erforderliche Konzentration und somit ihre Fähigkeit zum Nitriren. Aus diesem Grunde verwendet man zum Nitriren ein Gemenge von Salpeter- und Schwefelsäure, welche letztere dadurch, daß sie das bei der Reaktion gebildete Wasser bindet, der Salpetersäure längere Zeit die nötige Konzentration erhält.

Explosivwirkung.

Explosivwirkung entsteht durch den Stoß oder Impuls, den in einem geschlossenen Raume sich plötzlich entwickelnde Gase liefern. Der Charakter einer explosiven Reaktion ist abhängig von der Größe der Volumveränderung, die die ursprüngliche Substanz durch sie erfährt, und von der Kürze der Zeit, die zu dieser Veränderung erforderlich ist. Beide dieser Ursachen wirken in größerer oder geringerer Ausdehnung bei allen explosiven Reaktionen, gelangen beide zu voller Wirkung, so erfolgt die energischste Reaktion, d. i. die heftigste Explosion. So ist Nitroglycerin sehr viel kräftiger und heftiger als Schiefspulver, weil es ein größeres Gasvolumen in kürzerer Zeit erzeugt. Dagegen ist Knallquecksilber nicht kräftiger als Schiefspulver, denn obgleich seine Zersetzung schneller erfolgt, ist doch die Menge der entwickelten Gase und die Reaktionstemperatur eine geringere.

Die Qualität und Quantität der bei einer Explosion entwickelten Gase hängt von der chemischen Constitution des Explosivstoffes und dem Charakter der Zersetzung ab. Die während der Reaktionsdauer entwickelte Wärme verstärkt den Explosionseffekt dadurch, daß sie das ent-

wickelte Gasvolumen expandiert. Die bei einer Explosion auftretende Wärmemenge ist eine ganz bestimmte und stets dieselbe, mag die Explosion langsam oder schnell vor sich gehen. Die Explosivwirkung hängt aber, wie ersichtlich, zum großen Teil von der Schnelligkeit ab, mit der die Bildung und Expansion der Gase erfolgt. Erfährt demnach ein Explosivstoff dieselbe chemische Veränderung, auf welche Weise man seine Entzündung auch bewirkt, so wird die gesamte Summe von Kraft, die er entwickelt, zwar stets dieselbe sein, aber die Explosivwirkung wird zunehmen in dem Maße, als die Reaktionsdauer abnimmt.

Die eine Explosion begleitenden Umstände.

Auf Explosionen sind die Umstände, unter denen dieselben erfolgen, von großem Einfluß. Verschiedene Substanzen geben natürlich verschiedene Resultate, weil ihre Zusammensetzung und ihre Reaktionen verschieden sind. Doch auch dieselbe Substanz kann eine verschiedene Explosivwirkung äußern, wenn die Bedingungen, unter denen sie gezündet wird, variieren. Hierdurch kann entweder die Schnelligkeit oder das Resultat der Reaktion geändert werden. Je kürzer die Reaktionsdauer, um so schärfer und heftiger wird die Explosion.

Im allgemeinen sind folgende Umstände auf die Explosion einer Substanz von Einfluß:

- 1) Die physikalische oder mechanische Beschaffenheit des Explosivstoffes.
- 2) Die äußeren Bedingungen, unter denen der Explosivstoff entzündet wird.
- 3) Die Zündungsart.

Die physikalische oder mechanische Beschaffenheit der Explosivstoffe.

Beispiele in Menge können angeführt werden, die den Einfluß zeigen, den die physikalische Beschaffenheit eines Explosivstoffes auf seine Explosion hat. Dasselbe Gemenge aus Kohle, Schwefel und Salpeter giebt einen sehr verschiedenen Effekt, wenn dasselbe in die Form großer oder kleiner Körner gebracht wurde.

Nitroglycerin bei Temperaturen über $+8^{\circ}\text{C}$ eine ölige Flüssigkeit, kann durch die Explosion eines mit 20—25 dcg Knallquecksilber geladenen Zündhütchens zu sehr heftiger Explosion gebracht werden. Unter $+8^{\circ}\text{C}$ gefriert Nitroglycerin und in diesem Zustande sind 25 dcg explodierendes Knallquecksilber ohne Wirkung auf dasselbe.

Geschmolzener Nitromannit gelangt viel schwieriger zur Explosion, als der aus einer Lösung gefällte, der sich infolge hiervon in einem Zustande feiner Verteilung befindet.

Schiefsbaumwolle bietet das auffallendste Beispiel des Einflusses, den veränderte mechanische Beschaffenheit eines Explosivstoffes auf seine Explosion hat. Lose, nicht komprimierte Schiefsbaumwolle, auf Schiefspulver gelegt, brennt, mit einer Flamme entzündet, so schnell ab, daß sie das Pulver nicht in Brand zu setzen vermag; wenn zu Fäden versponnen, oder in die Form eines Gewebes gebracht, wird die Schnelligkeit ihrer Verbrennung so herabgemindert, daß sie für artilleristische Zwecke oder für Schnellzünder benutzt werden kann. Stark komprimierte und feuchte Schiefsbaumwolle brennt ganz langsam ab. Trockene Schiefsbaumwolle kann durch einen Knallzünder zur Explosion gebracht werden; nasse Schiefsbaumwolle nur durch die Explosion einer kleinen Menge trockner Schiefsbaumwolle, die man durch Knallquecksilber zündet.

Die äußeren Bedingungen, unter denen ein Explosivstoff entzündet wird.

Alle Explosivstoffe müssen sich im Einschluss befinden, sollen sie ihre volle Wirkung äußern. Auch die schnellste Explosion bedarf zu ihrer Beendigung einer gewissen Zeit. Der Einschluss braucht aber um so schwächer zu sein, in je kürzerer Zeit die Explosion sich vollzieht. Bei den Explosivstoffen, die plötzlich oder sehr heftig explodieren, ist ein so schwacher Einschluss erforderlich, dass derselbe für praktische Zwecke ganz unterbleiben kann.

Lange Zeit hat man geglaubt, dass, wenn ein Explosivstoff in einem mit hinreichend weiter Öffnung versehenen Recipienten explodiert, die bei der Explosion entwickelten Gase durch die vorhandene Öffnung entweichen würden, ohne brisante Wirkungen zu äußern. Man glaubte nämlich, ein Bruch könne an einer Stelle nur dann eintreten, wenn der dem Gasdruck entgegengesetzte Widerstand an dieser Stelle viel schwächer ist, als an allen anderen. Die Erfahrung hat aber gezeigt, dass gewisse Substanzen die Gegenstände, mit denen sie einfach in Berührung sind, im Momente der Explosion zertrümmern. Bringt man auf eine Platte von Marmor oder Eisen kleine Mengen Chlorstickstoff zur Explosion, so werden diese Platten zerschmettert, während dieselben intakt bleiben, wenn auf ihnen selbst beträchtliche Mengen Schießpulver explodiert werden. Diese Verschiedenheit in den Wirkungen des Schießpulvers und denen des Chlorstickstoffs ist dem Umstande zuzuschreiben, dass die Explosion des Schießpulvers eine verhältnismäßig langsame ist, so plötzlich sie auch scheint, während die des Chlorstickstoffs die ganze Gasmasse die sie zu entwickeln vermag, momentan liefert. Da die Gase sich dem Anscheine nach ungehindert in der Luft verbreiten können, sollten sie brisante Wirkungen nicht äußern. Da aber das Gegenteil geschieht, so kann man nur annehmen, dass die bei einer momentanen Explosion entwickelten Gase nicht Zeit haben, sich zu expandieren, da sich die umgebende Luft nur sehr wenig in einer sehr kurzen Zeit von ihrem Platze entfernt. Daher ist der Druck dieser Gase, auch nach beendigter Explosion, noch so beträchtlich, dass er ähnlich dem in einem geschlossenen Gefäße entwickelten Drucke, brisante Wirkungen hervorzubringen vermag. Es muss demnach die atmosphärische Luft fast wie ein fester Widerstand wirken.

Chlorstickstoff ist einer der plötzlichsten und heftigsten von allen Explosivstoffen. Bei seiner Explosion wird er aus einer wässerigen Flüssigkeit erhalten und daher ist er, wenn er benutzt wird, nass oder von einer sehr dünnen Wasserschicht bedeckt. Diese Schicht, nicht dicker als 0,3 mm, ist ein notwendiger und hinreichender Einschluss, wird sie entfernt, so ist der Effekt der Explosion ein viel geringerer.

Schießpulver verlangt starken Einschluss, weil seine Explosion verhältnismäßig langsam verläuft. Daher müssen beim Abfeuern großer unter Wasser versenkter Pulverladungen die die dieselben einschließenden Gefäßwandungen so stark sein, dass ein Bersten derselben nicht eher erfolgt, als bis alles Pulver in Brand gesetzt ist, da sonst ein mehr oder weniger großer Teil der Ladung unverbrannt in das Wasser geschleudert wird. Dies tritt beim Abfeuern grobkörnigen Pulvers in schweren Geschützen nicht selten ein. Das Geschoss verlässt das Geschützrohr, noch bevor alles Pulver entzündet ist, und Körner oder Klumpen werden unverbrannt herausgeschleudert. Der für langsam abbrennende Explosivstoffe erforderliche starke Einschluss kann schwächer sein, wenn man die Ladung gleichzeitig an mehreren Punkten zündet, denn

hierdurch gelangt dieselbe in kürzerer Zeit zu vollständiger Explosion. Wird daher bei in schwachem Einschlusse befindlichen Pulverladungen versäumt, in dieser Weise zu operieren, so werden selbst mit sehr beträchtlichen Pulvermengen verhältnismäßig nur geringe Wirkungen erzielt. Dies haben im amerikanischen Bürgerkriege General Buttler und Admiral Porter erfahren, die durch die Explosion von 250 Tonnen Pulver in der Nähe des Forts Fisher (Nord-Carolina) dieses Fort zu zerstören hofften. Das Unternehmen scheiterte total, hauptsächlich deswegen, weil anstatt der nötigen elektrischen Zündung, welche eine gleichzeitige Zündung des Pulvers an mehreren Punkten mit Sicherheit ermöglicht hätte, eine Percussionsvorrichtung sehr primitiver Natur zur Anwendung gelangte. Die Pulvermassen waren auf der Louisiana, einem alten Baumwollschiff, teils in Säcken, teils in Fätschen à 25 kg untergebracht. Bei der Explosion wurden deutlich vier aufeinanderfolgende Detonationen gehört. Es ist fast gewiß, daß die Percussionsvorrichtungen gänzlich versagten und erst durch das am Buge der Louisiana angezündete Feuer die Explosion erfolgte. Fort Fisher blieb gänzlich unbeschädigt und glaubte man dort, ein föderiertes Schiff sei zufällig in die Luft geflogen. General Grant erzählt, daß kolossale Pulvermassen in die Luft geschleudert wurden und sich erst später entzündeten, oder unverbrannt in das Wasser fielen.

Zündungsart.

Bei einer Explosion übt die Art, in der man dieselbe einleitet, einen wichtigen Einfluß. Die Anwendung von Wärme direkt oder indirekt ist das hauptsächlichste Mittel eine Explosion hervorzurufen. So wird die Ladung in den Schußwaffen durch die Perkussionskapsel entzündet, ebenso entzündet ein durch einen galvanischen Strom zum Glühen erhitzter feiner Platindraht den Explosivstoff der mit ihm in Berührung ist. Reibung, Stofs, Schlag, bringen indirekt dieselbe Wirkung hervor, durch Umsetzung von mechanischer Energie in Wärme, die dem Körper, der explodiert werden soll, mitgeteilt wird.

Wird ein Explosivstoff zur Zündung eines anderen benutzt, so verläuft die Explosion wesentlich anders, als wenn die Zündung durch eine einfache Flamme bewirkt wird. In letzterem Falle erfolgt eine verhältnismäßig langsame Verbrennung und brisante Wirkungen werden nicht erhalten. In ersterem Falle ist die Verbrennung eine fast momentane und von brisanten Wirkungen begleitete, denn der von dem Zündungskörper gelieferte Stofs wird mit viel größerer Schnelligkeit durch die zu explodierende Masse verbreitet, als eine von Teilchen zu Teilchen fortschreitende Entzündung.

Die mittelst einer Flamme bewirkte Verbrennung eines Explosivstoffs, bringt die wenigst heftigen Resultate hervor; die Energie brisanter Wirkungen äußert sich nur unter dem Einfluß einer viel mächtigeren Ursache, wie eines Stofses.

Eine in einer widerstandsfähigen Umhüllung eingeschlossene kleine Dynamitladung, mit einer Flamme entzündet, brennt ohne Explosion ab; wird eine solche Ladung aber auf eine harte Unterlage geschleudert, so erfolgt eine von brisanten Wirkungen begleitete Explosion des Dynamits. Verliert aber der Stofs an Intensität, so kann er die Fähigkeit, brisante Wirkungen hervorzubringen, einbüßen.

Schießt man eine Gewehrkuugel auf eine, gegen eine Holzplanke oder Eisenblechplatte anliegende kleine Dynamitladung, die in einer Pergamentpapierhülle eingeschlossen ist, so gelangt

das Dynamit zur Explosion, das Holz oder Eisen mehr oder weniger beschädigend. Hängt man aber die Ladung frei in der Luft an einen Faden auf, der Art, daß sie infolge des Stofses den sie von dem Geschosse empfängt, eine gewisse Geschwindigkeit annehmen kann, so gelangt das Dynamit nicht zur Explosion. In diesem Falle hat sich das Dynamit der Wirkung des Geschosses ein wenig entzogen, der Stofs hat von seiner Intensität verloren.

Das Mittel, explosive Substanzen zu möglichst schneller Verbrennung zu bringen, besteht also darin, auf dieselben einen heftigen lokalen Stofs auszuüben, wie solchen am besten gewisse Knallpräparate bei ihrer Explosion liefern. Diese besondere Zündungsart, die Zündung durch Detonation genannt wird, ist anfangs der 60er Jahre von dem schwedischen Chemiker und Ingenieur Alfred Nobel entdeckt worden. Sie bildet die Basis für die Anwendung des Nitroglycerins in der Sprengtechnik, mehr noch, von ihr datiert die ganze moderne Entwicklung des Sprengwesens.

Die Explosion des Nitroglycerins z. B. kann mit Sicherheit nur durch Detonationszündung bewirkt werden. Unter dem Einflusse einer lokalen Detonation explodiert das Nitroglycerin nicht allein, wenn es sich nicht im Einschlufs befindet, sondern es kann sogar durch seine Anwesenheit die plötzliche Verbrennung von Substanzen bewirken, die ohne seine Hilfe absolut unexplodierbar sind. Ein Gemenge von Kalium- oder Ammoniumnitrat mit Kohle oder Schwefel bildet nicht einen Explosivstoff im eigentlichen Sinne des Wortes. Werden dem Gemenge 10—15 pCt. Nitroglycerin zugesetzt und dieses durch Knallquecksilber detoniert, so läßt der heftige vom Nitroglycerin gelieferte Stofs diese Komposition mit außerordentlicher Gewalt explodieren. Ebenso werden Sägespähne, Harze, Stärke, Zucker, Gummi und eine Menge anderer Substanzen in Vermischung mit einem Nitrat sehr wirksame Explosivstoffe, wenn man zu ihnen eine gewisse Menge Nitroglycerin hinzufügt.

Man kann sich in folgender Weise diesen außerordentlichen Einflufs des Nitroglycerins auf langsam verbrennliche Pulver, ja selbst auf anscheinend unverbrennliche Substanzen erklären.

Infolge seines flüssigen Zustandes befindet sich das Nitroglycerin in inniger Berührung mit den einzelnen Teilchen des Gemenges und wenn die Detonation erfolgt, ist die Nitroglycerinschicht, die jedes Teilchen umhüllt, augenblicklich in eine sehr dichte Gasatmosphäre verwandelt, die zudem eine Temperatur von 3000°—4000° C. hat. Man begreift, wie sehr ein solches Gasbad, zudem von so hoher Temperatur, geeignet ist, selbst die langsamsten Verbrennungen zu beschleunigen.

Die Wirkung eines Knallzünders behufs Detonation explosiver Substanzen ist viel komplizierter und läßt sich nicht so leicht erklären.

Man kann annehmen, daß der Stofs, den die von dem Knallzünder plötzlich gelieferten Gase ausüben, erschütternd auf den Körper wirkt, der explodiert werden soll. Die Teilchen dieser Gase werden mit großer Geschwindigkeit fortgeschleudert, aber da die Umgebung ihnen Widerstand entgegensetzt, werden sie aufgehalten und ihre Energie setzt sich in Wärme um. Dennoch kann die Wirkung von Knallzündern auf explosive Substanzen nicht völlig in dieser Weise erklärt werden. Bestände sie einfach in Umwandlung von Energie in Wärme, dann müßte auch das kräftigste Knallpräparat das beste Agens sein, Explosionen hervorzurufen. Dies ist aber nicht der Fall.

Nitroglycerin entfaltet bei seiner Explosion zum mindesten eine ebenso hohe Kraft als Knallquecksilber, aber, wenn ein Gramm des letzteren unter gewissen Bedingungen detonierend,

die Explosion eines gegebenen Schiefsbaumwollquantums einzuleiten vermag, gelingt es nicht, selbst mit der 70fachen Menge von Nitroglycerin unter denselben Umständen ein gleiches Schiefsbaumwollquantum zur Explosion zu bringen. Die Schiefsbaumwolle wird allerdings förmlich in Staub verwandelt, und wenn sie sich auf einer Unterlage von Holz befindet, werden Partikelchen tief in das Holz getrieben und dieses selbst in kleine Stückchen zerschmettert.

Nach Versuchen von Abel in Woolwich veranlaßt die Detonation von 7 g komprimierter Schiefsbaumwolle die gleichzeitige Detonation von Nitroglycerin, das in einem Gefäß von Zinn eingeschlossen ist, und das sich in einer Entfernung von 2,5 cm von der Schiefsbaumwolle befindet. Die Detonation von 14 g Schiefsbaumwolle bringt dieselbe Wirkung hervor bei einem Zwischenraume von 7,6 cm zwischen den Explosivstoffen.

Die Detonation von 57 g Nitroglycerin aber, das in unmittelbarer Berührung mit komprimierter Schiefsbaumwolle ist, vermag nicht die Detonation dieser letzteren herbeizuführen.

Andererseits kann Nitroglycerin mit Sicherheit durch die Detonation von ein Paar Decigramm Knallquecksilber zu vollkommener Explosion gebracht werden, während mit einer sehr viel größeren Schiefspulvermenge, die Explosion des Nitroglycerins eine weniger sichere und außerdem auch weniger heftige ist.

Frei liegender Nitromannit kann durch die Explosion von Knallquecksilber und anderen Knallpräparaten nicht zur Detonation gebracht werden, während explodierendes Diazobenzolnitrat den Nitromannit sofort detonieren läßt.

Es müssen demnach bei der Übertragung von Explosionen, auch andere als Wärmeschwingungen mitwirken, wie Licht- oder Schallschwingungen und zwar unter Umständen, die die vorhergehende Umsetzung dieser Impulse in Wärme auszuschließen scheinen oder bei denen doch die mit ihnen gleichzeitig zugeführte Wärme zu gering ist, um ihr die Einleitung der Detonation zuschreiben zu können.

So explodiert ein Gemenge aus gleichen Raumteilen von Chlor und Wasserstoff im Dunkeln nicht, während es durch die Einwirkung direkten Sonnenlichtes ohne dafs dieses noch eine merkbare Erhitzung der Gasmasse hervorgebracht hätte, sofort zur Detonation gelangt.

Der Einfluß schwingender Bewegungen auf explosive Substanzen ist durch folgende That-sachen zur Evidenz erwiesen.

Die Erzeugung gewisser tiefer musikalischer Töne auf einem Streichinstrumente, wie einem Kontrabasse, in einem Raume, in dem sich Chlorstickstoff oder Aethylperchlorat befinden, veranlaßt die Explosion dieser Substanzen.

Bringt man an jedes Ende einer mehrere Meter langen Metallröhre eine Dynamitpatrone, so gelangt, wenn man die eine dieser Patronen explodieren läßt, auch die andere zur Explosion, trotzdem beide Patronen durch eine beträchtliche Luftsäule von einander getrennt sind. Die Detonation der zweiten Dynamitpatrone kann nicht durch den von der explodierten ersten Patrone gelieferten Gasstrom herbeigeführt worden sein, obgleich derselbe, infolge seiner großen Geschwindigkeit und hohen Temperatur, stofsartig unter Wärmeentwicklung zu wirken vermag, denn bringt man einige Wattelocken in die Mitte der Röhre, zwischen beide Patronen, so verhindert man vollständig die Fortpflanzung der Explosion. Diese Wattelocken vermögen sicherlich nicht, den Gasstrom aufzuhalten, da sie durch denselben sehr leicht verbrannt oder fortgerissen werden können, aber der Fortpflanzung der Schwingungen bieten sie ein Hindernis.

Auch in beträchtlichen Zwischenräumen auf gemeinsamen Metallplatten oder Schienen befestigte Dynamitpatronen detonieren, wenn eine der Patronen zur Explosion gebracht wird. Auf diese Weise können im Kriege in kürzester Zeit Schienengeleise für Truppentransporte u. dgl. unbrauchbar gemacht werden.

Die Detonation des Knallquecksilbers scheint in hervorragendem Grade von solchen Schwingungen begleitet zu sein, für die andere explosive Substanzen sensitiv sind. So wie ein schwingender Körper korrespondierende Schwingungen bei andern hervorzurufen bestrebt ist, so übt die eigentümliche Bewegungsart oder Impulswelle, die vom Knallquecksilber ausgeht, einen größeren störenden Einfluß auf die Moleküle gewisser Körper aus, als die, welche von anderen Substanzen ausgeht.

Ein explosives Molekül ist unbeständig und sehr empfänglich gegen äußere Einflüsse. Seine Atome finden sich in labilem Gleichgewicht, das jedoch leichter durch eine gewisse Art von Bewegungsimpulsen als durch eine andere gestört wird. Das explosive Molekül empfängt die vom Knallquecksilber ausgehende Impulswelle, aber der Anprall ist zu stark, und sein Gleichgewicht wird gestört.

Wie die gespannte Seite eines Instruments ruhig bleibt, auch wenn der heftigste Lärm um sie tobt, sofort aber in Schwingungen gerät, wenn der richtige Ton angeschlagen wird, und wie ein Glas ohne beschädigt zu werden einen starken Stofs aushalten kann, während eine bestimmte Erschütterung oder ein bestimmter Ton dasselbe springen läßt, so mag es beispielsweise mit den Molekülen des Nitroglycerins sein, die der mächtigen Einwirkung des Schießpulvers nur träge folgen, dagegen auf die weit schwächere Einwirkung von explodierendem Knallquecksilber sofort zerfallen, wahrscheinlich weil bei letzterem Vorgange der richtige Wellengang angeschlagen wird. Ähnliches findet z. B. auch bei den Molekülen des Zuckers statt. Der Zucker widersteht vielen mächtigen Agentien, der eigentümliche Wellengang, der beim Wachstum der Hefezellen angeregt werden mag, teilt jedes seiner Moleküle in vier neue Moleküle, in zwei Moleküle Alkohol und zwei Moleküle Kohlensäure.

Die französischen Chemiker Champion und Pellet¹⁾ haben kürzlich über diesen Gegenstand eine interessante Abhandlung veröffentlicht, aus der an dieser Stelle die Versuche erwähnt seien, durch die der enge Zusammenhang zwischen den Schwingungszahlen der Schallwellen und den durch die Detonationen hervorgerufenen Vibrationen nachgewiesen wurde. Eine Reihe singender Flammen, entsprechend der vom normalen *a* ausgehenden Skala des hohen *g* wurde nach den von Tyndall und Schaffgotsch angezeigten Vorsichtsmaßregeln geordnet. Die Empfindlichkeit der singenden Flammen variiert mit der Form der Brenner, mit der Dicke der Wände und der Position der Flammen. Es wurde daher, um annähernd die zu einem Vorversuch nötige Länge der Flammen zu ermitteln, jede Note mit Hilfe eines am Glascylinder befestigten Kartencylinders allmählig reguliert. Auf 5 m Entfernung von diesen Flammen brachte man nacheinander auf einem Ambos Stickstoffjodid und Knallquecksilber, in Kapseln aus Goldschlägerblättchen durch den Schlag eines Hammers zur Explosion. Hierbei äußerte das Stickstoffjodid keinen Einfluß auf die Flammen, während das Knallquecksilber das Verschwinden der den Tönen *a c e f g* entsprechenden Flammen bewirkte. Hiernach ist es wahrscheinlich, daß die vom Stickstoffjodid und Knallquecksilber ausgehenden Explosionswellen nicht nur verschiedene Schwingungszahlen

¹⁾ Revue maritime et coloniale. Februarheft 1879.

besitzen, also verschiedene Vibrationen der Luft hervorrufen, sondern dafs auch die von einer Substanz hervorgebrachten Vibrationsbewegungen auf gewisse, jedoch nur ganze Töne einwirken.

Als in einer Entfernung von nur 3,5 m von den Flammen dieselben Versuche wiederholt wurden, beeinflusste die Explosion des Stickstoffjodids die höheren Töne, hingegen jene des Knallquecksilbers die ganze Skala. Zur Explosion gebrachtes Nitroglycerin bewirkte nahezu das Verschwinden der gleichen Flammen wie das Knallquecksilber.

Zwei parabolische Hohlspiegel von 5 dem Durchmesser wurden 2,5 m von einander aufgestellt. In den Brennpunkt des einen Spiegels brachte man einen gegen den Spiegel gekehrten Papierstreifen, an welchem eine Kapsel aus Goldschlägerblättchen mit einigen Centigramm Stickstoffjodid befestigt war. Zwischen beide Spiegel wurde zur Kontrolle noch eine zweite gleiche Kapsel eingeschaltet. Sodann wurde in dem Brennpunkte des zweiten Spiegels ein Tropfen Nitroglycerin zur Explosion gebracht, wodurch auch die Explosion des im Brennpunkte des ersten Spiegels befindlichen Stickstoffjodids hervorgerufen, die in der Mitte eingeschaltete Kapsel jedoch nicht affiziert wurde.

Wurde das Nitroglycerin durch Knallquecksilber ersetzt, so erhielt man dasselbe Resultat, insofern die Ladung dieses Stoffes auf ein Gramm gesteigert wurde. Es ist sonach die Möglichkeit nachgewiesen, das Nitroglycerin durch Knallquecksilber zu ersetzen.

Bei diesen Versuchen wurde die Detonation des Nitroglycerins durch den Schlag eines Hammers hervorgerufen, doch läfst sich die gleichzeitige Explosion des im zweiten Brennpunkte befindlichen Stickstoffjodids durch die bei der Explosion entwickelte Wärme nicht erklären. Nach Berthelot¹⁾ entbindet ein Kilogramm Nitroglycerin 19 700 000 Calorien, somit 0,03 g dieser Substanz, ebenso wie 0,94 g gewöhnliches Schiefspulver, ungefähr 591 Calorien. Es wurde aber die Explosion des Stickstoffjodids durch die im Brennpunkte bewirkte Entzündung der angeführten Pulvermenge nicht herbeigeführt, sondern man mußte, um zum Ziele zu gelangen, circa 10 g Pulver zur Entzündung bringen.

Auch nach dem Anrussen der Hohlspiegel gelangte das Stickstoffjodid durch das Nitroglycerin zur Explosion, während die Zündung von 10 g Pulver in diesem Falle die Zersetzung des Stickstoffjodids nicht mehr bewirken konnte.

Stickstoffjodid in einer Kapsel von Goldschlägerblättchen wurde auf den Saiten einer Violine befestigt und durch das Streichen der Saiten mit dem Violinbogen sogleich zur Explosion gebracht. Wurde jedoch dasselbe Präparat auf die Saite einer Bassgeige befestigt, welche in der Sekunde weniger als 60 Schwingungen machte, so konnte es durch das Streichen der Saite nicht zur Explosion gebracht werden.

Ganz ähnliche Resultate wurden erhalten, als man das Stickstoffjodid auf schwingende Metallplatten brachte.

Die angeführten Versuche lassen keinen Zweifel darüber, dafs aufser der einfachen Wärmeübertragung und aufser dem durch den Stofs der Explosionsgase direkt hervorgerufenen calorischen Impulse auch andere als Wärmeschwingungen die direkte Einleitung von Explosionen bewirken können und dafs es nicht nur auf den gesamten mechanischen oder calorischen Effekt der Zersetzung eines explodierenden Körpers ankommt, sondern auch auf den Charakter der Er-

¹⁾ Berthelot. Sur la force de la poudre. Paris 1872.

schütterungen oder Schwingungen, welche diese Zersetzung begleiten, wenn durch sie die Explosion einer benachbarten Substanz hervorgerufen werden soll.

Die durch vibratorische Wirkung hervorgebrachten Explosionen, die man auch Explosionen durch „Influenz“ genannt hat, machen die Handlung mit sensiblen explosiven Substanzen, z. B. solchen, die man in den Patronenfabriken gebraucht, äußerst gefährlich. Denn die Explosion einer kleinen Menge von Knallquecksilber veranlaßt unmittelbar die Explosion nicht allein der Masse, die den Stofs und die Wärme direkt empfängt, sondern des gesamten in dem Raume befindlichen Knallquecksilbervorrats, zumal wenn dieser an einer Wand oder irgend sonst welchen festen Gegenständen lagert, die ihm nicht gestatten, sich der vibratorischen Bewegung zu entziehen.

Ebenso bringt die Detonation einer unter Wasser befindlichen Dynamitladung, selbst bis auf Entfernungen von 30 m, andere solche Dynamitladungen zur Detonation, während eine im Wasser detonierende Schiefsbaumwollladung, die selbst 200 kg dieses Explosivstoffes enthält, in 30 m Entfernung vom Explosionscentrum befindliche andere Schiefsbaumwollladungen nicht affiziert.

Die komprimierte, mit 30 pCt. Wasser gesättigte Abelsche Schiefsbaumwolle ist der einzige bis jetzt bekannte Explosivstoff, der sich für den unterseeischen Krieg zur Verwendung eignet. Das ganze Verteidigungssystem einer Rhede, das auf mit Dynamit geladene Torpedos basiert wäre, würde durch die Explosion des ersten Torpedos, die der Feind hervorzurufen trachten würde, illusorisch werden.

In den Pulverfabriken sind bis jetzt Explosionen durch Influenz nicht beobachtet worden. Hier bleibt die Explosion auf den Haufen beschränkt, in dem sie entsteht; explodiert dennoch alles in dem Laboratorium befindliche Pulver, so geschieht dies nach und nach, durch fortgeschleuderte brennende Pulverkörner, durch Feuerfunken u. a. m.

Abel in Woolwich folgert aus den vorliegenden Thatsachen, von denen in vorigem einige der wichtigsten angeführt sind, für die bei Einleitung von Explosionen maßgebenden Umstände folgendes:

Jede Explosion ist von Schwingungen begleitet. Existiert ein Synchronismus zwischen diesen und denen, welche ein in der Nähe befindlicher Körper, der sich in einem Zustande hoher chemischer Spannung befindet, bei seiner Explosion erzeugen würde, so ist die Folge hiervon, daß in diesem letzteren Körper diese Schwingungen ein natürliches Bestreben haben, sich zu reproduzieren. Oder, jede Explosion ist von einer eigentümlichen schwingenden Bewegung begleitet, welche von der Zusammensetzung und den Eigenschaften des Explosivstoffes abhängt. Diese schwingende Bewegung kann, unabhängig von Temperatur und Gasdruck, die Explosion eines Explosivstoffes herbeiführen, dessen Explosionswellen isochron schwingen. Dies ist die Ursache, welche die Explosion bestimmt, oder die in einem gewissen Grade die störende Wirkung der mechanischen Kraft erleichtert. Haben aber die Schwingungen einen verschiedenen Charakter, so findet die von der Explosion des ersten Körpers resultierende mechanische Kraft in dem zweiten Körper nur eine schwache oder gar keine Unterstützung. Man ist dann genötigt, um die Explosion dieses letzteren hervorzurufen, den ersteren in viel beträchtlicheren Mengen anzuwenden.

Detonation.

Unter Detonation versteht man die augenblickliche Explosion der ganzen Masse eines Körpers. Wird Schießpulver in der gewöhnlichen Weise entzündet, so findet eine wirkliche Verbrennung statt, welche sich verhältnissmäßig langsam von der Oberfläche der Pulverkörner nach Innen verbreitet. Wird aber Nitroglycerin durch Knallquecksilber gezündet, so explodiert die ganze Masse momentan, oder doch fast momentan. Zweifellos ist immer eine gewisse Zeit erforderlich, aber bei den sogenannten Detonationsstoffen kann dieselbe in der Praxis vernachlässigt, und die Explosion eine momentane genannt werden.

Einige Explosivstoffe, wie der Chlorstickstoff, die Fulminate u. a. m. scheinen stets zu detonieren, auf welche Weise man sie auch entzündet, während andere wie Schiefsbaumwolle, Schießpulver u. a. m. detonieren oder nicht detonieren, je nach der in Anwendung gebrachten Zündungsart.

Es ist wahrscheinlich, dass alle Explosivstoffe zur Detonation gebracht werden können, wenn man die richtigen Methoden wird ermittelt haben.

Schiefsbaumwolle scheint für die verschiedensten Zündungsarten empfänglicher zu sein, als irgend ein anderer Explosivstoff, denn dieselbe kann, wie bereits erwähnt worden, in einem Zustande erhalten werden, dass sie ganz langsam und ohne Explosion abbrennt, und die Schnelligkeit ihrer Zersetzung kann bis auf den Detonationspunkt gesteigert werden. Nitroglycerin explodiert immer heftig, wird es aber mittelst Schießpulver gezündet, so ist seine Wirkung eine viel geringere.

Schießpulver wird natürlich für den gewöhnlichen Gebrauch, als Triebmittel in Feuerwaffen, nicht zur Detonation gebracht, weil für diese Zwecke die heftigen und plötzlichen, d. i. die brisanten Wirkungen der Detonation nur von Nachteil sein würden. Für andere Zwecke aber, in Torpedos, für Gesteinsprengungen u. a. m. würde es von grossem Vorteil sein, wenn man durch eine besondere Zündungsart seine Explosivwirkung steigern könnte. Durch mittelst Knallquecksilber explodiertem Nitroglycerin kann Schießpulver zur Detonation gebracht werden, ob dies aber die beste Methode, und ob die Detonation wirklich eine vollkommene, das ist zweifelhaft.

Es ist übrigens sehr wahrscheinlich, dass ein mechanisches Gemenge wie das Schießpulver, niemals, in welcher Weise man dasselbe auch zündet, zu so vollkommener Detonation gebracht werden kann, wie die chemischen Verbindungen Nitroglycerin oder Schiefsbaumwolle.

Einige sind der Meinung, dass die durch die Detonation eines Fulminats bewirkte Zündung einer explosiven Substanz, deren Explosivwirkung erhöhe. Die Herren Roux und Sarrau, Ingenieure der Pulverwerke in Frankreich, unterscheiden in einer über diesen Gegenstand veröffentlichten Arbeit¹⁾ 2 Klassen der Explosionen, Explosionen der ersten, und Explosionen der zweiten Ordnung.

Nobel hat einen nur geringen Unterschied in der gewöhnlichen Explosion der Schiefsbaumwolle und der durch Detonation eines Fulminats bewirkten, gefunden, und ist daher der Ansicht, dass die von Roux und Sarrau beobachteten Unterschiede daher rühren, dass die Verbrennung in dem einen Falle eine vollständige, in dem andern eine unvollständige war.

¹⁾ Comptes rendus. Oct. 5. 1874. Revue d'Artillerie, Septemberheft 1873 u. Januarheft 1875.
1882. Falk-R.

Pulverisiertes Glas z. B. saugt nur wenig Nitroglycerin auf, denn das Sprengöl haftet ja nur oberflächlich an dem Glase. Trotzdem würde ein solches Dynamit schon bei 20 pCt. Nitroglyceringehalt sehr empfindlich sein, da die detonierende Sprengkapsel nahezu direkt auf das explosive Öl einwirkt, welches den Aufsaugestoff nur wie eine Firnissschicht umhüllt.

Dagegen ist Kieselguhr-Dynamit von blofs 25 pCt. Nitroglyceringehalt nur wenig empfindlich, denn das Nitroglycerin dringt völlig in die Poren der sehr absorptionsfähigen Kieselguhr ein, wodurch die Wirkung der Sprengkapseln erschwert wird.

Das in der komprimierten Schiefsbaumwolle enthaltene Wasser vermindert gleichfalls die Empfindlichkeit dieses Präparates, daher müssen die Sprengkapseln für die nach Abel's Verfahren komprimierten, mit 25—26 pCt. Wasser gesättigte Schiefsbaumwollkörper, bedeutend stärker sein als jene für wasserfreie, in der Regel aber immer noch 1—2 pCt. Wasser enthaltenden Schiefsbaumwollkörper.

Um die Anwendung zu starker Sprengkapseln zu umgehen, bedient man sich einer Initialladung oder Zündpatrone, welche zunächst die Explosion der Sprengkapsel aufnimmt und sie auf die nasse Schiefsbaumwolle überträgt.

Eine 50 g trockene Schiefsbaumwolle enthaltende Initialladung genügt, um jede beliebige Menge Schiefsbaumwolle mit 3—15 pCt. Wassergehalt zur Explosion zu bringen.

200 g trockene Schiefsbaumwolle sind erforderlich, wenn der Wassergehalt der zu explodierenden Schiefsbaumwolle 16—25 pCt. beträgt.

Für gefrorene Schiefsbaumwolle von mehr als 16 pCt. Wassergehalt und ebenso für ganz im Wasser befindliche Ladungen sind bis 700 g trockener Schiefsbaumwolle zur sicheren Vermittelung der Explosion erforderlich.

Auch die Explosion von gefrorenem Dynamit kann mit Sicherheit nur durch die Detonation einer Zündpatrone herbeigeführt werden. Während Kieselguhr-Dynamit im weichen Zustande, und zwar beliebig grofse Quantitäten, schon durch Sprengkapseln mit nur wenigen Decigramm Knallquecksilber explodieren, ist es äufserst schwierig, die Explosion des gefrorenen Präparates — das Gefrieren erfolgt schon bei $+8^{\circ}\text{C}$ — selbst mit Sprengkapseln von 1 g und mehr Knallquecksilber herbeizuführen. Für gefrorenes Dynamit eignet sich am besten als Initialladung eine Mischung aus 25 pCt. trockener Schiefsbaumwolle und 75 pCt. Nitroglycerin. Eine etwa 20 g betragende Menge dieser Mischung, durch eine 1 g Knallquecksilber enthaltende Sprengkapsel gezündet, bringt mit Sicherheit gefrorenes Dynamit zur Explosion, selbst bei Temperaturen bis zu -20°C , und auch dann, wenn die Zündpatrone gefroren ist.

Im letzten deutsch-französischen Kriege gelang es den Franzosen nicht, während der Belagerung von Paris das Eis der Seine mittelst Dynamit zu sprengen, obgleich man auf dasselbe die Detonation von, mit 1—2 g Knallquecksilber geladenen Sprengkapseln wirken liefs.

Bekanntlich waren bis zum Jahre 1870 in Frankreich das Nitroglycerin und die Nitroglycerinpräparate verboten. Nach den furchtbaren Katastrophen aber, die die französischen Armeen vernichtet, nahm die Oberleitung der nationalen Verteidigung, ganz besonders Gambetta, von den Herren Marçais und Brüll, Agenten von Alfred Nobel, bestürmt, Dynamit gegen die siegreichen Deutschen zu verwenden, diesen Vorschlag mit Enthusiasmus auf. Bereits am 12. September 1870 begannen die Herren Girard, Millot und Vogt, Mitglieder der chemischen Gesellschaft in Paris, vom wissenschaftlichen Standpunkte aus das Nitroglycerin und verschiedene

Nitroglycerinpräparate zu studieren, während die pyrotechnische Sektion, die inzwischen von der vom Minister der öffentlichen Arbeiten eingesetzten Ausrüstungskommission gebildet worden war, die fabrikmässige Darstellung des Nitroglycerins und seine Verarbeitung zu Dynamit sich zur Aufgabe machte. Zu diesem Zwecke errichtete man zu Grenelle, nahe bei dem ringförmigen Bassin von Villette, eine Fabrik, deren Leitung Herr Dupré übernahm, eine zweite, ebenfalls im Osten von Paris, in den alten Steinbrüchen, den Carrières d'Amérique, unter Herrn Majewski's Oberleitung. In verhältnismässig kurzer Zeit überwand man nicht allein die mit der Nitroglycerinfabrikation verbundenen technischen Schwierigkeiten, man fand auch ein für die Absorption des Nitroglycerins geeignetes Ersatzmittel an Stelle der nicht zu beschaffenden Kieselguhr, in der Asche der für die Leuchtgasbereitung verwendeten Bogheadkohle, die der Hauptsache nach ein Gemisch von Kieselerde und Thonerde, 50—55 pCt. Nitroglycerin gut festhält. Schon im Dezember 1870 konnten diese Fabriken täglich 300 kg Dynamit fabrizieren, das sehr eingehend untersucht wurde und, wie es hiefs, die das Nobel'sche Dynamit auszeichnenden Eigenschaften besafs.

Auf Gambetta's, von Tours aus, erlassene Aufforderung, sich auch in der Provinz mit der Dynamitfabrikation zu beschäftigen, traten namentlich in Marseille eine Anzahl Chemiker zusammen, denen es ebenfalls bald gelang, für militärische Zwecke brauchbares Dynamit herzustellen. Die erforderlichen bedeutenden Mengen dieses Sprengmittels konnten indessen den Armeen der Provinz erst geliefert werden, als ein Herr Barbe, ein ehemaliger Artillerieoffizier und Agent Nobels, der mit der Dynamitfabrikation genau vertraut war, dieses Präparat in einer Fabrik zu Paulille, bei Port Vendre, Pyrénées-Orientales, in grossem Mafsstabe zu erzeugen begann. Das Absorptionsmittel für das Nitroglycerin lieferte eine in dieser Gegend vorkommende natürliche Kieselerde, die bis 70 pCt. Nitroglycerin gut festzuhalten vermochte. Die ersten in der Provinz fabrizierten Dynamite mit 30—50 pCt. Nitroglyceringehalt, bei denen ein Gemenge von Sand und Kohle das Absorptionsmittel bildete, mufsten, obgleich sie von kräftiger Wirkung waren, doch bald aufgegeben werden, da sich ihre Anwendung zu gefahrvoll erwies. Bessere Resultate wurden erhalten, als man als absorbierende Substanz eine natürliche äufserst fein zerteilte Kieselerde von rötlicher Farbe, sogenannten Tripel, in Anwendung brachte und so Dynamite von 60—64 pCt. Nitroglyceringehalt erhielt.

Vorhanden waren nun zwar hinreichende Mengen des Explosivstoffs, auf den man so grosse Hoffnungen gesetzt hatte, irgend nennenswerte Erfolge sind mit ihm indessen nicht erzielt worden.

Explosions-Temperatur.

Über die Empfindlichkeit eines Explosivstoffes gegen Wärmeimpulse giebt die Explosions-temperatur des Präparates Aufschluss. Dieselbe wird in der Regel dadurch bestimmt, dafs man den Explosivstoff möglichst rasch bis zu jener Temperatur erwärmt, bei der seine Detonation eintritt, und diese Temperatur gleichzeitig mit Hilfe eines Thermometers beobachtet. Wird die Erwärmung langsam bewirkt, so erfolgt gewöhnlich bei einer niedrigeren Temperatur die Detonation des Präparates als bei rascherem Erwärmen. Comprimierte Schiefsbaumwolle z. B., in einem Paraffinbade von 60° C. an langsam erhitzt, detoniert bei 182° C., während dasselbe Präparat rasch, etwa auf einer Metallplatte erhitzt, erst bei 250° C. detoniert.

Kieselguhr-Dynamit detoniert bei langsamer Erhitzung bei 180° C., bei rascher Erhitzung bei 230° C.

Bei langsam steigender Erhitzung erleidet die Stabilität der Explosivstoffe bereits eine gewisse Störung, in Folge deren die Detonation dann schon bei einer niedrigeren Temperatur eingeleitet werden kann.

Ein Apparat, ähnlich wie solcher verwendet wird, die Wärmeleitungsfähigkeit der Metalle zu messen, kann zur Bestimmung der Entzündungstemperatur von Explosivstoffen benutzt werden.

Die Einrichtung des Apparates gründet sich auf die bekannte Verteilung der Temperatur in einem Metallstabe, welcher an seinem Ende erhitzt wird. Der Stab besteht aus Kupfer, hat 25 mm Durchmesser und etwa 6 dm Länge. In Abständen von 1 dm angebrachte Vertiefungen, die mit Öl oder leichtflüssigem Metallgemisch angefüllt werden, dienen zur Bestimmung der Temperatur im Innern des Stabes mittelst empfindlicher Thermometer. Ein zwischen den Thermometern und der Wärmequelle aufgestellter Schirm beseitigt den Einfluss der strahlenden Wärme. Sobald die von den Thermometern angezeigte Temperatur konstant geworden, werden die zu untersuchenden Substanzen auf den Stab gelegt, und nach und nach der Wärmequelle genähert, bis zu der Teilung, wo sie die Veränderung (Zersetzung oder Entzündung), die man erhalten will, erleiden.

Auf diese Weise sind folgende Explosionstemperaturen ermittelt worden:

Für Diazobenzolnitrat	90° C.
„ Gewehrpulver	191°
„ Knallquecksilber	200°
„ Schiefsbaumwolle je nach Art ihrer Darstellung	220—250°
„ Nitroglycerin je nach Art seiner Bereitung	230—257°
„ Antimontrisulfid	} 280°
und	
„ Kaliumchlorat	288°
„ Jagdpulver	295°
„ Geschützpulver	336°
„ Ammoniumpikrat und ebenso Kaliumpikrat	

Nutzeffekt der Explosivstoffe¹⁾.

Die eine Explosion begleitenden Vorgänge laufen, wie bereits erwähnt worden, im allgemeinen auf die plötzliche Entwicklung relativ bedeutender Gasmassen hinaus, sowie auf ein Freiwerden von Wärme, durch welche die Explosionsgase eine beträchtliche Erhitzung und dadurch eine entsprechende Expansion erfahren, welche im Vereine mit der diesen Gasen schon innewohnenden Spannkraft dadurch äußere Arbeit verrichtet, dass sie den Widerstand, den ihr die Umgebung entgegensetzt, eine gewisse Entfernung hindurch bewältigt.

Es hängt demnach das Maß der durch eine Explosion zu leistenden äußeren Arbeit ab, einerseits von dem Gasquantum und der spezifischen Expansionskraft der aus einer Gewicht-

¹⁾ Siehe: Die Naturwissenschaften im Dienste des Krieges von F. Hefs, Hauptmann im k. k. Geniestabe. Wien 1878. (Kap. XII.)

Den theoretischen Zersetzungsgleichungen entspricht der thatsächliche Vorgang nur in geringem Grade, denn, wie bereits erörtert worden, ist die Natur der Zersetzungsprodukte eines Explosivstoffes nicht nur von der Zusammensetzung dieses letzteren abhängig, sondern auch von den Umständen, unter denen die Explosion erfolgt. Findet dieselbe in einem allseitig bedeutenden Widerstand bietenden Raume statt, so dafs im Augenblick der Explosion ein sehr hoher Gasdruck entsteht, dann wirken nicht selten die Zersetzungsprodukte stark auf einander ein und es werden sekundäre Reaktionsprodukte gebildet. Erfolgt die Explosion in einem nur geringen Widerstand bietenden Raume, so resultiert ein weniger starker Gasdruck und die sekundären Reaktionen werden vermindert. Außerdem werden manche Zersetzungsprodukte in gewissen Stadien des Prozesses wieder zerlegt und ändern somit die Menge und Zusammensetzung der Explosionsgase. Es empfiehlt sich daher, die Explosionsprodukte selbst aufzusammeln, die bei der Explosion eines Präparates entwickelten Gase direkt zu messen, und ihre Zusammensetzung wie die des etwaigen Rückstandes durch Analyse zu ermitteln. Auf diese Weise werden empirische Zersetzungsgleichungen erhalten, die über die wirklich beobachteten Thatsachen Aufschluß geben.

Messung und Untersuchung der Explosionsgase.

Die Engländer Noble und Abel, ersterer, Capitain der Artillerie, letzterer, Chemiker des Kriegsarsenals in Woolwich, brachten Schiefspulver in einem starkwandigen Gefäße aus weichem Stahl, durch einen, mittelst Elektrizität zum Glühen erhitzten feinem Platindraht zur Explosion, und mafsen und analysierten die nach der Detonation auf einen bestimmten Druck gebrachten Gase. In ähnlicher Weise haben in allerletzter Zeit die französischen Chemiker Berthelot, Vieille und Sarrau, die bei der Explosion der Schiefsbaumwolle, des Nitroglycerins, des Knallquecksilbers, des Diazobenzolnitrats und des Kaliumpikrats entwickelten Gase gemessen und analysiert. Allerdings sind derartige Untersuchungen mit nicht geringer Gefahr für den Experimentator verbunden, aber sie liefern auch Daten, welche mit den bei den praktischen Gebrauchsverhältnissen zu erwartenden in ganz anderer Weise übereinstimmen, als diejenigen, die sich aus mehr oder weniger hypothetischen Zersetzungsgleichungen ableiten lassen. Einige Angaben über die von Noble und Abel¹⁾ ausgeführte wichtige Untersuchung, betreffend die Zersetzung des Schiefspulvers, insbesondere eine kurze Beschreibung des bei dieser Arbeit benutzten Explosionsapparates, sowie der mit demselben erhaltenen Resultate lassen wir hier folgen, da diese Arbeit für die Behandlung aller Fragen, die sich auf die Wirkung des Schiefspulvers in Feuerwaffen und Minen beziehen, die vortrefflichsten Anhaltspunkte liefert. Untersucht wurden fünf Pulversorten; vier davon waren englische Militärpulver, nämlich sogenanntes Pebblepulver (das sehr grobkörnige Geschützpulver), gewöhnliches Geschützpulver, grobes Musketenpulver und eines Büchsenpulver und außerdem ein spanisches sphärisches Pulver.

Die Anordnung des Explosionsapparates ist aus Fig. 1 zu ersehen. A ist ein sehr dickwandiges Stahlgefäß, dessen cylindrische Höhlung B, die genau 1 kg Pulver faßt, durch drei Schraubenlöcher mit der Oberfläche des Gefäßes kommuniziert. Das größte dieser Schraubenlöcher nimmt den Zündstollen C auf, welcher mit besonderer Genauigkeit in die zugehörigen Muttergewinde eingepafst ist. Die konische Durchbohrung dieses Zündstollens wird durch den

¹⁾ Philosophical Transactions vol. 165, pt. 1.

sorgfältigst eingeschlossenen Ventilkonus D geschlossen, der mittelst der Schraubenmutter fest angezogen werden kann. Durch die Spannung der bei der Explosion entstandenen Pulvergase wird dieser Konus nach außen gegen den Ventilsitz gedrückt und hierdurch die Öffnung nur noch besser geschlossen.

Der zweite Kanal N ist dazu bestimmt, das Ablassen der Pulvergase nach stattgehabter Explosion bewirken zu können. Zu diesem Zwecke ist nur ein Lüften des Stollens E notwendig, indem dann die Gase von F nach H strömen können, während bei niedergeschraubtem Stollen die konischen Dichtungsflächen G einen vollkommen hermetischen Abschluss bewirken.

In dem dritten Muttergewinde ist endlich ein Stollen K eingeschraubt, welcher zur Aufnahme des Gasdruckmessers dient.

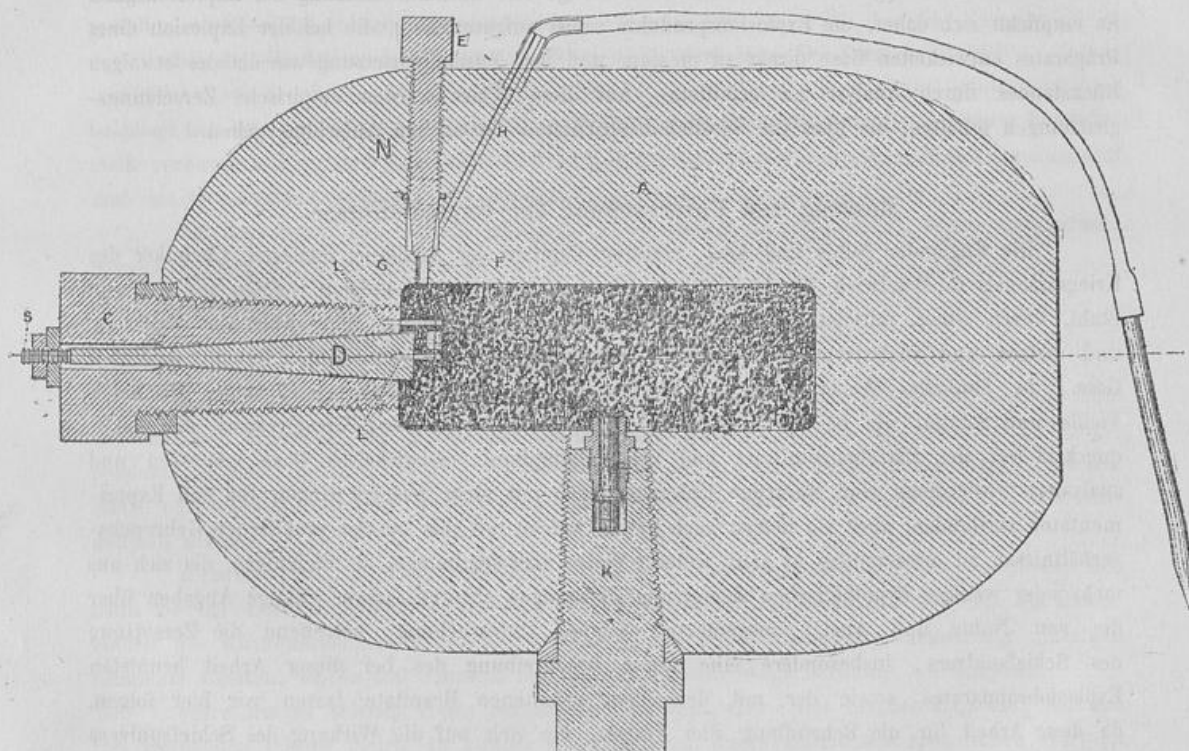


Fig. 1.

Die Entzündung der Pulvergase wurde mit Hilfe des elektrischen Stromes eingeleitet, wozu die beiden Drähte L L dienten, von denen der eine in den Ventilkonus D und der andere in den Stollenkörper C eingesetzt wurde. Ein sehr dünner Platindraht, welcher durch eine kleine mit Mehlpulver gefüllte Glasröhre lief, vereinigte ihre beiden Enden. Um den direkten Übergang des elektrischen Stromes von dem Ventilkonus auf den Stollen zu verhindern, war die Mantelfläche des ersteren durch ein Blatt dünnes Seidenpapier isoliert. Diese Vorrichtung wurde mit einer Daniel'schen Batterie in Verbindung gesetzt; durch Schließen des Stromes wurde der Platindraht zum Glühen, und so die Pulverladung zur Explosion gebracht.

Bei den verschiedenen Versuchen wurde die Kammer des Explosionsapparates verschieden

stark, d. i. mit veränderlichen Pulvermengen geladen, um auch die Einflüsse der Raum-, Druck- und Temperaturverhältnisse, unter denen das Pulver verbrannte, beobachten zu können. Demgemäß wurde die Kammer successive auf 10, 20 . . . bis 90 pCt. ihres Hohlraumes mit Pulver gefüllt, so daß die mittlere Dichte der gleichmäßig im Verbrennungsraume verteilt gedachten Pulvermasse von 0,1 bis 0,9 variierte.

Die Ausführung der Versuche erforderte, bei der Gefährlichkeit derselben, die allgrößte Vorsicht und Sorgfalt. Schon eine nicht vollkommen dicht schließende Schraube konnte die Veranlassung werden, daß, wenn die enorm komprimierten und erhitzten Gase sich hier einen Austritt erzwingen, dieser Teil des Explosionsapparates zerstört oder gänzlich ausgeschleudert wurde.

Mit ungewöhnlichen Schwierigkeiten war auch das Öffnen des Apparates nach erfolgter Explosion verbunden. In einzelnen Fällen gelang eine Lockerung der Schrauben und somit die Entfernung des Stollens erst dadurch, daß man den Explosionsapparat in flüssiges Eisen tauchte, indem hierdurch eine Ausdehnung der Kanäle und so eine Lockerung der Schrauben ermöglicht wurde. Daß man solche außerordentlichen Mittel anzuwenden genötigt war, wird erklärlich, wenn man die hohe Temperatur und Spannung der in der Explosionskammer eingeschlossenen Verbrennungsprodukte berücksichtigt. Durch die Einwirkung dieser Kräfte mußte natürlich eine Ausdehnung des Explosionsgefäßes eintreten, und mußten in den Schraubengewinden Fugen entstehen, in welcher letztere durch den enormen Druck der Gase geprefst, die flüssigen Verbrennungsprodukte eindringen konnten. Indem nun diese später zu einer harten Kruste erstarrten, und mit der Abkühlung auch eine Kontraktion des erweiterten Gefäßes und der Schraubenlöcher eintrat, so stellten sich dem Entfernen der Stollen ganz enorme Widerstände entgegen. Später wurde dieser Übelstand namentlich dadurch verringert, daß die Schrauben konisch gemacht wurden, so daß es nur der ersten Lockerung bedurfte, um den Stollen mit Leichtigkeit entfernen zu können.

Zur Ermittlung der Gasspannung diente ein nach Noble's Angaben gefertigter Quetsch-Apparat, bei dem die Größe der Gasspannung aus dem Maße der Zusammendrückung abgeleitet wird, die ein dem Gasdrucke ausgesetzter Kupfer-Cylinder erleidet.

Die bei der Explosion des Schießpulvers von Noble und Abel erhaltenen Resultate sind, kurz zusammengefaßt, die folgenden:

Die Gase, welche sich bei der Explosion der englischen Pulver entwickeln, haben eine sehr ähnliche Zusammensetzung; aber mit wachsendem Drucke vergrößert sich die Menge des Kohlendioxyds, und die des Monoxyds nimmt ab.

Die Zusammensetzung der festen Produkte ist viel ungleichförmiger.

Die Zersetzung, welche Pulver beim Entzünden in einem geschlossenen Raume erleidet, läßt sich nicht, selbst durch eine ziemlich verwickelte chemische Gleichung, ausdrücken.

Das Volumen der sogenannten permanenten Gase auf 0° C. und 760 mm Druck reduziert, beträgt für je 1 Gramm Pulver ungefähr 280 cbcm oder das 280fache des Volumens des Pulvers.

Bei der Verbrennung von 1 Gramm Pulver bilden sich ungefähr 0,57 g feste und 0,43 g gasförmige Produkte.

Wenn die gasförmigen Verbrennungsprodukte den Raum, in welchem das Pulver abgefeuert wurde, vollständig erfüllen, beträgt ihr Druck gegen 6400 Atmosphären.

Ein Gramm Pulver entwickelt ungefähr 705 Wärmeeinheiten.

Die Verbrennungstemperatur ist ungefähr 2200 ° C.

Die theoretische Arbeit eines Grammes ist ungefähr 332 000 Grammeter.

Je feinkörniger das Pulver ist, um so kleiner sind die Gasmengen, die es entwickelt.

Messung der Explosionswärme.

Da die Berechnung der bei einer Explosion frei werdenden Wärme, ebenso wie die Berechnung des entwickelten Gasvolumens wenig befriedigende Resultate liefert, so hat man es vorgezogen, auch die Explosionswärme direkt, mit Hilfe eigener Kalorimeter zu messen.

Man bringt eine abgewogene Menge des Explosivstoffes in einem geschlossenen Rezipienten, den man in ein von schlechten Wärmeleitern umgebenes, und mit Wasser gefülltes Gefäß getaucht hat, zur Explosion. Bevor und nachdem diese erfolgt ist, wird die Temperatur des Apparates gemessen, und aus der Temperaturzunahme und der Wärmekapazität des Apparates die Explosionswärme abgeleitet.

In dieser Weise haben Noble und Abel für die bei der Explosion des Schießpulvers entwickelte Wärmemenge 705 Kalorien ermittelt.

Roux und Sarrau haben ebenfalls mittelst calorimetrischer Messungen die bei der Explosion verschiedener detonierender Substanzen entwickelten Wärmemengen bestimmt.

Sie haben so gefunden:

für das Nitroglycerin	1784	calorien
„ die Schiefsbaumwolle	1123	„
„ das Kalumpikrat	840	„

Messung der Explosionstemperatur.

Die theoretische Berechnung der Explosionstemperatur führt ebenfalls nicht zu verlässlichen Resultaten.

Wird die Temperatur aber aus dem während der Explosion herrschenden und gemessenen Gasdrucke und aus dem gemessenen Volumen der Explosionsgase in und außerhalb des Rezipienten berechnet, so erhält man für die Verbrennungstemperatur Zahlen, die mit den Ergebnissen praktischer Versuche annähernd übereinstimmen.

Bezeichnen nämlich v und v_0 die Volumina, p und p_0 die zugehörigen Spannungen der Gase des in einem geschlossenen Gefäße verbrannten Schießpulvers, und t und t_0 die entsprechenden Temperaturen, so besteht zwischen diesen Größen die bekannte Relation

$$\frac{p v}{p_0 v_0} = \frac{273 + t}{273 + t_0}$$

Ist nun der Verbrennungsraum des Explosionsgefäßes der Art mit Pulver gefüllt, dafs auf einen Kubikcentimeter des ersteren 1 Gramm Pulver entfällt, so sind nach der Explosion 60 pCt. des Verbrennungsraumes von den festen Rückstandsprodukten erfüllt, während die Pulvergase in dem übrigen Raume zusammengedrückt bleiben, so dafs die einem Gramm Pulver entsprechende Gasmenge den Raum von 0,4 cbcm einnimmt. Da nun aber dieser Gasmenge bei Normaltemperatur und Normaldruck der Raum von 280 cbcm zukommt, so würden die in dem

Raume von 0,4 ccm zusammengedrückten Pulvergase bei 0° C. Temperatur eine Spannung von 700 Atmosphären besitzen. Man hat daher für die obige Gleichung $p_0 = 700$, $v_0 = 0,4$ und $t_0 = 0$, und hiermit

$$p v = 1,0218 (273 + t),$$

woraus sich die Verbrennungstemperatur für t bestimmen läßt, wenn für p und v die dem Explosionsmomente entsprechenden Werte substituiert werden.

Zufolge der gemachten Annahmen ist dann abermals $v = 0,4$ zu setzen, während für die zugehörige Spannung, 6320 Atmosphären angenommen werden können, ein Resultat, das mit dem Noble'schen Gasdruckmesser erhalten wurde.

Hieraus folgt

$$t = \frac{p v}{1,0218} - 273 = 2200^\circ \text{ C.}$$

als die Verbrennungstemperatur des Schießpulvers.

Platinblech und Platindrähte, die man in den Explosionsraum gebracht hatte, zeigten sich teilweise geschmolzen, die Explosionstemperatur konnte daher 2000° C., den Schmelzpunkt des Platins, nicht bedeutend überschritten haben; die theoretisch bestimmte Explosionstemperatur von 2200° C. ist somit eine ganz zutreffende.

Messung des Gasdruckes.

Da eine Berechnung des Gasdruckes aus dem Volumen der Explosionsgase, das aus der Explosionstemperatur ebenfalls nur durch Rechnung gefunden wurde, zuverlässige Resultate nicht ergeben kann, so leitet man den Maximaldruck aus einer direkt zu messenden Explosionstemperatur ab, oder mißt ihn direkt, durch an metallischen Organen bewirkte Deformationen, mittels in den Explosionsraum eingeschraubter besonderer Apparate, den Gasdruckmessern.

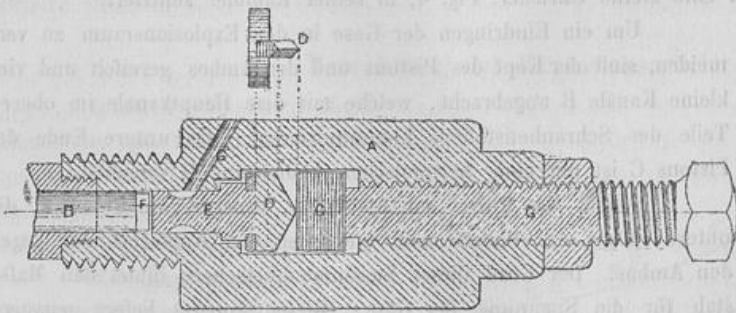


Fig. 2.

Bei den von den Artillerieoffizieren Rodmann in Amerika, Uchatius in Oesterreich, und ebenso bei den von Krupp in Essen konstruierten Apparaten treibt der Gasdruck einen Meißel mehr oder weniger tief in eine Metallplatte; aus der Länge der so erhaltenen Einkerbung kann man auf die Höhe des Gasdruckes schließen.

Bei dem Noble'schen Gasdruckmesser — crusher gauge — wird die Größe der Gasspannung aus dem Maße der Komprimierung abgeleitet, die ein dem Gasdruck ausgesetzter Kupfercylinder erleidet.

Fig. 2 zeigt den von Rodmaun konstruierten Gasdruckmesser. An irgend einer Stelle des Rohres, an welcher der durch die Verbrennung der Ladung entstehende Gasdruck gemessen

werden soll, wird ein zylindrisches Loch gebohrt, und in dasselbe eine Röhre A so eingeschraubt, daß ihr unteres offenes Ende B, mit der Bohrungsfläche abschneidet. Das andere Ende wird durch ein passendes Piston E und die Liderung F verschlossen. Das Piston trägt einen Meißel D, auf dem eine Kupferplatte C aufliegt, welche letztere an den Meißel mittels der Schraube G fest angedrückt wird.

Bei der Explosion drückt das entbundene Gas auf die Bodenfläche des Pistons und preßt den Meißel in die Kupferplatte. Die erhaltene Einkerbung giebt dann das Maß des auf die Bodenfläche des Pistons ausgeübten Gasdruckes.

Da dies Instrument wenig übereinstimmende Resultate liefert, hat dasselbe verschiedene Modifikationen erfahren; durch die von Noble vorgenommenen Veränderungen sind wenigstens einige demselben inhärente Fehler-Quellen eliminiert worden.

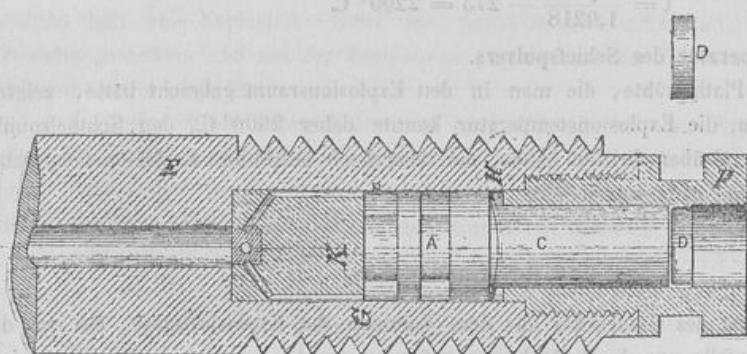


Fig. 3.

Ende des Cylinders stützt sich gegen den Ambos K, während das andere Ende auf dem beweglichen Piston C aufruht, welches durch eine Feder fest gegen den Kupfercylinder gedrückt wird. Der Cylinder A wird durch eine kleine Uhrfeder, Fig. 4, in seiner Kammer zentriert.

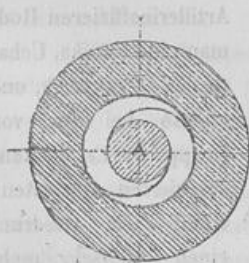


Fig. 4.

Um ein Eindringen der Gase in den Explosionsraum zu vermeiden, sind der Kopf des Pistons und der Ambos gereifelt und vier kleine Kanäle B angebracht, welche mit dem Hauptkanale im oberen Teile des Schraubenstollens kommunizieren. Das untere Ende des Pistons C ist mit einer hermetischen Abdichtung D versehen.

Sobald das Pulver entzündet ist, drücken die Gase auf die untere Fläche des Pistons und quetschen den Kupfercylinder gegen den Ambos. Der Grad dieses Zusammenquetschens bildet den Maßstab für die Spannung der Gase. Dieser Apparat liefert genauere Resultate als der Rodmannsche, insbesondere deswegen, weil sich bei den kleinen Dimensionen des Noble'schen Instrumentes aus ein und derselben Menge metallischem Kupfer mehr Kompressionscylinder als Rodmann'sche Platten erzeugen lassen.

Um aus diesen Deformationen auf den Druck schliessen zu können, werden ähnliche Organe, durch genau bekannte Drucke, die man mit einer hydraulischen Presse hervorbringt, deformiert. Die angewandten Drucke, und die ihnen entsprechenden genau gemessenen Deformationen werden zusammengestellt, und so Tabellen erhalten, aus welchen mit annähernder

Der Noble'sche Gasdruckmesser — crusher gauge — besteht aus einem stählernen Schraubenstollen E, Fig. 3, mit beweglichen Boden F, welcher das Einbringen eines kleinen Kupfercylinders A in die Kammer G—H erlaubt. Das eine

Genauigkeit der einer jeden durch Explosion erhaltenen Deformation entsprechende Maximaldruck entnommen werden kann.

Auch bei diesem Gasdruckmesser ergeben sich theoretische Bedenken dagegen, aus der Größe eines konstanten statischen Druckes auf den Maximalbetrag eines veränderlichen dynamischen Druckes zu schließen, welcher an dem eingeschalteten widerstehenden Körper dieselbe Arbeit verrichtet hat wie jener.

Mittelst dieses Apparates haben Noble und Abel gefunden, daß wenn 1 Kilogramm Pulver entzündet wird, der Art, daß die Gase nach der Explosion den Raum von einem Liter einnehmen, der von ihnen ausgeübte Druck 6400 Atmosphären beträgt, d. i. 6611 Kilogramm auf den Quadratcentimeter.

Berthelot, Vieille und Sarrau¹⁾ haben in der Weise experimentiert, daß sie einige Gramm des betreffenden explosiven Präparates, z. B. Schiefsbaumwolle, Nitroglycerin u. a. m. in einer kleinen Kartouche von Zinnfolie, in der Mitte einer Stahlröhre von 24,3 cc Kapazität, freihängend, durch einen durch die Kartouche gehenden feinen galvanischen Glühdrat zündeten. Diese Anordnung war deshalb notwendig, weil die Explosion des Präparates in Kontakt mit den Wandungen der Explosionskammer, unfehlbar die Stahlröhre zerschmettert hätte.

Diese Versuche mit allmählich wachsenden Ladungen angestellt, haben erkennen lassen, in welcher Weise die Spannung sich ändert mit der Dichtigkeit der entwickelten Gase.

Für Knallquecksilber z. B. betragen die Drucke in dem Stahlgefäße auf den Quadratcentimeter, bei einer Ladung von:

2,43 g =	477 kg
4,86 g =	1730 kg
7,29 g =	2697 kg
9,72 g =	4272 kg.

Mit Schiefsbaumwolle wurden unter denselben Bedingungen fast noch einmal so starke Drucke erhalten.

Berechnung der Explosionsarbeit.

Erfahren die einen Explosionsraum umschließenden Wandungen eine Verschiebung, so verrichten die Explosionsgase durch diese Verschiebung eine mechanische Arbeit.

Die Explosionsgase mögen ursprünglich in einem Cylinder, Fig. 5, den Raum v einnehmen. Nach der offenen Seite sei der Cylinder durch einen Kolben K abgeschlossen. Infolge des Gasdruckes weiche der Kolben in die Stellung K_1 zurück, unter der Voraussetzung jedoch, daß in dem Kolben ein

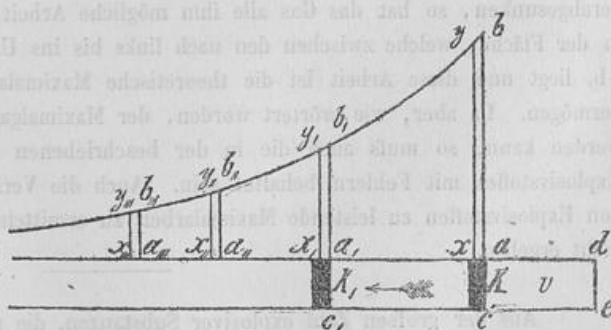


Fig. 5.

¹⁾ Comptes rendus 90, p. 946—952. 92, p. 1074—1079. 93, p. 61.

Gegendruck wirke, welcher dem abnehmenden Drucke in jedem Augenblicke gleich sei, und dafs den Gasen weder Wärme zugeführt werde, noch dafs sie Wärme abgeben, so ist ersichtlich, dafs der auf den Kolben in seiner ursprünglichen Stellung k wirkende Druck, der Maximaldruck p , sich zu dem auf den Kolben in der Stellung k , noch wirkenden Drucke p , nach dem Boyle'schen Gesetze verhält, umgekehrt wie die von den Explosionsgasen jeweilig eingenommenen Räume, oder bei dem gleichen Cylinderquerschnitte

$$p : p_1 = c : c_1$$

Hat man den Maximaldruck in irgend einer Weise ermittelt, und stellt man seine Gröfse durch die Linie ab dar, so ist die Arbeit, welche das Gas bei der Verschiebung des Kolbens von a aus um eine sehr kleine Strecke ax leistet, annähernd durch das Produkt der Längen ax und ab , also durch den Flächeninhalt des Rechteckes $axby$ graphisch auszudrücken, unter der Voraussetzung, die Verschiebung ax sei so klein, dafs während derselben keine mefsbare Abnahme des Gasdruckes stattfindet.

Wird nun die Gröfse des Gasdruckes in der Stellung k , durch die Länge ab , dargestellt, so kann in derselben Weise wie zuvor, die durch die Verschiebung des Kolbens von a' nach x , geleistete Arbeit durch die Fläche $a'xby$, graphisch gemessen werden.

Wiederholt man diese Betrachtung an verschiedenen Stellen, so findet man, dafs die Gesamtarbeit, welche die Explosionsgase bei ihrer Ausdehnung leisten, durch eine Fläche dargestellt werden kann, welche einerseits durch die Gerade aa_1, \dots und anderseits durch die Kurve bb_1, \dots begrenzt wird, deren einzelne Punkte von a, a_1, \dots um Distanzen abstehen, welche den in den Kolbenstellungen k, k_1, \dots herrschenden Gasdrucken direkt proportional sind.

Die Gerade aa_1 , und die Kurve bb_1 , mufs man sich nach links ins Unendliche fortgesetzt denken; nach rechts sind sie durch die Gerade ab abgegrenzt.

Da sich mittels des Boyleschen Gesetzes für beliebig viele Punkte a_1, a_2, \dots die zugehörigen Punkte b_1, b_2, \dots der Kurve ermitteln lassen, so kann dieselbe ohne weitere Rechnung dargestellt werden, und so die Arbeitsmenge, welche von den Explosionsgasen während ihrer Ausdehnung bis zu einem beliebigen Drucke graphisch ermittelt werden.

Ist der Gasdruck durch unendliche Ausdehnung des ursprünglichen Volumens auf Null herabgesunken, so hat das Gas alle ihm mögliche Arbeit verrichtet. Diese Arbeit hat ihr Mafs in der Fläche, welche zwischen den nach links bis ins Unendliche verlängerten Linien aa_1 , und bb_1 , liegt und diese Arbeit ist die theoretische Maximalarbeit, welche die Gase zu verrichten vermögen. Da aber, wie erörtert worden, der Maximalgasdruck mit Genauigkeit nicht ermittelt werden kann, so mufs auch die in der beschriebenen Weise berechnete Maximalarbeit eines Explosivstoffes mit Fehlern behaftet sein. Auch die Versuche auf experimentellem Wege, die von Explosivstoffen zu leistende Maximalarbeit zu ermitteln, haben befriedigende Resultate bisher nicht ergeben.

Aus der grofsen Zahl explosiver Substanzen, die man kennt, eignet sich als Triebmittel für Feuerwaffen keines besser, als das alte Schiefspulver, während als Sprengmittel die Nitropräparate, und unter diesen die Schiefsbaumwolle und das Nitroglycerin, in der Form von Dyamit, unerreicht dastehen und zwar hauptsächlich deshalb, weil dieselben, infolge ihrer enormen Explosionsgeschwindigkeit, in unverdämmten, freiliegenden Ladungen verwendet werden können.

Im Bergbaue, bei Bahn-, Strafsen- und Hafenbauten, zur Demolierung von Wracks, zur Rodung von Wäldern, zur Zertrümmerung sonst nicht zu bewältigender Eisenmassen sind diese Nitropräparate bereits unentbehrlich geworden. Auch als Kriegsmittel haben dieselben eine nichtgeahnte Bedeutung erlangt; die Schiefsbaumwolle in erster Linie, namentlich in der Verwendung des furchtbarsten marinen Angriffs- und Verteidigungsmittels, im Torpedowesen.

Diese so gefürchteten Präparate haben die Durchstechung der Landenge von Suez ermöglicht, sie haben die Durchbohrung des St. Gotthards gelingen lassen, mit ihrer Hilfe wird die Kanalisierung der Landenge von Panama, werden andere ebenso wichtige und schwierige Unternehmungen der Menschheit zum Wohle zur Ausführung gelangen.

Die Einführung dieser gewaltigen Kraftmittel war allerdings von furchtbaren Umständen begleitet, und ihre gefahrlose Handhabung erfordert freilich unausgesetzte ruhelose Wachsamkeit, das hindert indessen wahrlich nicht, ihnen eine sehr hervorragende Stelle einzuräumen unter den wichtigsten Entdeckungen unseres Jahrhunderts.

© The Tiffen Company, 2007

TIFFEN® Gray Scale

R	G	B	W	G	K	C	Y	M
●	●	●	●	●	●	●	●	●

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

