

DIE EXPLOSIVSTOFFE

MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG

DER NEUEREN PATENTE

BEARBEITET

VON

DR. RICHARD ESCALES

SIEBENTES HEFT

INITIALEXPLOSIVSTOFFE



LEIPZIG

VERLAG VON VEIT & COMP.

1917

INITIALEXPLOSIVSTOFFE

VON

DR. RICHARD ESCALES

UND

DR. ALFRED STETTbacher

MIT ZAHLREICHEN FIGUREN



LEIPZIG

VERLAG VON VEIT & COMP.

1917

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Vorwort.

Auf das im vergangenen Jahr erschienene sechste Heft folgt nunmehr das siebente Heft dieser Sammlung über Explosivstoffe. Es trägt den Titel „Initialexplosivstoffe“ und stellt den umfangreichsten aller bisher erschienenen Bände dar. Die kurze Bezeichnung gilt darum nicht viel mehr als ein Stichwort, um den Charakter des Buches hervorzuheben; denn der Inhalt behandelt nicht nur die fabrikatorische Herstellung und Verwendung dieser „fulminanten“ Sprengstoffe, sondern umschließt das weite, nach allen Richtungen hin ausgebaute Gebiet der Initialzündung, von den Zündhütchen, Sprengkapseln, Geschoßdetonatoren, den einfachen und detonierenden Zündschnüren bis zu den elektrischen Zündungsarten. Dabei haben neben der internationalen Patentliteratur und den anderweitig bekannt gewordenen Neuerungen und Verbesserungen, auch die wissenschaftlichen Forschungsergebnisse weitgehendste Berücksichtigung gefunden, so daß die Darstellung im praktischen wie im theoretischen Sinne den Anspruch auf Vollständigkeit machen darf.

Noch mehr als an dem vorhergehenden, hat Herr Dr. Stettbacher an dem vorliegenden Bande als Mitarbeiter teilgenommen und durch wissenschaftliche und praktische Beiträge, die größtenteils in der Zeitschrift für Schieß- und Sprengstoffwesen erschienen, zum Teil aber auch zum ersten Male in diesem Buche niedergelegt sind, sowie durch Überlassung von Originalphotographien

und Zeichnungen (Fig. 36, 37, 39, 40, 43, 49, 78) das Seine zu dem Inhalt beigesteuert. Es mag noch erwähnt werden, daß die kritischen Bemerkungen, soweit sie in den allgemeinen theoretischen Abschnitten und namentlich aber auch bei der Besprechung der einzelnen Patente vorkommen, meistens aus seiner Feder stammen.

München, August 1916.

Dr. R. Escales.

Inhalt.

	Seite
Erster Abschnitt. Geschichtliches.	
I. Initialzündung in Waffen und Geschossen	1
II. Initialzündung bei Sprengstoffen	24
Zweiter Abschnitt. Das Wesen der Initialzündung.	
Erster Teil. Allgemeine Betrachtungen	43
Zweiter Teil. Theorien und Definitionen	51
Dritter Abschnitt. Das Knallquecksilber.	
Erster Teil. Geschichte und Konstitution des Knallquecksilbers	65
Zweiter Teil. Ausgangsprodukte für die Darstellung des Knall- quecksilbers	78
Dritter Teil. Darstellung des Knallquecksilbers	78
Vierter Abschnitt. Die Azide	154
I. Die Stickstoffwasserstoffsäure	155
II. Die Azide.	160
Fünfter Abschnitt. Andere Initialsprengstoffe.	
I. Anorganische Verbindungen	171
II. Organische Verbindungen	177
III. Brisanz- und Initialsprengstoffe in ihrem Verhältnis zueinander	187
Sechster Abschnitt. Patente betreffend die Herstellung von Initialsprengstoffen und Sprengkapselzündsätzen.	
I. Zündsätze mit Knallquecksilber als Hauptbestandteil	197
II. Zündsätze, in denen das Knallquecksilber größtenteils durch einen aromatischen oder sonst einen Nitrosprengstoff ersetzt wird	201
III. Knallquecksilberfreie Zündsätze	213
IV. Neue Initialsprengstoffe	218
Siebenter Abschnitt. Die Fabrikation der Sprengkapseln	231
Erster Teil. Ausgangsmaterialien für die Sprengkapselfüllung	232
Zweiter Teil. Die Herstellung der Sprengkapseln	258
Dritter Teil. Andere und neuere Sprengkapseltypen	303
Vierter Teil. Prüfung der Sprengkapseln	320
Achter Abschnitt. Patente betreffs Herstellung von Patronen- zündsätzen	331

	Seite
Neunter Abschnitt. Die Fabrikation der Zündhütchen . . .	344
Erster Teil. Ausgangsmaterialien für die Zündsatzfabrikation	346
Zweiter Teil. Das Mischen der Zündsatzbestandteile . . .	357
Dritter Teil. Das Granulieren der Zündsätze	372
Vierter Teil. Das Trocknen der Zündsätze	377
Fünfter Teil. Das Sieben der Zündsätze	384
Sechster Teil. Herstellung der Hütchen	388
Siebenter Teil. Prüfung der Zündhütchen	416
Unfälle bei der Zündsatzfabrikation	425
Zehnter Abschnitt. Patente betreffs Herstellung detonierender Zündschnüre	430
Elfter Abschnitt. Zündschnurzündung.	
I. Gewöhnliche Zündschnüre	440
II. Detonierende Zündschnüre	446
Zwölfter Abschnitt. Elektrische Sprengkapselzündung . . .	461
Die elektrischen Zünder	462
Einrichtung und Herstellung der Zünder	464
Die Leitungen	472
Die Stromquellen	475
Die Prüfapparate	483
Dreizehnter Abschnitt. Sprengtechnisches	485
Vierzehnter Abschnitt. Gesetze und Verordnungen.	
Eisenbahn-Verkehrsordnung	490
Besondere Unfallverhütungsvorschriften für Fabriken von Zün- dern jeder Art	502
Besondere Unfallverhütungsvorschriften für Sprengkapsel- und Zündhütchenfabriken	508
Literatur	521
Patente	523
Autorenregister	525
Sachregister	528

Erster Abschnitt.

Geschichtliches.

I. Initialzündung in Waffen und Geschossen.¹

Die staunenswerte Vollkommenheit unserer Waffen und Geschosse hängt aufs engste mit der Entwicklung der Initialzündung zusammen. Die Schnelligkeit und Sicherheit des heutigen Infanteriefeuers vom Repetier- bis zum Maschinengewehr, die unfehlbar präzise Wirkung der modernen Schrapnells und Granaten — die ganze Vortrefflichkeit unserer Waffentechnik gründet sich zuletzt auf die Güte und Verlässlichkeit der Zündung. Die Verbesserung der Schießrichtungen läuft parallel mit der Verbesserung der Zündung; die Entwicklungsgeschichte der Handfeuerwaffen ist der beste Beweis dafür.

Bei den ersten Feuerwaffen erfolgte die Entzündung der Pulverladung durch ein Stück glimmender Kohle, später durch ein glühendes Eisen, Loseisen genannt. Der Laufmantel hatte in der Nähe des Bodens eine Öffnung, das Zündloch, das sich außen zu einer trichterförmigen Zündpfanne erweiterte, um das Zündpulver oder das Zündkraut aufnehmen zu können. Durch Berührung mit dem glühenden Körper wurde das Zündkraut angesteckt, die Flamme schlug durch das Zündloch und setzte die Treibladung in Brand. An Stelle des Loseisens trat 1378 die Lunte, ein Strick aus locker gesponnenem Hanfgarn, der mit Bleizuckerlösung getränkt wurde. Bei diesen ältesten Feuerwaffen war der Schütze beim Schußabtun genötigt, das Auge vom Ziele abzuwenden und auf Lunte und Zündpfanne zu richten, so daß von Treffsicherheit keine Rede sein konnte.

Eine Verbesserung wurde durch das um die Mitte des 15. Jahrhunderts (1440 bis 1470) aufkommende Luntenschloß erreicht. Dieses bestand in einem abdrückbaren Hahn, der durch einen Schlitz die Lunte aufnahm. Beim Abzug des Hahnes bewegte sich dieser dann abwärts und brachte die zwischen die Hahnlippen

¹ Teilweise nach einem gleichbetitelten Aufsatz von Dr. Utescher bearbeitet, Zeitschr. f. Schieß- u. Sprengst. 1914, S. 101, 123, 146, 161.

geklemmte Lunte auf die Zündpfanne. Eine weitere Erhöhung der Zielsicherheit bei schneller Abgabe des Schusses gestattete das Luntenschnappschloß, bei dem der Hahn nicht mehr durch einen steten Druck auf den Abzug nach der Pfanne geführt wird, sondern nach dem Spannen durch Auslösen einer Feder mit einem Schlage niederklappt.

Alle diese frühen Schösser hatten neben umständlicher Handhabung den Nachteil, daß der Schütze stets eine glimmende Lunte mit sich führen mußte, um zum Schießen bereit zu sein. Dies legte den Gedanken nahe, den Funken nach Art der Reibfeuerzeuge erst in dem Augenblick und an der Stelle zu erzeugen, wo er das Zündkraut entflammen sollte. Es entstanden, etwa um 1500 herum, die sogenannten Mönchsbüchsen, die an der linken Rohrseite eine hin und her bewegliche, als Feile ausgebildete Zugstange besaßen, welche an einem durch Federkraft angedrückten Feuerstein Funken riß. Aus der geraden Feile der Mönchsbüchse entwickelte sich die gebogene Feile (Viertelrad), und diese bildete dann den Übergang zu dem um die Mitte des 17. Jahrhunderts vollendeten Radschloß.

Ungefähr zu gleicher Zeit mit dem Reibfeuerzeug war auch das Schlagfeuerzeug aufgekommen; es entstand das Steinschnappschloß und aus diesem das Steinschloß, welches 1500 bis 1520 über die Niederlande nach Deutschland kam. Ein nach Art des Luntenschnappschlusses gespannter und ausgelöster Hahn schlägt mit einem eingeklemmten Stück Schwefelkies auf die vor der Pfanne befindliche gerauhte Schlagfläche nieder. Allmählich kam man von der Verwendung des Schwefelkieses als Funkenzeuger ab, und bediente sich eines Feuersteins oder geschliffenen Achats. Zur größeren Sicherheit der Zündung schloß man das Steinschloß in ein Blechgehäuse, welches die Zündvorrichtung vor Wind und Regen schützte. Aber auch dieses verbesserte Steinschloß stellte die Entzündung des Pulvers noch häufig in Frage, zudem erforderte der komplizierte Mechanismus sorgfältige Bedienung, so daß man neben anderen Übelständen noch weit entfernt von einer zuverlässigen Vorrichtung war.

Nachdem man sich zwei Jahrhunderte hindurch des mechanisch erzeugten Funkens bedient hatte, wurden im Anfange des 19. Jahrhunderts durch die chemische Wissenschaft der Lösung des Zündungsproblems neue Wege gewiesen. Die Entdeckung des französischen Chemikers Berthollet (1786), daß Chlorate mit brennbaren Stoffen explodieren, und die Darstellung des Knallquecksilbers durch den Engländer Howard (1799) führten zur Herstellung der sogenannten chemischen Schösser, bei denen

der zur Entflammung der Pulverladung dienende Feuerstrahl unter Vermeidung des Zündkrautes durch Schlag auf einen empfindlichen Satz erzeugt wird. Von hier an beginnt die folgenreiche Entwicklung der Perkussions- oder Initialzündung in Feuerwaffen. Zunächst bediente man sich eines Kaliumchloratsatzes unter Beimengung von Schwefel und Kohle, da man die Gefährlichkeit des Knallquecksilbers fürchtete. Das Gemenge wurde angefeuchtet und wie Schießpulver gekörnt, oder es wurden etwa erbsengroße Zündpillen gefertigt, die zum Schutze gegen Feuchtigkeit mit Wachs überzogen wurden. Das erste Patent auf ein Gewehr mit Perkussionszündung durch solche Zündpillen geht auf den Schotten Alexander Forsyth ins Jahr 1807 zurück. In den folgenden zehn Jahren lieferte Paris allein drei weitere Modelle, von denen dasjenige von Lepage (1810) als die Muttererfindung des späteren Zündnadelschlosses gelten kann. Lepages Patent betraf ein Schloß mit verdeckter Zündpfanne. Die Pfanne saß auf einem durchbohrten Zündstift und durch den Deckel führte ein von einer Spiralfeder gehaltener Schlagstift, der durch den niederschlagenden Hahn auf die Zündmasse getrieben wurde. Diese bestand aus 10 Teilen Jagdpulver und 5 Teilen Kaliumchlorat, enthielt aber auch manchmal schon einen Zusatz von Knallquecksilber. Das Schloß von Lepage bildete den Übergang zu der Erfindung des Büchsenmachers Dreyse, der 1820 ein Schloß konstruierte, bei dem eine Nadel durch den Schlag des Hahnes vorgeschneelt wurde und das in der Pulverkammer befindliche Knallpräparat durch Anstechen zur Explosion brachte. Aus diesem Modell ging dann 1828 das eigentliche Zündnadelschloß hervor, dem die Schlösser der Handfeuerwaffen bis in die Neuzeit gleichen. Die Zündnadel durchdringt, mittels Spiralfeder vorgeschneelt, die Pulverladung der Patrone und sticht die Zündpille an, deren Feuerstrahl das Pulver entflammt. Der Zündpillensatz bestand aus 52·4% Kaliumchlorat und 47·6% Schwefelantimon. Die Einrichtung der Patrone zeigt Fig. 1. 1836 gelang es dann Dreyse, sein Zündnadelsystem mit der Hinterladung zu vereinen.

Die Zündhütchen. Eine Erfindung von fast ebenso großer Tragweite wie die des Zündnadelgewehres wurde gegen das Jahr 1817 gemacht, nämlich diejenige des Zündhütchens. Die Eigen-

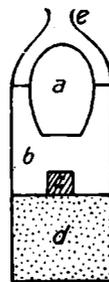


Fig. 1. Patrone zum Zündnadelschloß.

- a Langblei,
- b Spiegel,
- c Zündpille,
- d Pulverladung.
- e Papierhülse.

schaft des Knallquecksilbers, durch Stoß und Schlag leicht zu explodieren, führte bald nach seiner Entdeckung zu Versuchen, dasselbe zu Perkussionszündungen zu verwenden. Das Prinzip der Perkussionszündungen war zwar um diese Zeit bereits bekannt und, wie schon angeführt, in den sogenannten chemischen Schlössern mit empfindlichen Chloratsätzen angewandt worden. Die Entzündung der Zündpillen durch Schlag mittels eines Hahnes oder Schlagbolzens auf die Zündpfanne des Gewehres war jedoch weder bequem noch sehr zuverlässig und außerdem stark von äußeren Einflüssen abhängig. Man kam daher auf den Gedanken, den Zündstoff in eine metallene Hülle einzuschließen und in dieser Form für die Schlagschlösser zu verwenden. Und damit war das Zündhütchen erfunden. Anfänglich blieb das Knallquecksilber für diese Zündsätze noch außer Anwendung; man verwendete den alten Knallsatz, bestehend aus 70·6% Kaliumchlorat, 17·6% Schwefel und 11·8% Kohle, preßte diesen in kupferne Hülsen, überzog ihn zum Schutze gegen Feuchtigkeit und Herausfallen mit Firnis oder bedeckte ihn mit einem Stanniolplättchen. Diese Zündhütchen wurden auf den durchbohrten Zündstift (Piston) aufgesetzt und durch den Schlag eines Hahnes zur Explosion gebracht, wobei der Zündstrahl durch das Piston in die Treibladung schlug. Die erste derartige Waffe wurde 1820 von Deboubert in Paris hergestellt, und bald entstanden in verschiedenen Ländern große, auf Massenfertigung eingerichtete Zündhütchenfabriken.

Nach Guttman wäre der englische Büchsenmacher Josef Egg der erste gewesen, der Zündhütchen herstellte, und zwar schon im Jahre 1815. Der Erfinder des Zündhütchens ist zurzeit aber noch nicht mit unumstößlicher Sicherheit ermittelt. Oberst Haucker nimmt in seinem Buche „Die Jagd“ dies Verdienst ausschließlich für sich in Anspruch und andere Autoren schreiben es einem Schotten Alexander Forstyth zu. Welche Bewandnis es auch mit diesen beanspruchten und zugeschriebenen Erfinderprioritäten haben mag: — so viel steht fest, daß um das Jahr 1817 die ersten Perkussionsschlösser in Aufnahme gelangten und nunmehr die Bahn für eine äußerst schnelle Entwicklung des Handfeuerwesens geebnet war. Zuerst wurde noch bei den damaligen Vorderladern Pulver, Geschoß und Zündhütchen gesondert geladen, bald aber schuf Berdan in Amerika die metallene Einheitspatrone. Aber auch interessante Zwischenstufen in dieser Entwicklung lassen sich beobachten. Hier sei nur an das bayrische Podewils-Hinterladergewehr erinnert, bei welchem Treibmittel und Geschoß in einer Papierpatrone vereinigt waren, das Zünd-

hütchen aber in hergebrachter Weise auf einen Zündkegel (Piston) aufgesetzt werden mußte.

Obschon die ersten Zündhütchen noch allerhand Nachteile zeigten, die eine rasche Einführung verhinderten, so siegte die neue Zündungsart doch bald dadurch, daß bei ihr Versager — im Gegensatz zu dem allgemein verbreiteten Steinschloß — nur noch in sehr beschränkter Anzahl auftraten (1% gegen 15%). Der erste größere Truppenversuch mit Zündhütchen wurde 1828 in Hannover gemacht. Durch Vereinigung der Nadel- oder Schlagbolzenzündung mit einer Patrone, die das mit Knallquecksilberzundsatz gefüllte Zündhütchen enthielt, war die Frage der Handfeuerwaffenzündung endgültig gelöst. Von 1831 an trat allgemein das Knallquecksilber als wesentlicher Bestandteil in die Zundsätze ein. Dieser Initialzündstoff zeigte jedoch wegen seiner hohen Brisanz einen mangelhaften Zündungseffekt, da die bei der Explosion auftretende Flamme häufig nicht zur Entzündung des Pulvers hinreichte. Erst eine Mischung des Knallquecksilbers mit den bisher hauptsächlich verwendeten Zündmitteln, Kaliumchlorat und Schwefelantimon, lieferte einen Zundsatz mit großer Empfindlichkeit und heißer Stichflamme. Um die durch die anorganischen Beimengungen herabgeminderte Empfindlichkeit des Knallquecksilbers zu erhöhen, setzte man zur Vermehrung der inneren Reibung etwas Glaspulver zu und bewirkte dann durch Schellack oder Gummiarabikum ein Zusammenhalten der Zündmasse. Die erste Einheitspatrone mit Metallzündhütchen wurde 1832 von Lefauchaux konstruiert. Die Patronenhülse war aus Pappe. Der angesetzte, aus Messingblech gepreßte Boden trug in seiner Mitte in einer Vertiefung das Zündhütchen; als Widerlager diente diesem der Amboß, neben dem zwei Zündlöcher zu der Pulverladung führten. 1845 stellte Flobert eine Patrone mit Kupferhülse und eingesetztem Zündhütchen her. Beim deutschen Reichsheere wurde die Metallpatrone aus Messing mit Zentralzündung 1871 eingeführt (11 mm-Gewehr M 71), in Frankreich 1879.

Seit der Einführung der Zündhütchen haben die Zundsätze in ihrer Zusammensetzung nur wenig Änderung erfahren; als Hauptbestandteile sind immer noch Knallquecksilber, Kaliumchlorat, Schwefelantimon, Glas und ein Bindemittel wie Schellack oder arabischer Gummi geblieben. Einzig die Mengenverhältnisse dieser Bestandteile sind Schwankungen unterworfen gewesen, worüber die folgende Tabelle (S. 6) Auskunft gibt.

Diese Zundsätze sind größtenteils noch heute im Gebrauch. Für die Munition der Handfeuerwaffen hat sich eine Mischung,

Bestandteil	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %	9 %
Knallquecksilber . . .	10	10	13	27	18	30	30	40	48·8
Kaliumchlorat . . .	37	42	43	37	35·5	25	30	24	24·4
Schwefelantimon . . .	40	35	34	29	28	40	16	—	26·2
Glas	13	13	10	7	8·5	5	20	31	—
Bindemittel	0·6	—	0·6	0·6	0·5	0·5	4	5	0·6

die ungefähr dem Zündsatz 4 oder 5 entspricht, am besten bewährt; sie ist fast in allen Staaten eingeführt worden, ohne daß es einer neuen Erfindung bisher geglückt wäre, sie zu verdrängen.

Die in den letzten 30 Jahren unternommenen Versuche, bessere Zündsätze herzustellen, beziehen sich auf den teilweisen oder ganzen Ersatz des gefährlichen teuren Knallquecksilbers und auf die Herstellung eines Zündsatzes, dessen Explosionsgase kein Rosten des Gewehrlaufs bewirken. Das Armeedepartement der Vereinigten Staaten gab 1898 folgende knallquecksilberfreie Zündmischung an:

Kaliumchlorat	49·4 %
Schwefelantimon	25·1 %
Schwefel	8·8 %
Glas	16·7 %

Diese angebliche Neuerung stellt aber nichts anderes als die ersten Perkussionssätze dar, deren man sich vor Einführung des Knallquecksilbers in der Zündsatzfabrikation bediente. Einen anderen Zündsatz ohne Knallquecksilber hat sich 1912 der Amerikaner Buell patentieren lassen; die Zusammensetzung ist:

Kaliumchlorat	50 %
Schwefelantimon	20 %
Bleisuperoxyd	25 %
Trinitrotoluol	5 %

Aber auch dieser Satz dürfte mit dem eben genannten keinen besonderen Fortschritt bedeuten.

Seit kurzem sucht man auch in die Waffentechnik jene hochbrisanten Initialsubstanzen einzuführen, die in der Sprengtechnik bereits schon das Knallquecksilber zu verdrängen beginnen. Darunter gehört in erster Linie das Bleiazid, das nach mehreren Patenten (vgl. S. 224) der Rheinisch-Westfälischen Sprengstoff-A.-G. an Stelle des Knallquecksilbers und dessen Ersatzmischungen treten soll. Da sich das Bleiazid bis zu Drucken von 10000 kg pro Quadratcentimeter pressen und verdichten läßt und dann an Brisanz und Initialwirkung außerordentlich zunimmt,

so soll es sich vorzüglich zu Geschoßzündern eignen, wo eine feste, kompakte und unveränderliche Zündmasse besonders erwünscht und notwendig ist. Auch das teurere Silberazid scheint wieder bevorzugt zu werden, da es sich vor allen andern Verbindungen durch hervorragende Beständigkeit gegen jeden atmosphärischen Einfluß erwiesen hat. Als weiteres Ersatzmittel für Knallquecksilber werden von E. v. Herz (vgl. D.R.P. 258679, S. 227) die Perchlorate der Diazoverbindungen von aromatischen Kohlenwasserstoffen (Benzol, Toluol, Xylol, Naphthalin, Anthrazen usw.) ihrer Homologen und Substitutionsprodukte, sowie der nitrierten Kohlenwasserstoffe vorgeschlagen. Als metallfreie, völlig vergasbare organische Substanzen mögen diese Verbindungen vor den anderen Zündsätzen viele Vorteile haben; indessen wird erst eine längere Erfahrung über ihre praktische Eignung zu Patronen- und Geschoßzündung entscheiden können. Ganz neu ist ferner ein Vorschlag obigen Patentinhabers (D.R.P.-Anmeldung H 63188), wonach das normale Bleisalz des Trinitroresorzins $C_6H(NO_2)_3O_2Pb$ zur Darstellung von Zündsätzen jeder Art Waffen verwendet werden soll.

Ungefähr mit dem Jahre 1900 begannen die Versuche zu einer sehr wichtigen Neuerung in der Herstellung der Zündsätze. Man hatte schon lange herausgefunden, daß der große Übelstand des Nachrostens der Gewehrläufe auf den Kaliumchloratzusatz zurückzuführen sei, und es handelte sich jetzt darum, entweder einen anderen harmloseren Sauerstoffträger zu finden oder dem Zündsatz Stoffe zuzumischen, welche die bei der Detonation entstehenden schädlichen Gase unwirksam machten. Die ersten sogenannten rostfreien Zündhütchen fertigte 1901 die Rheinisch-Westfälische Sprengstoff-A.-G. Der Zündsatz enthielt Bariumnitrat an Stelle von Kaliumchlorat und einen Zusatz von Pikrinsäure, die den trägen Salpeter wirksam unterstützen sollte. Seine Zusammensetzung war:

Knallquecksilber	39%
Bariumnitrat	41%
Schwefelantimon	9%
Pikrinsäure	5%
Glaspulver	6%

Einen ähnlichen Zusatz verwandte 1902 die Firma Basse und Selve. Das Kaliumchlorat war gleichfalls durch Bariumnitrat ersetzt worden; dazu kam aber noch ein Zusatz von Bariumkarbonat zur Neutralisation etwaiger saurer Explosionsgase. Folgendes gibt die Zusammensetzung dieses Satzes an:

Knallquecksilber	40 ⁰ / ₀
Bariumnitrat	25 ⁰ / ₀
Bariumkarbonat	6 ⁰ / ₀
Schwefelantimon	25 ⁰ / ₀
Glaspulver	4 ⁰ / ₀

1904 nahm die Westfälisch-Anhaltische Sprengstoff-A.-G. ein Patent auf einen Zündsatz, in dem an Stelle des Kaliumchlorats ein Chromat gesetzt wird. Die Chromate sollen bei der Detonation die entsprechenden Metalloxyde in feinsten Verteilung liefern, so daß sich diese als rostschtzender Überzug auf der Laufwandung niederschlagen. Nachstehende Tabelle gibt einige Zündsätze solcher Zusammensetzung wieder.

	Prozent		Teile	
Knallquecksilber	36	36	40	40
Kaliumbichromat	—	—	10	—
Bleichromat	40	—	26	20
Bleisuperoxyd	—	—	—	16
Quecksilberchromat	—	40	—	—
Schwefelantimon	20	20	—	—
Glaspulver	4	4	6	6

Im Jahre 1908 hat sich Dr. A. Lang in Karlsruhe einen rostfreien Zündsatz patentieren lassen (vgl. D.R.P. 209812 v. 24. Sept. 1908), bei dem kein Sauerstoffträger benutzt wird, sondern Metallpulver, wie Magnesium und Aluminium, die mit Schwefel zusammengeschmolzen werden und entweder als Aufsatz auf Knallquecksilber dienen oder nach dem Pulverisieren diesem beigemischt werden.

W. Meyer, Berlin, hat 1911 mehrere Auslandspatente auf rostfreie Zündsätze genommen, bei denen als Sauerstoffträger auch Bariumnitrat dient; neu ist die gleichzeitige Verwendung von Bleisuperoxyd und Kaliumsilizid, wie folgende beiden Beispiele zeigen:

Knallquecksilber	25 ⁰ / ₀	20 ⁰ / ₀
Bariumnitrat	25 ⁰ / ₀	40 ⁰ / ₀
Schwefelantimon	15 ⁰ / ₀	20 ⁰ / ₀
Bleisuperoxyd	35 ⁰ / ₀	10 ⁰ / ₀
Kaliumsilizid	—	10 ⁰ / ₀

Die rostfreien Zündsätze enthalten also fast allgemein Bariumnitrat. Wenn dazu noch einige Prozent eines brisanten Sprengstoffs, wie Pikrinsäure, Trinitrotoluol usw., gemischt werden, so steht der resultierende Zündsatz einem chlorathaltigen an

Empfindlichkeit, Zündfähigkeit und Lagerbeständigkeit kaum nach. Der erstrebte Erfolg ist damit erreicht worden.

Geschützzündung.

Während bei den Handfeuerwaffen das Bedürfnis nach einer besseren Zielmöglichkeit und Feuergeschwindigkeit schon zu Anfang des 15. Jahrhunderts den ersten Schritt zu einer stetigen Vervollkommnung der Abfeuervorrichtung tun ließ, genügte bei den Geschützen, deren Rohr bis zum Losgehen des Schusses unverrückbar fest auf irgendeiner Unterlage ruhte, noch lange die ursprüngliche rohe Art des Abfeuerns, die gleichzeitig mit den ersten Feuerwaffen ins Leben getreten war: das in einem Fläschchen mitgeführte Zündkraut (Mehlpulver) wurde in das Zündloch gefüllt, mittels einer runden Messingnadel etwas festgestampft und durch Lunte oder Zündstab gezündet. Die Zündungsart versagte natürlich bei widrigen Witterungsverhältnissen nur allzuhäufig; man soll daher schon 1521 sogenannte Zündlichte — mit Mehlpulver gefüllte Papierhülsen, die beim Entzünden mit der glimmenden Lunte eine heiße, nicht leicht verlöschende Flamme gaben — zum Abfeuern der Geschützladungen angewandt haben. Erst mit dem Beginne des 18. Jahrhunderts finden wir die ersten Anzeichen zu einer Verbesserung auf dem Gebiete der Geschützzündung; indessen war man noch weit davon entfernt, die am Gewehr gemachten Erfahrungen auf das Geschütz zu übertragen, sondern man begnügte sich zunächst damit, der Lunte einen kräftigeren Zündkörper beizugeben. Etwa um 1750 wurden neben der Lunte durchweg Zündlichte mitgeführt, die etwa 16 Zoll lang waren und 12 bis 15 Minuten Brenndauer hatten. Die mit Zündpulver gefüllten, in das Zündloch einzusetzenden Röhrechen hießen Schlagröhren; die ersten derselben waren aus Papier gedreht, später jedoch fing man an, sie aus Metall (Kupfer, Weißblech, Zinn) zu fertigen und mit einem Gemisch von Mehl- und Kornpulver vollzuschlagen. Gleichzeitig mit den Schlagröhren kamen die Stoppinen auf, deren man sich vorzugsweise bei langsamem Feuern bediente. Es waren dies Stäbchen aus Holz oder Draht, die mit Baumwollgarn umwickelt und 5 bis 6 Stunden in Anfeuerungsmasse gelegt wurden.

Erst nach 1800, mit dem Auftreten der Perkussionszündung, ging man allmählich daran, die bei der Handfeuerwaffenzündung gesammelten Erfahrungen auch auf die Geschützzündung anzuwenden. Versuche mit einer Perkussionszündung wurden erstmals in Metz 1809, dann in Kassel 1815 angestellt. Bemühungen, das Zündhütchen für Geschützzündungen zu verwenden,

scheiterten zunächst daran, daß man es nicht unmittelbar hinter die Kartusche bringen konnte, sondern auf ein Piston aufsetzen mußte, was natürlich eine ganz unsichere Zündung zur Folge hatte. Besonderen Erfolg hatte die Übertragung der Perkussionsmethode auf die Schlagröhre, indem man in ein auf der Röhre aufgesetztes flaches Blechnäpfchen eine Zündpille aus Kaliumchlorat und Schwefelantimon setzte und diese durch einen frei geführten oder in einem Scharnier beweglichen Hammer zur Detonation brachte. Das Blechnäpfchen besaß einen umgebogenen Rand und im Boden vier Durchbohrungen für den Zündstrahl. Der Perkussionsschlagröhren-Zündsatz setzte sich gewöhnlich aus 20 Teilen Kaliumchlorat, 18 Teilen Schwefelantimon und 3 Teilen Glaspulver zusammen. Zu dem anfänglich nur aus Schwarzpulver bestehenden Satz der eigentlichen Schlagröhre gab man um 1830 auch einen Zusatz von 100 bis 150 Teilen Salpeter und 50 bis 100 Teilen Schwefel auf 100 Teile Pulver.

Um 1850 herum entstand eine wichtige Neuerung, indem man das schon in der Mönchsbüchse verkörperte Friktionsprinzip auf die Geschützzündung übertrug und in den oberen Teil der Schlagröhre eine Reibvorrichtung einsetzte. Letztere bestand aus einer kurzen, an beiden Enden zugewürgten Papierhülse, in die ein Satz aus Kaliumchlorat, Schwefelantimon und Glaspulver gefüllt war. In den Reibsatz reichte ein gerauhter Draht, der außen zu einer Öse für den Haken der Abzugsschnur zusammengedreht war. Beim Herausziehen des Reiberdrahtes entzündete sich der Satz, und seine Flamme übertrug sich über eine kleine Zwischenladung von Mehlpulver auf die festgeschlagene Ladung der Schlagröhre.

Nach dem Feldzuge 1870/71, vornehmlich aber nach Einführung des rauchschwachen Pulvers vollzog sich eine Neubewaffnung, durch die der Geschützzündung neue Aufgaben erwuchsen. Zunächst zeigte sich, daß der Feuerstrahl der alten Schlagröhre nicht mehr zur Entzündung der Geschützladung ausreichte. Das neue Pulver war schon an sich schwerer entzündlich, außerdem entwickelte es einen bedeutend höheren Gasdruck als Schwarzpulver. Eine Zündung, die weiter in das Zündloch hineinreichte und einen kräftigeren Feuerstrahl lieferte als die Schlagröhre, gewann man in der Feldschlagröhre (Fig. 2). Diese besteht aus einer zylindrischen Messingröhre, die etwa 3 cm länger ist als die der Schlagröhre. Sie nimmt im oberen Teil die Reibvorrichtung auf, eine oben zusammengewürgte Papierhülse mit Zündsatz und gerauhtem Reiberdraht, dann eine Füllung von losem Geschützpulver und schließlich fünf walzenförmig gepreßte Pulverkörner,

welche durch einen unteren Verschuß aus Paraffinpapier und Talkumkitt festgehalten werden. Der Zündsatz der Reibvorrich-

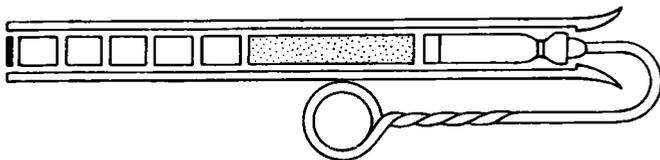


Fig. 2. Feldschlagröhre.

tung besteht aus 100 Teilen Kaliumchlorat, 100 Teilen Schwefelantimon, 25 Teilen Glaspulver und $2\frac{1}{2}$ Teilen arabischem Gummi.

Mit der Feldschlagröhre war außer der Sicherheit der Zündung und der gesteigerten Feuergeschwindigkeit auch der gasdichte Abschluß nach hinten verbessert worden. Als aber 1893 die schweren Geschütze der Fußartillerie aufkamen und eine Durchbohrung des Rohrkörpers eine zu große Gefährdung der Haltbarkeit bedeutet hätte, da mußte, zumal als die axiale Zentralzündung durch den Flachkeilverschluß hindurchgeführt wurde, an Stelle der Feldschlagröhre eine gasdicht nach hinten abschließende Zündung gefunden werden. Es entstand die Reibzündschraube (Fig. 3), deren Messinggehäuse aus einem zylindrischen Teil zur Aufnahme der Reibvorrichtung, dem Gewindeteil, der zum Einschrauben in den Zündlochstollen dient, und dem geriffelten Kopf besteht. Der Reibsatz ist in eine Papierhülse gefüllt, die in der konischen Bohrung eines aus Schwarzpulver über einen Dorn geschlagenen Pulverkornes steckt. Der Reiberdraht hat in einiger Entfernung über der Rauhung einen kegelförmigen Ansatz, der in den trichterförmigen Teil der Bohrung des Schraubenkörpers paßt und nach dem Abziehen einen gasdichten Abschluß bewirkt. Der Zündsatz der Reibzündschraube setzt sich aus 100 Teilen Kaliumchlorat, 60 Teilen Schwefelantimon, 30 Teilen Knallquecksilber und $2\frac{3}{4}$ Teilen Gummi arabikum zusammen. — Bei Küstenbatterien findet man an Stelle der Reibzündschraube eine ähnlich gebaute Glühzündschraube, die das gleichzeitige

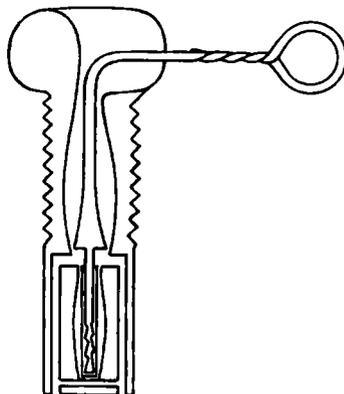


Fig. 3. Reibzündschraube.

Abfeuern aller Geschütze einer Batterie mittels des elektrischen Stromes gestattet. Der Zündsatz besteht hier aus 4 Teilen Schießwolle, $1\frac{1}{2}$ Teilen Kaliumchlorat und $1\frac{1}{2}$ Teilen Schwefelantimon.

Bei den neuesten Geschützvorrichtungen, deren Wirkung die Vorteile des Infanteriefeuere mit denen des Artilleriefeuere vereint, wie die Mitrailleusen, Maschinengewehre und Revolverkanonen, nähert sich die Zündereinrichtung wieder mehr derjenigen der Handfeuerwaffe. Bei den Revolverkanonen von Hotchkiss und Nordenfeldt z. B. werden die Granaten in eine aus Messing gezogene Kartuschhülse eingesetzt, an deren Boden bei Verwendung von rauchlosem Pulver eine Beiladung von Schwarzpulver angebracht wird; das Zündhütchen kommt dann in die mit Amboß versehene Zündglocke. Die Abfeuervorrichtung ist ganz entsprechend dem Schloß der Handfeuerwaffen gebaut, der Schlagbolzen wird durch die beim Schließen des Verschlusses gespannte Schlagfeder gegen das Zündhütchen vorgeschneilt. Der in den Zündhütchen enthaltene Satz ist im wesentlichen derselbe wie bei den Handfeuerwaffen, braucht aber bei der kräftigen Abfeuervorrichtung nicht ganz so empfindlich zu sein. Somit hat sich auch das Zündhütchen für die Artillerie recht gebrauchsfähig erwiesen.

Mit der Einführung größerer Schnellfeuergeschütze in Feld- und Fußartillerie kam die Schlagzündschraube auf, eine der Reibzündschraube ähnliche Vorrichtung, jedoch unter Verwendung eines Zündhütchens. Das Messinggehäuse der Schlagzündschraube (Fig. 4) besteht aus einem flachen Kopf, dem Gewindeteil und dem zylindrischen Zapfen; es hat eine zylindrische Bohrung zur Aufnahme des Zündhütchens, der durchbohrten Amboßschraube, die in ein Muttergewinde eingeschraubt wird und dem Zündhütchen als Widerlager dient. Die Pulverladung setzt sich aus losem Geschützpulver und

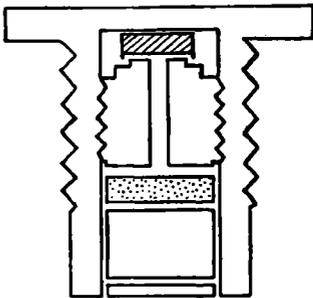


Fig. 4. Schlagzündschraube.

einem gepreßten Pulverkorn zusammen, die durch den unteren Verschuß, eine Paraffinpapierplatte und Schellacktalkumkitt, festgehalten werden. Beim Abfeuern trifft der Schlagbolzen den Kopf des Schraubengehäuses und bringt das Zündhütchen zur Explosion, dessen Feuerstrahl durch die Bohrung der Amboßschraube hindurch die Pulverladung entflammt.

Geschoszündung.

Feuertragende Geschosse spielten bereits in den Kriegen des Altertums eine Rolle; schon die Griechen und später noch mehr die Römer verstanden es, mittels besonderer Wurfmaschinen, Ballisten, wie die mächtigen Katapulte und Onager z. B., Feuerbrände in Form brennender Pfeile oder Holzpfähle, glühender Metallstücke, ausgehöhlter hölzerner, steinerer oder metallener Gefäße, die mit brennendem Schwefel, Pech oder Harz angefüllt waren, bis auf Hunderte von Metern weit weg zu schleudern. Auch in der langen Zeit des Mittelalters, bis zu der Verbreitung der Feuerwaffen, übte man diese von dem Altertum her übernommene Kunst des Inbrandschießens, und zwar teilweise noch mit viel mächtigeren Wurfmaschinen. Mit der Erfindung des Schießpulvers und der Feuerwaffen wurde dann das Schießwesen aufs gründlichste umgestaltet und damit auch der Entwicklung der Brandgeschosse eine ganz andere Richtung gegeben. Zwar schoß man die ersten Jahrhunderte nur steinerne oder eiserne Vollkugeln; später jedoch, etwa gegen das 16. Jahrhundert, tauchte der Gedanke auf, die Kraft des Pulvers nicht nur zum Treiben massiver Projektile zu benutzen, sondern es auch in ausgehöhlte Geschosse zu füllen, damit es diese am Ziele zu zahlreichen Sprengstücken zertrümmere und womöglich noch einen Brand entfachte. Sprengkräftige Granaten und Bomben wurden zuerst in Deutschland etwa um das Jahr 1570 hergestellt: man setzte zwei halbkugelförmige Schalen zu einer Hohlkugel zusammen und füllte sie mit einer Sprengladung von Schwarzpulver. Es mußte nun eine Vorrichtung gefunden werden, welche die Entzündung des Sprenginhalts erst am Ziele bewirkte. Bei den ersten Geschossen dieser Art diente hierzu der Säulenzünder, eine kegelförmige Holzröhre mit zylindrischer Bohrung, die mit Pulversatz gefüllt war; der Zünder wurde durch ein in die Schale der Granate gebohrtes Mundloch in die Ladung getrieben. Sein Brandsatz wurde beim Abfeuern durch die Flamme der Geschützladung entzündet und brachte nach dem Abbrennen die Sprengladung zur Detonation. Die Länge des Zünders wurde der Flugzeit des Geschosses entsprechend gewählt, etwa so, daß dieses nach 14 bis 20 Sekunden kreierte. Beim Schießen auf verschiedene Entfernungen mußte man eine Anzahl verschieden langer Zünder mitführen, oder aber eine Säge, um die Holzröhren zu zerschneiden und so die Zünder „tempieren“ zu können.

Fast ein volles Jahrhundert blieb Deutschland im alleinigen Besitz von Sprenggranaten, und mehr als zwei Jahrhunderte beherrschte der einfache Säulenzünder die Schießtechnik. Es

waren aber auch Zünder nach dem Prinzip des Steinschlusses herzustellen versucht worden, so 1596 von Sebastian Hälle und 1650 von Simienowicz. Letzterer befestigte an einem beweglichen Stifte im Innern des Geschosses einen Feuerstein, der beim Aufschlag an einer gerauhten Stahlfläche entlang getrieben wurde; der hierdurch erzeugte Perkussionsfunke entzündete die Ladung. Im Laufe des 18. Jahrhunderts lernten auch die übrigen Länder Sprenggeschosse herstellen, und nach 1800 begegnet man überall eifrigen Bemühungen, den Säulenzünder zu verbessern, ihn namentlich leicht tempierbar zu machen. So ließ der englische Major Shrapnel (1803) den Satz für eine kürzere Brennzeit bis zu dem entsprechenden Punkte ausbohren, bei welchem seine mit Bleikugeln gefüllte Sprenggeschosse kurz vor dem Ziel zerspringen sollten. Besser einstellbare Zünder lieferten die Verbesserungen des schwedischen Generals v. Helvig (1825) und des französischen Obersten Parizot (1838); diese wurden 1850 von verschiedenen Ländern angenommen.

Um 1830 herum waren auch wieder Bestrebungen rege geworden, die Geschoßzündungen nach der Perkussionsmethode einzurichten. Nach mehreren, kaum verwirklichten Vorschlägen wurde 1850 verschiedentlich versucht, das Knallquecksilber dafür heranzuziehen. So befestigte man 1847 nach dem Beispiel v. Warendorffs auf der Geschoßspitze ein Piston und setzte darauf ein Zündhütchen, das beim Aufschlag explodierte. Derartige Zünder wurden im Laufe des folgenden Jahrzehnts in den meisten Ländern eingeführt, aber ihre Betätigung hing so sehr von einem günstigen Aufschlag des Geschosses ab, daß sie bald durch glücklichere Konstruktionen abgelöst wurden. Mit der Heraufkunft der gezogenen Hinterlader, die in Preußen etwa um 1860 begann, verlor sich der Spielraum zwischen Geschoß und Ladung und damit auch der Platz für einen Säulenzünder. Der Zünder mußte jetzt an der Geschoßspitze untergebracht werden; seine Betätigung konnte nun nicht mehr durch die Geschützladung erfolgen, sondern bedingte eine besondere Zündvorrichtung. Hier wurde ein ganz neuer Gedanke nutzbar gemacht, nämlich das Beharrungsvermögen auszunutzen, um beim Aufschlag oder durch den Rückstoß der Pulvergase einen beweglichen Bolzen auf ein Knallpräparat aufzuschießen. Dieser Gedanke einer beweglichen Zündvorrichtung ging von dem englischen Hauptmann Douglas aus und wurde von dem englischen Ingenieur Armstrong 1858 in Wirklichkeit umgesetzt. In Preußen verwirklichte 1860 General v. Neumann dieselbe Idee und baute folgenden Zünder: Eine Zündschraube mit Zündhütchen und ein beweglicher

durchbohrter Nadelbolzen werden in die Mundlochschraube eingesetzt; beim Aufschlag fliegt die Nadel vor und sticht das Zündhütchen an, dessen Feuerstrahl durch die Nadelbohrung in die Sprengladung schlägt. In diesem Zünder ist zum erstenmal die Verwendung von Zündhütchen und Nadelstich vereint, — eine Kombination, die sich in der Folgezeit in Gewehr und Geschütz am besten bewähren sollte.

Bald wurde aber das Bedürfnis nach einem leicht auf verschiedene Brennzeiten einstellbaren Zünder wieder reger denn je, hatte man doch erkannt, daß die mit dem Neumannschen Zünder ausgerüsteten Schrapnells nur dann ihre volle Wirkung entfalteten, wenn sie in der Luft, kurz vor dem Ziele explodierten. Den Weg zu einem kontinuierlich stellbaren Zünder hatte schon der belgische Hauptmann Bodmann 1835 gewiesen, der den Zündsatz in einem Zünderkörper außerhalb des Geschosses ringförmig anordnete. Dieser Ringzünder erfuhr 1854 eine wesentliche Verbesserung durch den kurhessischen Hauptmann Breithaupt. Er gliederte den Zünder, lagerte in den festen Teil den ringförmigen Satz von 7 Sekunden Brenndauer und darüber eine drehbare Scheibe, deren eine Öffnung die Benutzung der ganzen Satzlänge gestattete. Die Konstruktion erlaubte es, jede Einstellung beliebig abzuändern oder rückgängig zu machen, was gegenüber den früheren ein großer Vorzug bedeutete.

Im Jahre 1866 verfiel der preußische Hauptmann Richter auf den glücklichen Gedanken, die bewegliche Zündvorrichtung unter Ausnützung des Rückstoßes, den das Geschoß beim Abfeuern erfährt, mit dem Breithauptschen gegliederten Zünder zu vereinigen, und löste damit endgültig die Aufgabe, den Zeitzünder für gezogene Geschütze brauchbar zu machen.

Die Grundlage für den Aufbau des Richterschen Zünders (Fig. 5) bildet der aus Weißmetall (6 Teile Zinn und 1 Teil Antimon) bestehende Zünderteller *a* mit Gewinde zum Einschrauben in das Geschoß und messingener Schraubenstifte *b*. Dieser trägt das Satzstück *c* und die Stellmutter *d*. Durch den Schaft des Zündertellers führt die mit losem Kornpulver gefüllte Schlagkammer *e*. Als oberer Abschluß der Kammer dient das außen durch einen Zeiger gekennzeichnete gepreßte Pulverkorn *f*, als unterer eine Papier- und eine Stanniolplatte. Auf den Zünderteller ist eine Tuchplatte geklebt, die über dem Pulverkorn ein Loch hat. Auf den Schraubenstift wird das gleichfalls aus Weißmetall bestehende Satzstück geschoben und durch die Stellmutter gegen die Tuchplatte des Tellers gepreßt. Das Satzstück trägt an der unteren Fläche eine ringförmige Ausdrehung, und den mit Kornpulver vollgepreßten Satzkanal von $9\frac{1}{2}$ Sekunden Brennzeit, in Achtelsekunden geteilt. Der Kanal ist nicht in sich geschlossen, sondern es ist etwas

Metall — die Brücke — stehen geblieben. Sie befindet sich unterhalb des Brandloches, einer Bohrung im Satzstück zur Aufnahme des Vorsteckers. Der Satzkanal ist in einer Nase bis auf die Brücke verlängert. In der im wesentlichen zylindrischen Bohrung des Satzstückes hängt mittels zweier spröden Metallarme (Brecher) der Pillenbolzen *i* mit der gepreßten Zündpille *k*. Ihr gegenüber ist am Boden des Satzstückes die Zündnadel *l* aus Neusilber angebracht. Beide sind durch den Vorstecker getrennt. Vor dem Laden wird das Satzstück so weit gedreht, daß der die gefundene Brennzeit angegebende Teilstrich über dem Zeiger des Zündertellers steht, und der Vorstecker herausgezogen. Durch den Rückstoß der Pulvergase brechen beim Abfeuern die den

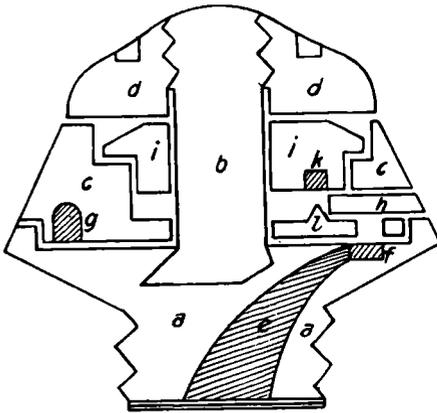


Fig. 5.
Richterscher Zünder.

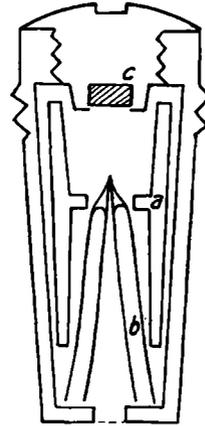


Fig. 6.
Feldgranatzünder C/80.

Pillenbolzen tragenden Arme ab und die Zündpille schießt sich auf die Nadel. Ihr Feuerstrahl entzündet durch das Brandloch die Nase des Satzringes, dieser brennt bis zu dem eingestellten Teilstrich, und hier, an der Stelle des Zeigers, wird das Feuer über das gepreßte Pulverkorn durch die Schlagkammer nach der Sprengladung geleitet.

Der Richtersche Zünder fand zunächst nur bei der Fußartillerie Eingang; jedoch schon im Feldzuge 1870/71 wurden Feldschrapnells unter Verwendung des Feldschrapnellzünders C/70 eingeführt, einem Zünder, der sich im Prinzip von dem Richterschen Zeitzünder nicht unterschied. Nach dem Kriege ging in Deutschland wie in den übrigen Ländern ein zielbewußter Ausbau des Zünderwesens mit der Neubewaffnung Hand in Hand. In Preußen entstand die Zündvorrichtung C/73, die sich indessen von dem Neumannschen Granatzünder nur wenig unterschied; ein neues Prinzip jedoch wurde mit dem preußischen Feldgranatzünder C/80 (Fig. 6) zur Anwendung gebracht,

nämlich die Bildung des Nadelbolzens aus Zündnadel und Schlagstück im Geschoß durch den Rückstoß der Pulverladung. Durch diese Einrichtung ist die Sicherung des Zünders durch einen Vorstecker überflüssig gemacht. Der Zünder ist folgendermaßen eingerichtet:

Das Schlagstück *a* sitzt auf der konischen Zündnadel *b*, die aus verzinnem Stahl gefertigt ist, federnd auf und hält die Nadel in bestimmter Entfernung vom Zündhütchen *c* fest. Beim Abfeuern schiebt es sich nach rückwärts über die Nadel und beim Aufschlag fliegt der so gebildete Nadelbolzen gegen das Zündhütchen vor. Das Einschrauben des Zünders in das Mundlochfutter der Granate erfolgt erst kurz vor dem Schuß. Das Zusammenschießen von Nadel und Schlagstück erfordert jedoch so viel Kraft, daß dieser Zünder nur für Flachbahngeschütze mit großer Ladung Verwendung finden konnte. Für Steilfeuergeschütze wurde er erst brauchbar, nachdem man ihn mittels eines Gewindinges so in das Geschoß eingesetzt hatte, daß er sich beim Rückstoß ein kurzes Stück zurückbewegen konnte und so die Kraft des Schlagstückes durch sein Gewicht verstärkte (Granatzünder C/82).

In Frankreich wurde seit 1875 der Budinsche Zünder eingeführt, der im wesentlichen nach dem Prinzip des preußischen Feldgranatzünders C/80 gebaut ist, und aus einem Schlagstück mit zwei gegeneinander verschiebbaren Teilen besteht. Auch die englischen Aufschlagzünder jener Zeit zeigen keine grundsätzlichen Abweichungen von den deutschen und französischen Modellen. — Eine neue Umgestaltung erfuhren die Zünder mit der Einführung brisanter Sprengstoffe als Granatfüllung an Stelle des bisherigen Schwarzpulvers. Im Jahre 1886 führte Frankreich, kurz nach der Entdeckung der Detonationsfähigkeit der Pikrinsäure durch Turpin, die Pikrinsäure unter dem Namen Melinit als Granatfüllung ein. Da die brisanten Sprengstoffe, wie die Pikrinsäure und das hernach eingeführte Trinitrotoluol nur mittels Sprengkapsel zur Explosion gebracht werden können, mußte zwischen Sprengladung und Zündvorrichtung eine Zwischenladung, die sogenannte Zündladung eingeschaltet werden. Hierzu wählte man einen gepreßten oder gegossenen Körper aus Pikrinsäure bzw. Trinitrotoluol, der eine Sprengkapsel umschließt. In Deutschland ging man 1888 zur Pikrinsäure als Granatfüllung über und setzte vor dem Einschrauben des Granatzünders 82 eine Zündladung aus geschmolzener Pikrinsäure in das Mundlochfutter des Geschosses. Etwas bequemer gestaltete sich das Fertigmachen der Granate nach Einführung der geladenen Mundlochbüchse, die den Zündladungskörper bereits enthielt, so daß nur noch der Zünder aufgeschraubt zu werden brauchte. Zwischen Zünder und Zünd-

ladung konnte noch eine Verzögerung eingesetzt werden in Gestalt eines gepreßten Pulverkornes; damit sollte das Geschöß seine zerstörende Wirkung erst dann entfalten, nachdem es eine gewisse Strecke in das Ziel eingedrungen war. Dies Prinzip der Verzögerung zur Erzielung einer Minierwirkung hat auch bei späteren Zündern Verwendung gefunden. Eine völlig abweichende Art der Verzögerung zeigt der russische Aufschlagzünder für Schießwollgranaten vom Jahre 1889, der ein Bodenzünder ist. Der Nadelbolzen muß nach Auftreffen des Geschosses erst eine bedeutende Arbeit verrichten, ehe er das Zündhütchen anstecken kann: er muß die Widerlager eines Sicherheitszylinders aufbiegen und einen 2 mm starken Aufhalter aus Blei durchstoßen.

Von den bisher besprochenen Zündern haben alle bis auf den soeben angeführten russischen den Nachteil, daß sie die Geschößspitze schwächen, wodurch namentlich die Wirkung gegen harte Panzerziele leidet; man ging daher auch in anderen Ländern dazu über, die Zündvorrichtung in den Boden des Geschosses zu verlegen; so in dem englischen Fuze Percussion Base Large Nr. 2 M/IIc. Die Pulvergase drücken beim Abfeuern eine Platte zusammen und schieben eine Spindel vor, so daß ein Sicherungsbolzen, der Zentrifugalkraft folgend, herausfliegen und dem Nadelbolzen den Weg freigeben kann.

Für die weitere Ausgestaltung der Brennzündungen waren folgende drei Richtungen maßgebend. 1. Das Schrapnell der schweren Festungsgeschütze mit großer Schußweite konnte nur Verwendung finden, wenn dem Zünder eine längere Brenndauer gegeben wurde. Dies erreichte Preußen im Schrapnellzünder C/72 durch Übereinanderlegen zweier Satzstücke, von denen das obere bis 10 Sekunden, das untere von 10 bis 18 Sekunden reichte. Hierdurch wurde die Reichweite auf 4500 m erhöht. 2. Bei den bisherigen Brennzündern waren Blindgänger unvermeidlich, wenn aus irgendeinem Anlasse der Satzring nicht in Brand geriet, während des Fluges erlosch oder auf zu lange Brenndauer gestellt war, und 3. machte sich das Bedürfnis nach einer Einrichtung geltend, durch die das Einschießen mit Granaten vor jedem Schrapnellschießen vermieden wurde, weil bei dem verschiedenen Gewicht beider Geschosse doch nie ein übereinstimmendes Ergebnis möglich war. — Die beiden letzten Forderungen wurden dadurch erfüllt, daß man dem Brennzünder stets einen Aufschlagzünder mitgab. Dadurch gewann man gleichzeitig noch den sehr bedeutenden Vorteil, daß man für den Fall des plötzlichen Erscheinens eines nahen Zieles, während mit Schrapnells auf größere Entfernung geschossen wurde, ohne Zeitverlust zum

Feuern mit Aufschlagzündung übergehen konnte. Auch wurde mit der Doppelzündung eine vielseitigere Geschößwirkung erreicht, da neben der Streuwirkung gegen lebende Ziele bei Brennzündung eine Ausnutzung der lebendigen Kraft des Einzelgeschosses gegen leichte Deckungen bei Aufschlagzündung stattfinden konnte.

Der erste Zünder dieser Art war der preußische Doppelzünder C/85 (Fig. 7) mit Doppelzündschraube C/85 (Fig. 8).

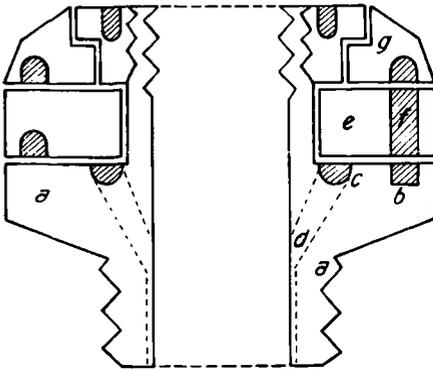


Fig. 7. Doppelzünder C/85.

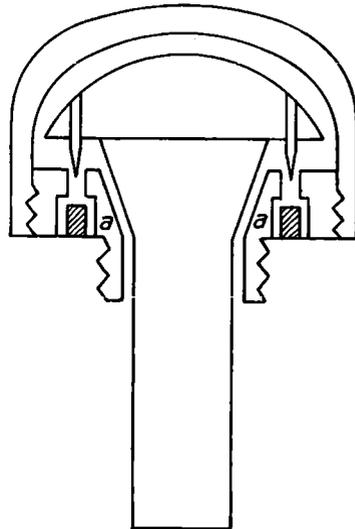


Fig. 8. Doppelzündschraube C/85.

Der Brennzünder ist entsprechend dem Schrapnellzünder C/72, also nach dem Prinzip des Richterschen Zeitzünders gebaut. Sein Hauptteil ist der Zünderteller *a*, in dessen Schaft ein Gewinde zum Einschrauben in das Geschöß geschnitten ist, und in dessen zylindrische Bohrung die Doppelzündschraube eingeschraubt wird. In der Oberfläche des Tellers befindet sich eine Bohrung *b*, als Lager für ein Pulverkorn und eine ringförmige Ausdrehung *c*, die mit losem Kornpulver gefüllt ist. Sie ist mit dem Pulverkorn durch ein mit dem Innenraum des Tellerschaftes durch sechs schräge Brandlöcher *d* verbunden und oben durch eine eingeschraubte Platte abgedeckt. Auf dem Zünderteller ruht das untere Satzstück *e*, dessen Brandloch *f* am Satzringanfang zylindrisch nach oben gebohrt ist. Den Abschluß bildet das obere Satzstück mit einer Brennzeit bis $13\frac{5}{8}$ Sekunden, die durch das untere auf $26\frac{2}{8}$ Sekunden erweitert wird. Die Doppelzündschraube enthält im Schaft eine Aufschlagzündung nach Art des Feldgranatzünders C/80. Zwischen dem Schaft und der Sicherheitskappe aus Stahl liegt der Gewinding *a*, der zwei Zündhütchen trägt. Senkrecht über ihnen sind im Kopf der Bolzenkapsel zwei Zündnadeln befestigt; beim Abfeuern wird durch den Rückstoß der Aufschlagzünder in der Zündschraube scharf. Ferner schiebt sich die Bolzenkapsel in den Gewinde-

ring hinein, die beiden Zündhütchen werden angestochen und ihr Feuerstrahl entzündet den Satzring im oberen Satzstück. Das Feuer durchläuft erst das obere, dann das untere Satzstück und schlägt durch die ringförmige Schlagladung und die sechs Brandlöcher an der Bolzenkapsel vorbei in die Sprengladung. Soll der Doppelzünder nur als Aufschlagzünder verwendet werden, so wird er so gestellt, daß die Brücke des unteren Satzstückes über dem Pulverkorn des Zündertellers liegt.

Der Doppelzünder C/85 erfuhr schon im folgenden Jahre eine wichtige Verbesserung durch die Doppelzündschraube C/86 (Fig. 9). Diese ist kleiner als die vom Jahre 1885 und weicht von ihr hauptsächlich in folgenden Punkten ab:

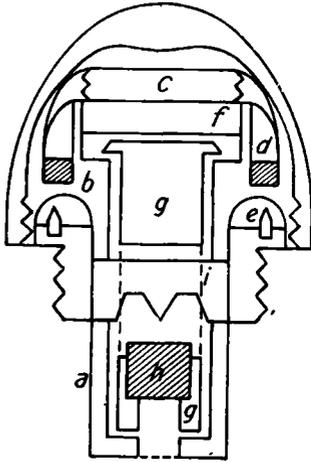


Fig. 9. Doppelzündschraube C/86.

Durch den Rückstoß der Pulvergase drückt die Bolzenkapsel *a* den Sperring *b* zusammen und schießt sich in den Gewinding *c*. Dadurch werden die Zündhütchen *d* von den Nadeln *e* angestochen, und der Feuerstrahl entzündet das Pulverkorn *f*. Ist dies abgebrannt, so ist der Weg für den Schlagbolzen *g* frei, und das in ihm enthaltene Zündhütchen *h* kann sich beim Aufschlag auf die Nadel *i* aufschließen, die, durch einen Schlitz im Schlagbolzen hindurchgreifend, an der Wand der Bolzenkapsel festgenietet ist. Der Doppelzünder C/86 hat von der älteren Konstruktion

den Vorzug größerer Sicherheit, da der Schlagbolzen durch das Pulverkorn und die kleinen Zündhütchen durch den Sperring festgehalten sind; außerdem ist die Wirkung der Aufschlagzündung sicherer, weil der Feuerstrahl des Zündhütchens einen erheblich kürzeren Weg zurückzulegen hat.

Eine Änderung der bestehenden Zünder wurde Ende der achtziger Jahre nötig, als die brisanten Geschößfüllungen in Form geschmolzener Pikrinsäure, die bisher verwendeten Schwarzpulverladungen verdrängten. Wie bei den Granat-Aufschlagzündern wurde die Einschaltung einer Zündladung mit Sprengkapsel erforderlich. In Deutschland gab man dem Doppelzünder C/85 eine verlängerte Zünderschraube, die den Zündladungskörper aufnahm (Doppelzünder 88). Ähnliche Einrichtungen wurden auch in den übrigen Ländern geschaffen. Die Verbesserungen der nächstfolgenden Jahre erstrecken sich hauptsächlich auf Erhöhung

der Brenndauer, vermehrte Sicherheit und größere Einfachheit in Handhabung und Zündung, sowie auf Verbesserung und Verbilligung des Materials. Frankreich vergrößerte 1889 Durchmesser und Höhe des Kopfes seines Doppelzünders M/84, so daß die Satzröhren verlängert und ein Zünder von 46 Sekunden Brennzeit (bisher 22 Sekunden) geschaffen werden konnte. In Deutschland wurde die Herstellung eines verbesserten Zünders mit der Einführung des neuen Schrapnells von 1891 verbunden, dessen Hartbleikugeln in einem dünnen Stahlmantel untergebracht sind. Der neue Zünder, Doppelzünder 92, ist auf dem Prinzip der Doppelzündschraube C/76 aufgebaut: seine Vorzüge sind längere Brenndauer (17,8 Sekunden bei 4500 m Reichweite) und größere Schußbereitschaft.

Neben den mannigfachen Verbesserungen, die man in verschiedener Richtung und mit gutem Erfolge an den Zündern anbringen konnte, sind in den letzten Jahren Bestrebungen im Gange, Feuerbereitschaft und Wirkung der Artillerie noch weiter dadurch zu erhöhen, daß man die Munition einheitlich zu gestalten, d. h. ein Geschöß herzustellen sucht, das sowohl die Wirkung der Granate wie die des Schrapnells zu erzielen gestattet. Bisher konnte man sich wohl desselben Zünders für beide Geschößarten bedienen, aber diese mußten getrennt mitgeführt werden. Durch Vereinigung beider in einem Einheitsgeschöß wird die Fabrikation, die Ausrüstung und Ausbildung und der Munitionsersatz wesentlich vereinfacht, und es ist bei Mitnahme eines einzigen Geschößtyps möglich, das Ziel mit Granat- oder Schrapnellwirkung zu beschießen. Unter diesen Gesichtspunkten regte Generalmajor Richter 1904 an, die Kugeln des Schrapnells anstatt mit Schwefel oder Kolophonium mit dem als Granatfüllung dienenden Sprengstoff festzulegen und ihn je nach der beabsichtigten Wirkung unter bloßer Zerstäubung oder unter Detonation auflösen zu lassen. Danach fiel der Zündung die Aufgabe zu, mittels besonderer Einrichtung eine beliebige Betätigung des Füllmittels zu bewirken: entweder unter Explosion das Geschöß zu zerstören, die Brisanzfüllung in Staub aufzulösen und die Kugeln freizugeben (Schrapnellwirkung) oder aber den Sprengstoffinhalt zu detonieren und Geschößkörper wie Füllkugeln in zahlreiche Sprengstücke zu zerlegen (Granatwirkung). Diese Aufgabe konnte erst durch Einführung des Trinitrotoluols, eines unempfindlichen und chemisch indifferenten brisanten Sprengstoffs gelöst werden, der die Metalle — Geschößwände und Füllkugeln — nicht wie Pikrinsäure unter Bildung stoß- und schlagempfindlicher Salze angreift, sondern unbedenklich mit Metallen in Berührung gebracht werden darf.

Ungefähr seit dem Jahre 1905 hat man sich in den einzelnen Staaten um die Herstellung solcher Einheitsgeschosse bemüht

und diese durch zahlreiche Neukonstruktionen zu hoher Vollkommenheit gebracht. In Deutschland ist dieses System besonders durch die Brisanzschrapnell-Konstruktionen¹ von Ehrhardt van Essen verbessert worden; Fig. 10 zeigt das Brisanzschrapnell M/06 im Längsschnitt.

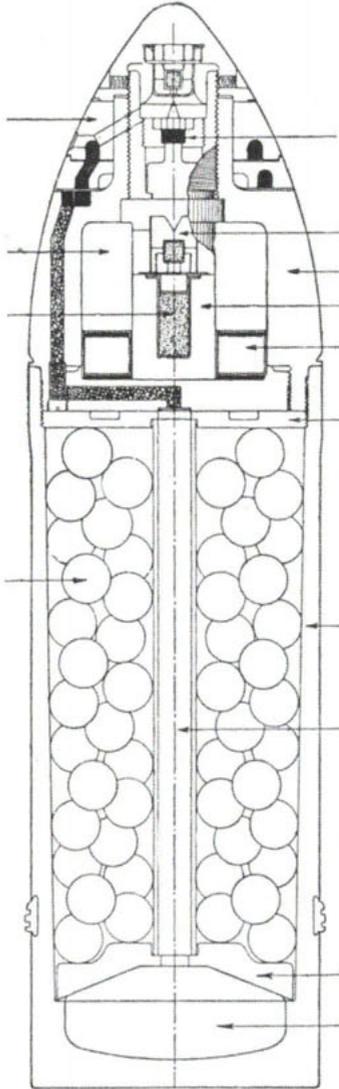


Fig. 10. Einheitsgeschöß.

Als Zünder findet ein rohr-sicherer Doppelzünder System Ehrhardt Verwendung, dessen Brennzeit für Steilbahngeschütze bis zu 34 Sekunden gesteigert wird. Um aus dem Zünder gleichfalls eine möglichst große Zahl wirksamer Sprengstücke zu erhalten, werden seine Einzelteile anstatt aus Aluminium aus Stahl bzw. Hartmessing gefertigt.

Allen bisher beschriebenen Zündungen dient zur Einstellung die Brenndauer einer verschieden langen Satz säule. Nun ist aber nicht zu verkennen, daß die Verwendung eines brennbaren Pulversatzes als genaues Zeitmaß verschiedene Mängel anhaften. Zunächst verändert sich ein Brennzünder schon bei längerer Lagerung durch die Hygroskopizität des Satzes; dann ist die Brenndauer auch in hohem Maße vom Luftdruck abhängig. Es hat daher nicht an Bemühungen gefehlt, den Brennzünder durch eine mechanische Einrichtung zu ersetzen. Dahin zielende Versuche gehen auf das Jahr 1865 zurück und

erstrecken sich in drei Richtungen, indem sie den Antrieb des Züunders

¹ E. Neumann, Auf dem Wege zum Einheitsgeschöß, Zeitschr. f. Schieß- u. Sprengst. 1911, S. 128, 151, 170.

erstens durch die Schwerkraft oder den Luftwiderstand, zweitens durch eine sich bewegende Flüssigkeit und drittens durch ein Uhrwerk zu erreichen suchten. Von diesen drei Zünderarten hat allein die letzte Aussicht, den Brennzünder zu verdrängen, und zwar in Form eines Zeitzünders, dessen Mechanismus ähnlich dem einer Uhr durch eine gespannte Feder angetrieben wird. Die ersten Modelle zu solchen Uhrzündern wurden 1865 und 1878 in Amerika geschaffen; sie waren jedoch so kompliziert und unpraktisch wie

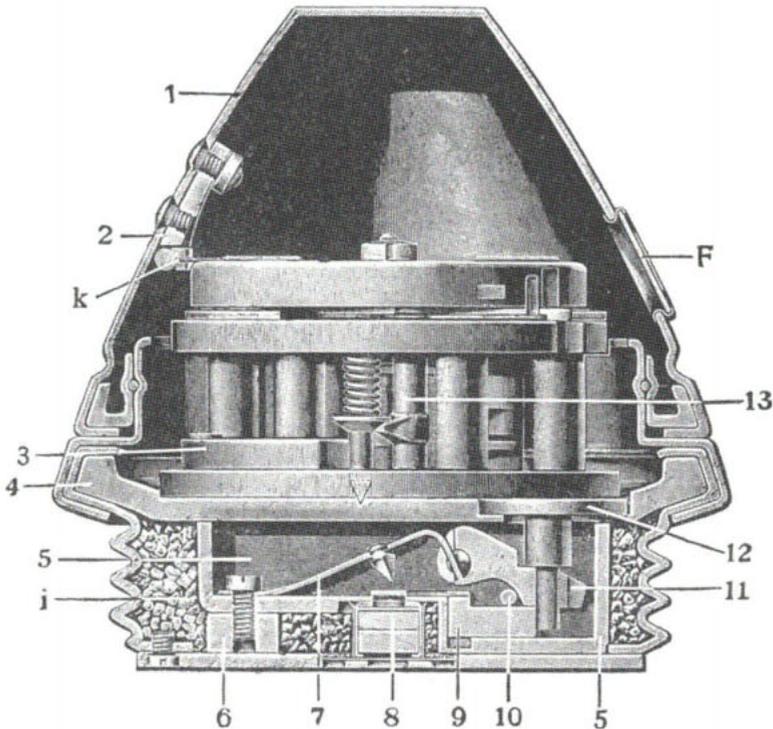


Fig. 11. Krupps mechanischer Doppelzünder vor dem Schuß.

die späteren der neunziger Jahre. Der erste praktisch anwendbare Zünder war der von Bäcker 1901 konstruierte Zeitzünder, aus dem dann 1905 der Kruppsche mechanische Doppelzünder¹ hervorging, als der einzige mechanische Zeitzünder der Welt, welcher durch umfangreiche Versuche in jeder Richtung mit bestem Erfolg erprobt ist. Fig. 11 zeigt diesen Zünder im Längs-

¹ Derselbe, Fried. Krupps Uhrzünder, Zeitschr. f. Schieß- u. Sprengst. 1912, S. 1 u. 25.

schnitt. Der Mechanismus des Zünders zerfällt 1. in das Gehwerk, 2. in die Aufschlagzündung und 3. in das Gehäuse mit Stellvorrichtung für die Zeitzündung, von denen jeder dieser Teile sich wieder aus zahlreichen Zünderteilen zusammensetzt. Das Uhrwerk, die Seele der Zeitzündung, wird durch das Beharrungsvermögen eines Bolzens beim Rückstoß der Pulvergase ausgelöst; der Antrieb geschieht durch Federkraft und zwar — nicht wie bei einer gewöhnlichen Uhr durch eine Wickelfeder — sondern durch eine gerade Feder. Das Uhrwerk des Kruppschen mechanischen Doppelzünders besitzt eine Hemmung mit Unruhe; diese Unruhe kann je nach dem gewählten Übersetzungsverhältnis der Räder in der Sekunde 60 bis 300 Schwingungen machen. Die Abweichungen im Gange des Werkes können daher auf weniger als eine hundertstel Sekunde eingeschränkt werden, — verglichen mit dem Brennzünder, eine überraschend große Genauigkeit, die am schlagendsten aus den Schießergebnissen mit Kruppschen Uhrzündern hervorgeht. Der Zünder läßt folgende Benutzungsweisen bzw. Stellungen zu: 1. Zeitzündung, 2. Null- oder Kartätschenstellung und 3. Aufschlagzündung. Ferner ist er in günstigster Weise zum Drei- oder Vierfachzünder ausbildbar und deshalb berufen, bei der Konstruktion der modernen Einheitsgeschosse noch eine große Rolle zu spielen.

II. Initialzündung bei Sprengstoffen.

Der erstbenutzte Sprengstoff war das Schwarzpulver. Jahrhunderte lang schon war dieser Stoff als Treibmittel in den verschiedenen Schußwaffen benutzt worden, aber erst gegen Ende des 17. Jahrhunderts fing man auch an, die Explosivkraft des Schießpulvers im Berg- und Straßenbau zum Sprengen von Steinen und zur Beseitigung von Hindernissen aller Art zu gebrauchen. Die erste sichere Nachricht über die Verwendung von Schießpulver zur Sprengarbeit findet sich in dem Protokolle des Schemnitzer Berggerichtsbuches vom 8. Februar 1627, wonach ein Tiroler Bergmann, Kaspar Weindl, die erste Sprengung an diesem Tage durchgeführt hätte. Von Schemnitz aus wurde die Sprengarbeit nach Böhmen und dem Harze eingeführt, und zwar 1632 in Clausthal, 1645 in Freiberg, 1670 in England und 1724 in Schweden.

Die Zündungsart der Schwarzpulver-Sprengladungen unterschied sich nicht wesentlich von derjenigen der Treibladungen in größeren Waffen. Die Explosion wurde durch direkte Feuerzündung, meistens durch Funken oder Flamme ausgelöst; zum Schutz und zur Sicherheit gegen umherfliegende Sprengstücke

bediente man sich bald eines Feuerübertragungsmittels, das während des Abbrennens gestattete, sich zu entfernen und in genügende Sicherheit zu bringen. So bildete sich zuerst der Halmzünder oder die Stoppine aus, ein mit feinkörnigem Pulver gefülltes Röhrchen aus Stroh, an welches noch ein kurzer Schwefelfaden geklebt wurde. Letzterer wurde nun zunächst entzündet, das Feuer griff auf die pulvergefüllte Stoppine über und von dieser auf die Schwarzpulver-Sprengladung. Dieses Verfahren war begreiflicherweise sehr unsicher und unzuverlässig; bei schlechter Witterung, bei Nässe, Regen, bei Sprengungen in feuchten, nassen Bohrlöchern versagte diese Art der Zündung nur zu häufig und mußte dann wiederholt, oft mehrfach wiederholt werden. Es war daher ein sehr willkommener Fortschritt, als 1831 mit der Erfindung der Bickfordschen Zündschnur ein Zündmittel von viel größerer und allgemeinerer Anwendbarkeit geschaffen wurde, das in der Folgezeit eine der wichtigsten Rollen bei der Zündung von Sprengladungen spielen sollte.

Mehr als zwei Jahrhunderte lang blieb das Schwarzpulver das einzig bekannte Sprengmittel. Erst das 19. Jahrhundert brachte neue Sprengstoffe, zunächst die sogenannten Nitrokörper, die Salpetersäureester von Zellulose und ähnlichen Kohlehydraten. Nachdem Braconnot 1832 durch Einwirkung konzentrierter Salpetersäure auf Holzfasern, Stärkemehl u. dgl. die ersten explosiven organischen Nitrokörper erhalten hatte, erfolgte dann im Jahre 1846 die folgenreiche Entdeckung der Schießbaumwolle und des Nitroglyzerins. Beide Substanzen erwiesen sich stark explosiver Natur und dem Schwarzpulver an Sprengkraft weit überlegen. Es regten sich daher bald Bestrebungen, die Kraft der neuentdeckten Explosivstoffe in den Dienst der Technik zu stellen; allein man stieß dabei auf eine besondere Schwierigkeit, darin bestehend, die Sprengkraft dieser Stoffe bequem und sicher auszulösen. Es stellte sich nämlich heraus, daß die übliche, für Schwarzpulver ausreichende Methode der Auslösung durch einfache Zündung mit einer Flamme oder einer Zündschnur nicht genügte, um jederzeit mit Sicherheit den explosiblen Zerfall herbeizuführen; andererseits machte man aber die schlimme Erfahrung, daß diese Körper gegen Stoß und Schlag überhaupt gegen jede mechanische Einwirkung sehr empfindlich waren und leicht und mit großer Gewalt explodierten — im Gegensatz zum Schwarzpulver, das auf diese Art fast gar nicht zur Explosion zu bringen ist. Das äußerliche Verhalten des Schwarzpulvers war also bei diesen organischen Sprengstoffen gleichsam auf den Kopf gestellt; denn während jenes bei fast völliger Un-

empfindlichkeit durch Flamme, ja selbst schon durch Funken explodiert, konnte man Nitroglyzerin ruhig anzünden und mit Flamme ohne Gefahr abbrennen lassen, dagegen durch Schlag zu heftigster Explosion bringen.

Nun stand man vor der großen Aufgabe, eine geeignete Methode zu schaffen, welche es ermöglichte, die Sprengkraft dieser neuen Explosivstoffe jederzeit sicher auszulösen, d. h. man stand vor dem großen und wichtigen Problem der Explosionseinleitung, oder wie man sich später ausdrückte, der Initialzündung. Der erste, der sich mit diesem Problem eingehend beschäftigte, war der junge schwedische Ingenieur Alfred Nobel. Dieser hatte sich bereits schon in den Jahren 1859 bis 1861 gemeinsam mit seinem Vater Emanuel Nobel mit der fabrikatorischen Herstellung und Verwertung des Nitroglyzerins abgegeben, nachdem beide schon früher durch einige Versuche mit diesem Stoff zu der Überzeugung gelangt waren, daß das Nitroglyzerin der Explosivstoff der Zukunft werden müsse. Bereits im Jahre 1862 war es dem jungen Nobel gelungen, Nitroglyzerin zum erstenmal in größerem Maßstabe zu erzeugen und nun galt es, Mittel und Wege zu finden, das fabrizierte Produkt zuverlässig und vollständig zur Detonation zu bringen. Die praktische Auslösung und Auswertung der Sprengkraft des Nitroglyzerins gestaltete sich jetzt für Nobel zu einem Problem, das ihn fort-dauernd und nachhaltig beschäftigen sollte; er ahnte wohl bei den Bemühungen, die er sich damals für seinen Gegenstand angelegen sein ließ, kaum die umwälzende, revolutionäre Bedeutung, die in der Auffindung eines solchen Auslösungsmittels dem ganzen zukünftigen Entwicklungsgang der Sprengtechnik zukommen sollte.

Zu Anfang des Jahres 1863 begann Nobel die ersten Versuche, das nach ihm benannte Öl, das Nitroglyzerin für Sprengzwecke zu benutzen. Zuallererst verwendete er das Nitroglyzerin nicht für sich, sondern als Zusatz¹ zu Schwarzpulver, Schießbaumwolle oder anderen Substanzen, um letztere sprengkräftiger zu machen. Nobel führte die Versuche auf folgende Weise² aus:

Patronenhülsen von Zinklech, an einem Ende offen, wurden mit gewöhnlichem Schwarzpulver gefüllt und dazu so viel Nitroglyzerin gegossen, als in den Zwischenräumen des Pulvers Platz hatte; die Hülse wurde hierauf mit einem Korkstopfen genau verschlossen und die Patrone so in das Bohrloch gesteckt, daß der

¹ Schwed. Pat. vom 14. Okt. 1863; engl. Pat. 2359 vom 24. Febr. 1863.

² Dingl. polyt. Journ. Bd. 171, S. 243.

Korkstopfen nach unten kam, d. h. das feste Gestein berührte. Der Zwischenraum zwischen Patrone und Bohrlochwand wurde dann mit Schwarzpulver so ausgefüllt, daß letzteres die Patrone nicht allein ringsum umhüllte, sondern auch von oben bedeckte; diese äußere Hülle von Schwarzpulver wurde dann mittels einer Zündschnur zur Explosion gebracht, welche letztere sich dem mit Sprengöl getränktem Schwarzpulver mitteilte. Nobel versuchte nun weiter diesen Gedanken, Schwarzpulver als Zündpulver zu verwenden, und versuchte, ob es möglich wäre, durch Beiladungen von Schwarzpulver das Sprengöl selbst zur Explosion zu bringen, so wie er vorher mit Sprengöl getränktem Schwarzpulver hatte explodieren lassen.

In seinem bayrischen Patente hat sich Nobel eingehend hierüber geäußert; es seien daher im folgenden die wichtigsten Stellen im Wortlaut¹ wiedergegeben:

Es gibt eine Unzahl chemischer Stoffe, welche in einem offenen Raum angezündet werden können, ohne zu explodieren, z. B. Nitroglycerin, Nitromannit, salpetersaurer Harnstoff, die Äthyl- und Methylnitrate usw.; sie erleiden zwar an der Berührungsstelle des Feuers eine Zersetzung, jedoch zu langsam, um eine Explosion hervorzubringen; aus diesem Grunde haben diese Stoffe bisher keine Anwendung als Ersatzmittel des Pulvers gefunden. Einige dieser Körper, z. B. das Nitroglycerin, detonieren mit großer Heftigkeit durch einen Hammerschlag; die Detonation erfolgt aber nur an der Berührungsstelle und das übrige erleidet weder eine Verpuffung noch eine Anzündung. Der Grund dieser Erscheinung liegt darin, daß das Nitroglycerin und analoge Stoffe nicht durch Entzündung, sondern durch Erwärmung ihrer Masse auf 180° explodieren. Es hat das Nitroglycerin nämlich zwei Zersetzungsgrade — der sehr langsame, wenn die Wärmeleitung als einzige Wärmequelle dient, und die äußerst heftige, wenn die Temperatur der ganzen Masse durch Druck bis auf 180° gesteigert wird. Um eine Totalexpllosion hervorzubringen, ist es demnach notwendig, während des kurzen Verlaufs einer Explosion (höchstens etwa $\frac{1}{300}$ Sekunde) die ganze Masse bis auf 180° zu erwärmen.

Meine Erfindung besteht hauptsächlich in der Lösung dieses Problems, und das Nitroglycerin ist der Körper, dessen ich mich vorzugsweise bediene. Mein Verfahren ist ein zweifaches:

I. Durch Mischen des Nitroglycerins mit Schießpulver, Pyroxylin oder analogen Stoffen, wobei die letzteren ihre Wärme beim Verbrennen dem Nitroglycerin augenblicklich mitteilen.

II. Vermittelt Erwärmung des Nitroglycerins durch den Druck, welcher eine Lokaldetonation des Nitroglycerins oder anderer explodierender Stoffe hervorbringt.

¹ Nach Bayr. Kunst- u. Gewerbebl. 1866, S. 684.

Es kann diese lokale Explosion auf verschiedene Art erzeugt werden, z. B.

1. wenn man Nitroglyzerin oder analoge Stoffe in Röhren mit Schießpulver — oder gleichwirkenden, zur Erwärmung beitragenden Stoffen — umgibt oder umgekehrt;
2. wenn man in dem Nitroglyzerin oder analogen Stoffen nur einen kleinen Zünder einsetzt, der mit Pulver oder ähnlichem Stoffe gefüllt ist;
3. durch einen starken elektrischen Funken, dessen Feuer nicht an der Oberfläche des Nitroglyzerins, sondern in die Masse hineindringt;
4. mittels eines Zündhütchens;
5. durch langsame Erwärmung eines geringen Teiles des Nitroglyzerins oder anderer explosiver Stoffe, welche dann die Wirkung durch den Druck fortpflanzen;
6. durch eine einfache Zündschnur. Dieses gelingt, wenn das Nitroglyzerin von allen Seiten eingeschlossen ist und das vergaste Nitroglyzerin nicht entweichen kann, bevor der angesammelte Druck die Totalerwärmung bis auf 180° oder die Totalexpllosion hervorbringt.

Ich gebrauche vorzugsweise die oben im zweiten Punkte erwähnten Pulverzünder.

Da a) das Nitroglyzerin und die analogen Körper (welche in offenem Raume ohne Explosion entzündbar sind) zwar vor Jahren entdeckt, aber in der Praxis keine Anwendung gefunden haben, weil ihre Total-explosion nicht hervorzubringen war; b) diese Körper nicht nur in offenem, sondern beinahe ganz verschlossenem Raume entzündet werden können, ohne zu explodieren; c) ein Hammerschlag nur eine Lokal-explosion hervorbringt und selbst an dem Hammer nach der Detonation noch flüssiges Nitroglyzerin haftet; d) sogar die Erhitzung der Total-masse des Nitroglyzerins in einem offenen Geschirr keine Total-explosion bewirkt; e) ich diese Stoffe aus dem Gebiete der Wissenschaft für die Industrie nutzbar gemacht habe und f) flüssige explosive Körper — wie das Nitroglyzerin — noch nicht zu technischen Zwecken gebraucht worden sind, so beanspruche ich als meine Erfindung:

1. die schnelle Erwärmung des Nitroglyzerins und analoger Körper durch Mischen derselben mit Schießpulver, Pyroxylin oder gleichen Stoffen — und den Gebrauch dieses Pulvers sowohl als Schieß- und Sprengpulver;
2. die plötzliche Erhitzung zum Explosionsgrade des Nitroglyzerins und analoger Körper oder Mischungen von diesen, durch den heftigen Druck einer lokalen Explosion, welche dann, in der Richtung des Widerstandes wirkend, eine Total-explosion herbeiführt;
3. den ausschließlichen Gebrauch des Nitroglyzerins und analoger Stoffe oder Mischungen davon als Sprengsatz, insoweit dieser Gebrauch sich auf die oben erwähnten Erfindungen zurück-führen läßt.

Der erste Teil des bayrischen Patents entspricht dem in Schweden und England 1863 genommenen, während der weitere Teil durch das schwedische Patent vom 15. Juli 1864 bzw. das englische Patent vom 20. Juli 1864 geschützt war. Praktisch versuchte Nobel eine Reihe verschiedener Anordnungen. Zunächst versuchte er es mit schwarzpulvergefüllten Holzzündern, die unten durch einen Kork verschlossen und oben durch ein enges Loch eine Zündschnur von angemessener Länge aufnehmen konnten. Dieser Patent-Holzzünder wurde dann in das mit Sprengöl gefüllte Bohrloch so weit hinuntergelassen, daß er etwa zur Hälfte in dem Öle schwamm. Nach dem Eintauchen des Zünders wurde die Zündschnur festgehalten und der übrige Teil des Bohrloches mit losem Sand ausgefüllt (Fig. 12).

Bei horizontalen und schwebenden Bohrlöchern, wo das Nitroglyzerin nicht direkt eingegossen werden konnte, wurden mit Sprengöl gefüllte Patronen angewendet. Der für die Patrone bestimmte Patent-Holzzünder wurde mit feinem Pulver gefüllt, mit der nötig langen Zündschnur versehen und dann in die Patrone so weit hineingedrängt, daß das Ende des Zünders sicher im Öle stak. Zuletzt schob man das Ganze ins Bohrloch und besetzte den übrigen Raum mit Sand. Nobel konstruierte auch Papppatronen mit doppeltem Boden (Fig. 13), worin sich unten eine Schicht von Pulver befand, welches durch eine Zündschnur zur Explosion gebracht wurde; auf das Pulver kam zunächst über einem durchbohrten Boden noch eine Kreideschicht und erst oberhalb dieser das Nitroglyzerin. Auch wandte Nobel ein System von zwei Patronen bzw. Hülsen an: unten im Bohrloch eine mit Sprengöl gefüllte und mit einem Kork verschlossene Hülse, darüber eine mit Schwarzpulver, in welche eine durch eine Korkscheibe oben festgehaltene Zündschnur eingeführt wurde. Nobel verfuhr ferner so, daß er in eine Hülse unten das Sprengöl und darüber, durch einen Kork getrennt, das Schwarzpulver brachte (Fig. 13).

Eine weitere Anordnung war die, wonach Pulver sich in einer inneren Glasröhre, das Sprengöl sich in einer äußeren Patrone befand, wie Fig. 14 das veranschaulicht. Das durch eine Zündschnur zur Explosion gebrachte Schwarzpulver zerschlägt zunächst das innere Glasrohr und erteilt dann dem äußeren Nitroglyzerin den nötigen Zersetzungstoß. Statt Glasröhren verwandte Nobel auch Metallbehälter aus Weißblech, welche in Form einer Düte gerollt und mit Schwarzpulver gefüllt waren, sogenannte „Nobels Zünder“. Welche Wichtigkeit diesen Nobelschen Pulverzündern zur Explosionseinleitung für Nitroglyzerin damals schon beigegeben wurde, beweist eine Stelle aus dem Hamburger Gewerbe-

blatt vom Jahre 1864, wo es neben den sprengtechnischen Vorzügen des Nitroglycerins heißt: „Die Explosion des Nitroglycerins bei Sprengungen wird durch einen kleinen Pulverzünder bewerkstelligt, auf dessen Konstruktion und Anbringung das Geheimnis des Erfinders beruht.“ (Fig. 14.)

Nun unternahm Nobel einen bedeutungsvollen Schritt, indem er seine Pulverzünder durch Knallquecksilber-Zündhütchen

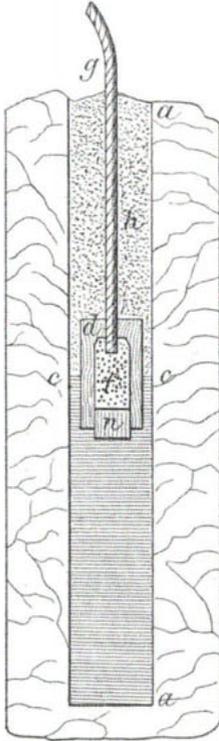


Fig. 12. *a* Bohrloch, *c* Niveau des Sprengöls im Bohrloch, *d* Holzzünder, *f* Pulverkammer, *g* Zündschnur, *h* Besatz, *n* Kork.

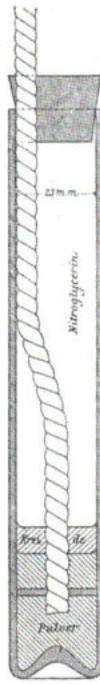


Fig. 13.

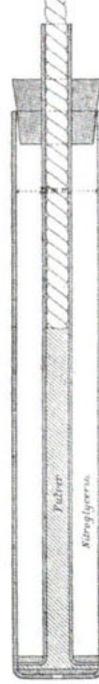


Fig. 14.

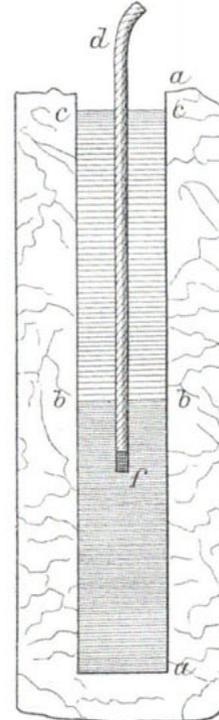


Fig. 15. *a a* Bohrloch, *b* Niveau des Nitroglycerins, *c* Niveau des Wassers, *d* Zündschnur, *f* Zündhütchen.

zu ersetzen versuchte. Diese waren kleine kupferne Zylinderchen (vgl. S. 344), welche mit dem (im Jahre 1800 von Howard entdeckten) brisantesten Explosivstoff Knallquecksilber gefüllt und bereits seit 1815 für Handfeuerwaffen im Gebrauch waren. Bereits in seinen Patenten vom Jahre 1864 erwähnt Nobel diese Zündhütchen; in einer im Bayerischen Kunst- und Gewerbeblatt, Jahrgang 1865, S. 577, erschienenen Publikation wird als einfachstes

Verfahren bei vertikalen und nach unten gerichteten Bohrlöchern folgendes angegeben:

Das Sprengöl wird in das Bohrloch hineingegossen; anstatt Besatz wird der über dem Öl befindliche Raum des Bohrloches mit Wasser angefüllt. An einer Zündschnur von angemessener Länge wird, nachdem dieselbe gerade abgeschnitten ist, ein Patenzündhütchen fest angepaßt; die Zündschnur wird in das Bohrloch so weit hinuntergelassen, daß das Patenzündhütchen sicher im Öle steckt, jedoch nicht zu tief, damit der Druck mehr nach unten wirke (Fig. 15). Dazu wird bemerkt: Diese Methode ist noch zu wenig benutzt worden, als daß sie mit Bestimmtheit, trotz ihrer Einfachheit, der zweiten gegenüber in allen Fällen empfohlen werden könnte.

Auch bei Unterwasser-Sprengungen verwandte Nobel seine Patenzünder. Er führte ein Blechrohr bis auf den Grund des Unterwasserbohrloches, goß durch den Trichter des Rohres, welcher über die Wasseroberfläche hervorragend mußte, das Sprengöl, welches sich über dem Boden des Bohrloches ansammelte, und ließ dann die Zündschnur mit den Patenzündhütchen durch das Blechrohr auf die Sohle des Bohrloches hinab. Schließlich wurde das Blechrohr vorsichtig herausgezogen und die Ladung war beendet.

Nobels Patenzünder enthielten zuerst Schwarzpulver, dann Schwarzpulver und Knallquecksilber und später Knallquecksilber allein. Besonders als Nobel im Jahre 1867 statt des reinen Nitroglycerins Mischungen desselben mit Kieselguhr verwandte — das erste Dynamit — hat er zur Explosionserregung den stärksten Stoff, das Knallquecksilber, für sich benutzt und unter Weglassung des Schwarzpulvers die noch heute gebräuchlichen Knallquecksilber-Sprengkapseln angewandt. Diese Sprengkapseln enthielten natürlich bedeutend mehr Knallquecksilber als die nur zur Zündung von Treibmitteln bestimmten Gewehrzündhütchen. Nobel hatte zur Aufnahme seiner Knallpräparate die schon früher erwähnten Metallbehälter aus Weißblech benutzt, später aber, bei Verwendung reinen Knallquecksilbers, konstruierte er kleine kupferne Kapseln, die in seinem englischen Patent¹ 1345 vom 7. Mai 1867 erstmals beschrieben sind. Wie weit Nobel damals schon Wesen und Wirkung seiner Neuerung begriffen hatte und wie er mit seinen Ansichten den späteren Theorien vorausgeeilt war, bezeugen einige Äußerungen aus dem oben angeführten Patent: „... Man ersieht hieraus, daß eine starke Knallquecksilber-Sprengkapsel, gleichgültig unter welchen Bedingungen, ob an freier Luft oder im Bohrloch, die Explosion bedingt. ... Die Sprengkapsel kann

¹ Das schwedische Patent ist vom 19. Sept. 1867.

jede beliebige Form aufweisen, — aber dessen ungeachtet wird ihre Wirkung immer darin bestehen, durch Erzeugung eines plötzlichen Druckes oder sehr heftigen Stoßes den Zerfall einer Sprengstoffmasse herbeizuführen.“

Nobel zeigte also, daß bei Zwischenschaltung einer mit Knallquecksilber gefüllten Kupferkapsel zwischen die Zündflamme einer Zündschnur und den Nitroglyzerin-Sprengstoff volle Explosion des Sprengstoffs erzielt wird; er machte somit die höchst interessante und für die Sprengtechnik folgenreiche Entdeckung, daß die Explosion einer verhältnismäßig geringen Menge eines sehr brisanten Knallpräparates wie Knallquecksilber genüge, um beliebige Mengen von Sprengöl, auch wenn diese sich in ganz leichtem Einschlusse befinden oder selbst teilweise freiliegend sind, mit voller Sicherheit zur Detonation zu bringen. Man nennt die Methode, die Detonation von Sprengmitteln durch die Explosion kleiner Mengen starker Knallpräparate zu bewirken, „Zündung durch Detonation“ und die einleitende Explosion selbst „Initialexplosion“. Will¹ sagt in einem Vortrage über die Bedeutung dieser Nobelschen Erfindung folgendes:

Die Einführung dieser Knallquecksilbersprengkapseln in die Sprengtechnik ist es sonach, welche die sprengtechnische Verwertung des Nitroglyzerins ermöglicht hat. Und so einfach und klein auch jetzt der Schritt erscheint, von der Verwendung des Knallquecksilbers in Zündhütchen der Perkussionswaffen zu der Auswertung dieses Stoffes in Sprengkapseln zur Umwandlung der Zündschnurzündung in eine Stoßwelle, welche die Detonation der neuen Sprengstoffe bewirkt, so hat man doch, und, wie ich glaube, mit Recht, darauf hingewiesen, daß er für die Entwicklung der Sprengtechnik ein Schritt von ungeheurer Bedeutung gewesen ist. Schon allein die Tatsache, daß sie dadurch um einen so gewaltigen brisanten Sprengstoff wie das Nitroglyzerin bereichert wurde, d. h. einen Sprengstoff von viel plötzlicherer, durchschlagenderer Detonationswirkung, als sie mit dem Schwarzpulver bewirkt werden konnte, ist nicht hoch genug anzuschlagen. Die festesten Gesteine, die härtesten Metalle, denen gegenüber die Sprengkraft des Schwarzpulvers versagte, ließen sich nun bezwingen, und man hat nicht übertrieben, wenn man darauf hingewiesen hat, daß erst hierdurch solche Riesenwerke wie die keinem Hindernis weichenden Verkehrswege unserer Zeit, Tunnelbauten, wie der Gotthard- und Simplontunnel, die großen Kanalbauten, wie der Panamakanal, und ähnliche Wunder menschlicher Schaffenskraft möglich geworden sind.

Die sprengkraftauslösenden Wirkungen der Sprengkapsel sollten aber nicht allein den Nitroglyzerinsprengstoffen zugute

¹ Der Fortschritt in der Auslösung der explosiblen Systeme und sein Einfluß auf die Sprengstoffindustrie, Verhandl. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbefleißes.

kommen: schon im folgenden Jahre 1868, kurz nach Nobels Patentierung der Sprengkapsel, zeigten Abel und Brown¹, daß auch die Nitrozellulose, die bei einfacher Zündschnurzündung ohne Einschluß nur rasch verbrennt, durch Verwendung solcher Knallquecksilbersprengkapseln, ebenfalls zu voller Detonation kommt. Dadurch war auch der militärischen Sprengtechnik ein neuer, das Schwarzpulver vielmal übertreffender Sprengstoff zugeführt worden, der in Form von Sprengkörpern, Torpedo- und Minenladungen u. a. bald eine große Bedeutung erlangen sollte.

Indessen ist die Verwendungsmöglichkeit dieser beiden wirkungsvollen Sprengmittel aus Glyzerin und Zellulose vielleicht noch nicht das wesentlichste Geschenk, welches wir der Einführung der Sprengkapsel verdanken. Der gewaltige Aufschwung, den die organische Chemie in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts nahm, vermehrte den Schatz an neuen Verbindungen durch eine größere Zahl sauerstoffreicher Körper, die aromatischen Nitrokörper. Die Eigenschaft der Salpetersäure, aus organischen Verbindungen explosible Systeme zu erzeugen, erstreckt sich nicht allein auf alkoholartige Körper wie das Glyzerin und die Zellulose, sondern auch auf die sogenannten aromatischen Verbindungen, in erster Linie auf die aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol u. a., und auf die Phenole, wie Karbolsäure und ähnliche. Die so erzeugten Explosivkörper entstehen ebenfalls durch den Eintritt eines Teiles der Salpetersäure an die Stelle von Wasserstoffatomen des organischen Atomkomplexes; sie sind aber chemisch anders konstruiert als die vorbesprochenen Sprengstoffe, insofern sie den Salpetersäurerest NO_2 als Nitrokörper in anderer, stabilerer Form enthalten als die weniger beständigen Salpetersäureester Nitroglyzerin und Nitrozellulose. Man betrachtete die wirklichen aromatischen Nitroverbindungen zunächst als ganz harmlose Körper, und vor Erfindung der Nobelschen Sprengkapsel lag nichts ferner als der Gedanke, sie für Sprengzwecke auszuwerten. Nachdem nun aber die Initialzündung in so überraschender Weise vervollkommen war, lag es nahe, diese Zündung auch an trägeren Systemen zu versuchen, um zu sehen, inwieweit auch sie detonationsfähig wären.

Im Jahre 1885 machte Turpin² in Paris die aufsehenerregende Entdeckung, daß die Pikrinsäure oder das Trinitrophenol detonationsfähig sei und durch genügend starke Sprengkapselzündung zu dem heftigst explodierenden Sprengstoff werde. Die

¹ Engl. Pat. 3115 vom 10. Okt. 1868.

² Franz. Pat. 167512 vom 7. Febr. 1885, D.R.P. 38734 vom 12. Jan. 1886.

Pikrinsäure war schon seit Ende des 18. Jahrhunderts bekannt und in der Industrie allgemein als Farbstoff angewandt worden, ohne daß man in ihr eine explosive, für Sprengzwecke verwendbare Substanz vermutet hätte. Zwar hatte Sprengel¹ schon im Jahre 1873 dargetan, „daß die Pikrinsäure allein eine genügende Menge Sauerstoff enthalte und ohne die Hilfe von fremden Oxydationsmitteln einen mächtigen Explosivstoff abgebe, wenn sie durch ein Zündhütchen abgefeuert werde.“ Aber weder Sprengel noch jemand anders scheint dieser Beobachtung besondere Wichtigkeit beigelegt zu haben, bis die Entdeckung Turpins den alten Versuch in neuer Überraschung der Welt bekannt gab. Was die Pikrinsäure vor den beiden früheren Sprengstoffen Nitroglyzerin und Schießbaumwolle auffällig unterschied, war ihre große Handhabungssicherheit, ihre fast völlige Unempfindlichkeit gegenüber mechanischer Einwirkung und schließlich ihre schwierigere Detonationsfähigkeit durch Sprengkapselzündung, so daß Turpin als Initialsubstanz anfänglich statt des Knallquecksilbers das noch heftiger explodierende Knallsilber wählte. In der zitierten Patentschrift wird angeführt, daß die geschmolzene Pikrinsäure das Maximum an Unempfindlichkeit besitze und im Freien selbst durch ein Zündhütchen mit 3 g Knallsilber noch nicht zur Explosion gebracht werde, daß die Explosion jedoch erfolge, wenn die Masse in einen Behälter eingeschlossen, z. B. als Granatfüllung verwendet werde. Dagegen lasse sich pulverförmig kristallisierte Pikrinsäure schon durch 1·5 g Knallsilber detonieren, weshalb man der gepreßten oder geschmolzenen am besten eine Zwischenmasse aus pulverförmiger Pikrinsäure vorschalte, welche das mit Knallsilber gefüllte Sprenghütchen enthalte. Damit war Turpin auf das späterhin so wichtig gewordene Prinzip der Zwischenzündladungen verfallen, das bereits von Browns 1872 zur Detonation nasser Schießbaumwolle angewandt wurde, indem er auf die nasse Hauptmasse einen Aufsatz trockener Schießwolle brachte und diesen initiierte, worauf sich dann die Detonation der trockenen Ladung auch auf die nasse übertrug. Als dann die Pikrinsäure gegen Ende der achtziger Jahre in den meisten Staaten als Geschosßfüllmittel eingeführt wurde, benutzte man allgemein als Detonator die alten Knallquecksilber-Sprengkapseln in Verbindung mit einer pulverförmigen Zwischenladung von Pikrinsäure.

Aber auch die vielgenannte Pikrinsäure hat dem Fortschritt weichen müssen. Die Ausdehnung der Sprengkapselversuche ergab,

¹ Vortrag in der Chemical Society in London.

daß unter den aromatischen Nitrokohlenwasserstoffen ähnlich sprengkräftige, noch unempfindlichere Systeme vorlagen, welche nicht die Wasserlöslichkeit, Giftigkeit und nicht die gefahrdrohende Eigenschaft der Salzbildung besaßen. Unter diesen hat sich vor anderen das Trinitrotoluol für Kriegszwecke, zumal als Granat- und Minensprengstoff, ganz besonders bewährt, da es an Unempfindlichkeit, Rohrsicherheit die Pikrinsäure noch weit übertrifft (vgl. Tabelle S. 139). Infolge seiner größeren Unempfindlichkeit ist das Trinitrotoluol etwas schwerer detonierbar als die Pikrinsäure, erfordert also etwas größere, stärkere Sprengkapseln; auch hier wird das geschmolzene oder gepreßte Produkt durch Vermittlung einer explodierenden Zündladung lose gepreßten, kristallinen Trinitrotoluols initiiert.

Die Erkenntnis, daß die neutralen, mehrfach nitrierten aromatischen Kohlenwasserstoffe trotz ihrer großen Stabilität mittels der Sprengkapseln sicher auslösbare explosible Systeme sind, hat dann aber weiter eine unerwartet wertvolle Anwendung außerhalb des militärtechnischen Gebietes gefunden. Sie hat zur Einführung einer neuen Art von Sprengstoffen geführt, die als mechanisches Gemenge dem alten Schwarzpulver verwandt sind, von ihm in ihren Eigenschaften aber doch so weit abweichen, daß ihre Einführung eine tiefgreifende Änderung in der Sprengtechnik, zumal in Bergwerksbetrieben verursacht hat: die Klasse der Sicherheits- oder Ammoniaksalpeter-Sprengstoffe. Es sind dies sehr unempfindliche, in der Handhabung gänzlich ungefährliche und dabei doch recht kräftige Sprengstoffe, die für den Kohlenbergwerksbau besonders dadurch wertvoll sind, daß sie bei der Explosion infolge niedriger Explosionstemperatur nicht zünden, d. h. keine schlagenden Wetter verursachen, also schlagwetter-sicher sind. Nur erfordern sie zur vollständigen Explosion vorzüglich wirkende, sehr starke Sprengkapseln, da sie praktisch weder durch Schlag noch durch Flammzündung explodierbar sind.

Wir verdanken also der Sprengkapsel nicht nur die von Nobel erstrebte Einführung der Nitroglyzerinsprengstoffe (Nitroglyzerin, Dynamit, Sprenggelatine) in die Sprengtechnik. Weit über dieses Problem hinausgehend hat sie uns die militärische Auswertung der Schießbaumwolle, die Verwendung sehr wenig sensibler Systeme wie Trinitrotoluol und verwandter Körper und schließlich die bezüglich der Sicherheit der Handhabung und Verkehr so wertvollen Ammoniaksalpeter-Sprengstoffe — denen sich heute noch die Chlorat- und Perchlorat-Sprengstoffe anschließen — erschlossen.

Kehren wir jetzt nach dieser kleinen Abschweifung wieder zu

der Geschichte der Sprengkapsel zurück. Wie wir bereits schon gesehen haben, enthielten die Nobelschen Kapseln vom Jahre 1867 reines Knallquecksilber. Man erkannte jedoch bald mehrere Übelstände dieses Füllmittels: einmal wurden die Metallwandungen der Kapseln durch das Knallquecksilber angegriffen — amalgamiert — und der Zündinhalt leicht verdorben, dann war ferner die Initialwirkung infolge der unvollständigen, wenig Wärme entwickelnden Zersetzung des reinen Knallquecksilbers nicht immer genügend. Man mischte deshalb dem Knallquecksilber die zur völligen Verbrennung nötige Menge Kaliumchlorat bei, — ein Zusatz, welcher zwar die Schnelligkeit der Zersetzung etwas verminderte, dafür aber durch Volumvergrößerung und Temperaturerhöhung der Gase die Sprengkapselwirkung vergrößerte. So entstand ein Sprengsatz, der durchschnittlich 80 bis 85% Knallquecksilber und 20 bis 15% Kaliumchlorat enthielt; diese Mischung war dem Knallquecksilber nicht nur an Energiegehalt, sondern auch an Billigkeit und leichter Verarbeitbarkeit überlegen und ist auch heute noch allgemein im Gebrauch.

Die Entwicklung der Sprengtechnik stellte indessen immer mannigfaltigere und höhere Anforderungen an die Wirkung der Sprengkapseln, und seit der Einführung der Pikrinsäure in die Militärsprengtechnik sehen wir den Knallsatz sich nach einer ganz neuen Richtung hin entwickeln. Der reine und der mit Kaliumchlorat gemischte Knallsatz sind nämlich gegen Feuchtigkeit verhältnismäßig empfindlich und büßen leicht von ihrer Wirksamkeit etwas ein, auch vermögen sie unempfindlichere Systeme, wie geschmolzene oder gepreßte Pikrinsäure z. B., nur teilweise oder gar nicht zu detonieren. Man kam deshalb auf den glücklichen Gedanken, einen Teil des Knallquecksilbersatzes in der Sprengkapsel durch einen brisanten Sprengstoff zu ersetzen, der gegen Feuchtigkeit weniger empfindlich, nach Art und Weise der Zwischenzündladungen der Sprengstoff leicht und vollständig detonieren sollte. Wiederum war es Nobel, der den neuen Schritt zur Sprengkapselverbesserung unternahm: er konstruierte eine aus zwei Zellen bestehende Kapsel, deren obere Zelle mit Knallquecksilber, die untere mit Pikrinsäure oder einer anderen durch Knallquecksilber detonierbaren Substanz gefüllt war (franz. Pat. 184129 v. 9. Juni 1887). Ein anderer, ähnlicher Vorschlag betraf schwach konisch geformte Kapseln, in dessen oberem engeren Teil sich das Knallquecksilber, im unteren Teil dagegen flockige Schießbaumwolle befand. Ferner hat Nobel die erste knallquecksilberfreie Zündsatzmischung empfohlen (engl. Pat. 16919 vom 2. Oktober 1888), bestehend

aus: 2 Teilen Kollodium, gelöst in 12 Teilen Azeton, 1 Teil Nitroglyzerin, 4 Teilen Kaliumpikrat und 8 Teilen Kaliumchlorat. Trauzl befürwortete in gleicher Zeit die Anwendung von Nitrozellulose, getränkt mit Nitroglyzerin, im Verhältnis 2 : 3 oder zu gleichen Teilen; andererseits empfahl er für Sprenggelatine Knallsätze aus Schießbaumwolle und Chlorat oder Nitrat, welche sehr wirksam sein sollen. Seit 1892 fabrizierte die Nobels Explosives Co., Ltd., Sprengkapseln, die mit einer Mischung gleicher Teile Schießbaumwolle und Nitroglyzerin mit oder ohne Zusatz von Calcium- oder Magnesiumkarbonat gefüllt waren.

Im Jahre 1900 wurde dann fast zu gleicher Zeit von Bielefeldt und Wöhler die Anwendung von aromatischen Nitrokörpern, vorzugsweise von aromatischen Nitrokohlenwasserstoffen als teilweiser Ersatz des Knallquecksilbers in Sprengkapseln vorgeschlagen. Wöhler hob namentlich das Trinitrotoluol hervor, als das billigste und kräftigste Ersatzmittel des Knallquecksilbers (engl. Pat. 21065/1900) und gab eine Sprengkapselfüllung an, die in ihrer Anordnung heute noch vorbildlich geblieben ist. Etwa zwei Drittel des Knallquecksilber-Kaliumchloratgemisches sind durch kristallinisches Trinitrotoluol ersetzt, das lose in die Kapsel gepreßt wird; der übrig bleibende Knallquecksilbersatz kommt dann auf das Trinitrotoluol zu liegen, wo er noch durch ein in der Mitte durchlochstes Plättchen zugedeckt werden kann, zum Schutz gegen äußere Einflüsse und Herausfallen des Satzes. Solche Sprengkapseln sind nicht nur billiger und haltbarer, sondern auch zündkräftiger. Statt des Trinitrotoluols verwendet man neuerdings mit großem Vorteil das noch wirksamere Tetranitromethylanilin (vgl. Tetrylkapseln, S. 311). Auch hier kommt auf den Zündsatz ein kleines, in der Mitte durchbohrtes Kupferhütchen, das neben der Verbesserung der Zündung auch eine zuverlässigere Sicherung des Kapselinhalts bildet.

Es hat auch nicht an umfangreichen Versuchen gefehlt, das Knallquecksilber in der Sprengkapsel völlig durch andere Stoffe zu ersetzen, da das Knallquecksilber seines hohen Preises, seiner Giftigkeit, seiner umständlichen und gefährlichen Fabrikation wegen viele Nachteile in sich birgt. In neuerer Zeit hat man nach dieser Richtung gewisse Fortschritte erzielt. Die Curtius'schen Arbeiten über die Stickstoffwasserstoffsäure hatten in den Schwermetallsalzen dieser Säure hochexplosive Verbindungen kennen gelehrt, die sich ähnlich dem Knallquecksilber verhalten, ja dieses an Initiierfähigkeit noch weit übertreffen. Untersuchungen, die im Königlichen Militärversuchsamt zu Anfang der neunziger Jahre ausgeführt wurden, ergaben, daß ein

vorteilhafter Ersatz des Knallquecksilbers in Sprengkapseln durch das Silber- und Quecksilbersalz, besonders aber auch durch das billigere Bleisalz der Stickstoffwasserstoffsäure möglich sei. Unabhängig von diesen Untersuchungen haben dann später Wöhler und Matter die Fertigung von Sprengkapseln aus diesem Bleiazid empfohlen (D.R.P. 196824 vom 2. März 1907), die wegen besonders guter Haltbarkeit in feuchter Luft rasch Eingang gefunden haben. Große Fabriken, wie die Rheinisch-Westfälische Sprengstoff-A.-G., fertigen heute schon hauptsächlich nur noch solche Kapseln, die neben einer Füllung von Tetranitromethylanilin eine Zündpille von einigen Zentigramm Bleiazid enthalten (D.R.P. 238942 vom 30. Juni 1910). Nach dem gleichen Patent läßt sich Bleiazid auch in der Weise verwenden, daß man es nicht als vollen Ersatz des Knallquecksilbers benutzt, sondern mit diesem zusammen verarbeitet. Es lassen sich hierdurch vor allem sehr hohe Ladedichten erreichen, bis über 2000 Atmosphären, während bei Knallquecksilber allein schon bei 250 Atmosphären die Gefahr des „Totpressens“ besteht. Auch mit anderen brisanten Stoffen, wie Diazobenzolnitrat- und Schwefelstickstoff, die ohne Azide als Initiatoren völlig unbrauchbar sind, lassen sich Azide unter Vermeidung des Knallquecksilbers sehr vorteilhaft verwenden.

Mit anderen knallquecksilberfreien Sprengsätzen bzw. Knallquecksilber-Ersatzmitteln beschäftigen sich mehrere Patente. Einen rein anorganischen, äußerst brisanten, lagerbeständigen, nicht hygroskopischen und billigen Zündsatz erhält man nach Calvet (D.R.P. 268231 vom 12. Juni 1912) durch Mischen von Persulfocycansäure, Isodithiocycansäure oder Pseudoschwefelcyan (bzw. ihrer Salze) mit Kaliumchlorat oder Perchlorat. Zahlreicher sind die Vorschläge zu knallquecksilberfreien Initialsätzen auf organischer Grundlage. Darunter sind zu nennen: das Hexamethylentriperoxyddiamin, $N(CH_2-O-O-CH_2)_3N$ (v. Girséwald, D.R.P. 274522 vom 14. September 1912) und das Nitrobisdiazobenzolperchlorat, $C_6H_3NO_2(N=NCIO_4)_2$ (E. Herz, D.R.P. 258679 vom 27. April 1911); ferner das Benzoylperoxyd, $C_6H_5CO-O-O-CO \cdot C_6H_5$ (A. Jacques und G. Wells (engl. Pat. 23450 vom 14. Okt. 1912) und der Nitropentaerythrit (Claessen, D.R.P. 265025 vom 8. Dez. 1912). Fast alle diese organischen Initialexplosivstoffe zeichnen sich durch hervorragende Zündwirkung aus, welche in einem Fall selbst die der Azide übertrifft.

Die Sprengkapseln werden innerhalb des Sprengstoffs, im Innern einer Dynamitpatrone z. B., zur Explosion gebracht; sie

müssen also noch mit einer Vorrichtung versehen werden, durch welche sie aus ausreichender Entfernung detoniert werden können. Dazu dienen die bereits erwähnten Bickfordschen Zündschnüre oder die elektrische Zündung, die wiederum Gegenstand einer beträchtlichen und interessanten Fabrikation ist (vgl. die ausführliche Darstellung S. 441). Diese elektrischen Zünder werden z. B. derart hergestellt, daß an das Ende zweier isolierter Kupfer- oder Eisendrähte kleine Zündköpfchen aufgelötet sind, in welchen die Zuleitungen durch einen sehr feinen Platindraht miteinander verbunden sind, so daß ein durch die Drähte geschickter Strom diesen feinen Verbindungsdraht zum Glühen bringt. Dieses Drahtende wird mit einem Köpfchen einer Masse umgeben, welche wie eine Kupfersulfür-Chlorat-Mischung oder ähnliches leicht und sicher zur Zündung kommt. Das Köpfchen kann auch wie bei den Spaltzündern aus einer Masse hergestellt sein, welche nicht nur leicht entzündlich ist, sondern auch den elektrischen Strom leitet. Die Leitung wird z. B. durch eingeengte Metallteilchen oder Kohle derart bewirkt, daß der Strom noch so viel Widerstand findet, daß eine ausreichende Erhitzung zur Entzündung des Zündköpfchens statt hat und so eine Zündung durch glühenden Draht unnötig wird. Man kann auch so verfahren, daß in dem Zündköpfchen die Drahtenden sich nicht berühren, aber so angebracht sind, daß beim Durchsenden des elektrischen Stromes ein Funke zwischen ihnen überspringt, der die Zündung des Köpfchens besorgt (sogenannter Funkenzünder). Je nach der Stärke oder Spannung des zur Verfügung stehenden Stromes, der Art der Leitungen, der Anzahl der gleichzeitig abzugebenden Schüsse usw. ist die eine oder die andere der Vorrichtungen vorzuziehen. — Die Herstellung solcher elektrischer Zünder stellt eine an Feinmechanik erinnernde Arbeit dar, zumal hinsichtlich der minutiösen Ausführung der Zündköpfchen, von denen z. B. jedes einzelne auf richtige Leitfähigkeit geprüft werden muß. Die Drähte mit den Zündköpfchen werden in die Sprengkapseln fest eingekittet, so daß ein Verschieben der Drahtenden im Innern der Kapsel beim Transport ausgeschlossen ist.

Zur Kennzeichnung der Bedeutung, welche die Sprengkapselindustrie inzwischen gewonnen hat, sei angeführt, daß Deutschland allein annähernd 40 bis 50 Millionen Stück Sprengkapseln fabriziert.

Zündung durch detonierende Zündschnüre.

Die neueste fabrikatorische Phase der Sprengkapseln bildet natürlich keinen Abschluß der Vervollkommnung der Initial-

zündungsmethoden. Schon spielt die sogenannte detonierende Zündschnur bei gewissen Arbeiten eine Rolle. Man versteht hierunter solche Zündschnüre, welche nicht mit Schwarzpulver gefüllt sind, sondern mit einem brisanten Sprengstoff, wie Trinitrotoluol, Trinitrobenzol, Pikrinsäure, oder mit Knallquecksilber, das durch Vermengung mit Paraffin oder ähnlichen Stoffen gegen Schlag unempfindlich gemacht worden ist. Derartige Zündschnüre unterscheiden sich von den Bickfordschen dadurch, daß sie eine an einem Ende hervorgerufene Detonation des Sprengstoffs mit großer Geschwindigkeit, z. B. einer Geschwindigkeit von 5000 bis 7000 m pro Sekunde, fortpflanzen. Eine solche Zündschnur vermag also die Wirkung einer Sprengkapsel auf weite Entfernung zu übertragen, so daß man auf diese Weise Fernzündungen brisanter Sprengstoffe vornehmen kann, ohne die Sprengkapsel in den Sprengkörper selbst einzuführen. Das bietet mancherlei Vorteile, zumal im Hinblick auf die Sicherheit. Die Einführung und eventuell Entfernung einer Sprengkapsel aus einem Sprengkörper bleibt immer eine Vorsicht erfordernde Arbeit.

Als Vorläufer der detonierenden Zündschnüre ließen sich die von Eales¹ und Nobel² aus Zellulosenitrat bzw. Glycerinnitrat hergestellten Zündschnüre betrachten, wenn es den Erfindern damals nicht mehr auf die Schaffung einer Zündschnur mit zusammenhängender Zündsatzmassenseele, als auf die Erreichung einer bis zur Detonation gesteigerten Brenngeschwindigkeit angekommen wäre. Letztere Aufgabe scheint man sich in Frankreich zuerst gestellt zu haben, wo man bereits schon im Jahre 1879 detonierende Zündschnüre (*cordeaux détonants*, *tubes détonants*) mit Hydrozellulosenitratfüllung in die Armee einführte. Ähnliche detonierende Zündschnüre mit Füllungen aus Schießwolle oder Dynamit und Mänteln aus Blei, Zinn, Guttapercha oder dgl., die einen lichten Durchmesser von ca. 1 mm besaßen und Fortpflanzungsgeschwindigkeiten von 5000 bis 6000 m pro Sekunde aufwiesen, wurden Ende der achtziger Jahre gleichfalls in Frankreich versucht.³

In Österreich wurde 1887 bei den technischen Truppen eine detonierende Knallquecksilberzündschnur⁴ mit einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 4000 bis 5000 m pro Sekunde eingeführt. Diese Zündschnüre waren wohl sehr wirksam, aber

¹ D.R.P. 1853 aus dem Jahre 1877.

² D.R.P. 45712 vom 22. Nov. 1888.

³ *Annales des Mines*, Bd. 14, S. 197 ff. (1888).

⁴ Über Momentan-Zündschnüre, *Zeitschr. f. Schieß- u. Sprengst.* 1907, S. 173.

auch sehr gefährlich in der Handhabung. Um die Empfindlichkeit des trockenen Knallquecksilbers herunterzusetzen, versuchte General Hess zunächst Zündschnüre mit wassergesättigter Fulminatseele, die sich bei der Initiierung genau so verhielten, wie eine trockene Zündschnur, gegenüber mechanischen Impulsen aber sehr unempfindlich waren. Wasser war jedoch als Phlegmatisierungsmittel nicht zu verwenden, da es im gefrorenen Zustande das Fulminat sehr empfindlich macht. Hess griff daher zu wässriger Glycerinlösung; mit solcher Lösung getränkte Knallquecksilberzündschnüre zeigten sich sehr unempfindlich, konnten aus einer Distanz von 50 m beschossen werden, ohne zu explodieren, wurden aber mit einer Sprengkapsel Nr. 6 vollkommen initiiert. Diese Schnur, welche vom k. k. technischen Militärkomitee hergestellt worden war, ließ aber nach neueren Untersuchungen gewisse Mängel des wässrigen Glycerins als Phlegmatisierungsmittel erkennen; so daß man zu einer Knallzündschnur mit Hartparaffin überging, welche das Knallquecksilber mit 20% festem Paraffin phlegmatisiert enthält. Diese Knallzündschnur ist seit 1906 für die Ausrüstung der österreichischen technischen Truppen normiert und vertritt die detonierende Zündschnur.

Zu Beginn der neunziger Jahre kamen bei den französischen Genietruppen die detonierenden Zündschnüre ebenfalls in Gebrauch; die militärische Zündschnur bestand zuerst aus Schießbaumwolle später aus Melinit. Die verbesserte Melinit-(Pikrinsäure-) Zündschnur wurde dann 1906 in Frankreich allgemein für die Feldtruppen eingeführt. Kurz vorher hatte der französische Sprengingenieur Lheure ein Verfahren zur Herstellung einer neuen, handhabungssicheren Detonationszündschnur mit Trinitrotoluolfüllung angegeben (D.R.P. 182081 vom 15. Dez. 1904) und diese Zündungsart aus dem engen militärischen Anwendungsbereich in die allgemeine Praxis, zumal in den Bergwerksbetrieb übertragen. Diese Zündschnur hat bereits schon eine große Verbreitung und Verwendung gefunden. In den letzten Jahren werden auch Detonationszündschnüre fabriziert, die an Stelle des Trinitrotoluols das noch wirksamere, schneller detonierende Tetranitromethylanilin enthalten und eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit bis zu 8000 m pro Sekunde aufweisen.

Die neuesten Bestrebungen auf dem Gebiete der Zündschnurfabrikation laufen darauf hinaus, die detonierende Zündschnur mit der langsam brennenden Bickford-Zündschnur zu einer Einheitsschnur zu vereinigen, welche nach Belieben ein langsam brennendes oder ein detonierendes Leitfeuer ermöglicht. Eine solche kombinierte Zündschnur stellt Harlé (D.R.P. 205287 vom

24. Dez. 1908) in der Weise her, daß er eine innere, mit einem brisanten Sprengstoff (Trinitrotoluol) gefüllte Bleiröhre mit einem schwarzpulvergefüllten Schlauchrohr umschließt. Bei gewöhnlicher Flammzündung pflanzt die Schwarzpulverseele das Feuer mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 1 cm pro Sekunde regelmäßig fort; bei Initiierung mit Sprengkapselzündung dagegen detoniert die Trinitrotoluolseele mit einer Geschwindigkeit von 4400 m/sec. Als allerneueste Konstruktion dieser Art ist die italienische Ballistit-Züandschnur zu betrachten. Diese Züandschnur stellt ein mit Ballistit (bestehend aus gleichen Teilen Schießbaumwolle und Nitroglyzerin, einem kleinen Prozentsatz Schwarzpulver und $\frac{1}{2}\%$ Anilin) gefüllte, einfache Bleiröhre von 5·5 mm Durchmesser dar, besteht also nur aus einer Seele und ist viel weniger kompliziert als das Muster von Harlé. Wird die Ballistit-Züandschnur mit offener Flamme entzündet, so brennt sie mit 1 m Geschwindigkeit in 4 Minuten ab; bei Initiierung mit einer 1 g-Sprengkapsel dagegen erreicht sie eine Detonationsgeschwindigkeit von etwa 5000 m in der Sekunde.

Kumulative Initiierung durch detonierende Züandschnüre. Neuere Zündungsversuche mit detonierenden Züandschnüren haben gezeigt, daß die Initiierungsfähigkeit außerordentlich erhöht werden kann, wenn man die sogenannte kumulative Zündung anwendet, d. h. die Mitte einer detonierenden Züandschnur in den zu detonierenden Sprengstoff legt (Fig. 16) und nun die Detonationswelle von beiden Seiten durch die Züandschnur schiebt, so daß inmitten des Sprengstoffs ein Zusammentreffen dieser Wellen statt hat. Hier liegt eine Arbeitsweise vor, die bei weiterem Ausbau noch erheblich stärkere Initiierungswirkungen liefern kann, als wir sie mit Sprengkapseln bisher zu erzielen imstande waren.

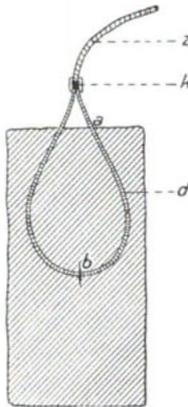


Fig. 16. Kumulative Zündung.

Faßt man das im zweiten Teile dieses geschichtlichen Abschnittes Gesagte zusammen, und betrachtet man die ungeahnte Entwicklung der gesamten Sprengtechnik seit der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts bis auf den heutigen Tag, so sieht man, daß dieser ganze große Fortschritt nur durch die fortschreitenden Verbesserungen auf dem Gebiete der Initialzündung möglich war, ja, daß wir die Erschließung ganz neuer, bis dahin un bebauter Reiche explosibler Verbindungen, wie unserer modernen Militär- und Sicherheitssprengstoffe, einzig und allein der Vervollkommnung der Sprengkapsel verdanken.

Zweiter Abschnitt.

Das Wesen der Initialzündung.

Erster Teil.

Allgemeine Betrachtungen.

Neuerdings betrachtet man die Explosivstoffe als instabile Systeme, die einem Gleichgewichtszustande sich zu nähern bestrebt und in freiwilliger Umsetzung mit fast unendlich kleiner Geschwindigkeit begriffen sind. Das Wesen der Explosion bestünde dann darin, daß diese unter gewöhnlichen Verhältnissen mit unmerklicher Geschwindigkeit verlaufende Umwandlung durch besondere Mittel derart beschleunigt wird, daß der Gleichgewichtszustand fast augenblicklich eintritt. Diese Auffassung gibt zwar eine leicht faßliche Erklärung des Explosionsvorganges, stößt aber bei heterogenen Systemen (Schießpulver und anderen mechanischen Sprengstoffmischungen z. B.) auf Schwierigkeiten, weil hier die aufeinander wirkenden Bestandteile gar nicht soweit in Berührung kommen, um den besagten Reaktionsvorgang zu ermöglichen. Zudem ist die Art der Zersetzung bei gewöhnlicher Temperatur eine ganz andere, als bei den hohen Temperaturen der Explosion. Darum wird man zweckmäßiger, in Ermangelung einer sicheren Erklärung des Wesens der Explosivstoffe, für das Zustandekommen einer Explosion nach Brunswig folgende drei Hauptbedingungen aufstellen:

1. Exotherme Reaktion des fraglichen Vorganges,
2. ausreichender Grad von Sensibilität des Explosivstoffs,
3. Auslösung des Vorganges durch einen geeigneten Initialimpuls.

Die dritte Bedingung steht zu der zweiten in enger Beziehung und ist für die praktische Verwendung der Sprengstoffe ganz besonders wichtig, weil sie die Möglichkeit an die Hand gibt, die Auslösung der explosiven Umsetzung jederzeit und beliebig in der einfachsten Weise von unserem Willen abhängig zu machen. Diese Auslösung erfolgt nun durch besondere Zündmittel, die zusammenfassend als Initialzündungen bezeichnet werden.

Die hohe Bedeutung des Initialimpulses beruht aber nicht nur allein auf der Auslösung, sondern auch auf der weiteren Fortpflanzung der explosiven Umsetzung. Die Auslösung der chemischen Umsetzung durch den Initialimpuls erfolgt zunächst nur an einer einzigen kleinen Stelle des Sprengstoffs. Von

dieser Stelle aus pflanzt sich dann die Umsetzung, vorausgesetzt, daß die durch den Initialimpuls ausgelöste Energie von nun an größer ist, als der durch Leitung und Strahlung entstehende Verlust, durch den Sprengstoff selber fort, indem sie sich schließlich bis zur Höchstgeschwindigkeit beschleunigt. Der Explosivstoff übernimmt also selbst die Rolle des Initialimpulses und leitet damit das zweite Stadium oder den zweiten Auslösungsprozeß ein. Für den Verlauf dieses zweiten Teilvorganges ist natürlich die Beschaffenheit des Sprengstoffs besonders maßgebend, da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit hauptsächlich von ihr abhängt.

Als Initialzündung oder allgemeiner als Initialimpuls ist jede Anregung zu bezeichnen, die ein sensibles, der exothermen Umwandlung fähiges System zum plötzlichen Zerfall, zur — Explosion bringen kann. Die Natur des Impulses ist dabei ganz gleichgültig: ob nun die Zersetzung eines Explosivstoffs in den mannigfaltigen Formen der mechanischen Energie, wie Stoß, Druck und Reibung oder der strahlenden Energie, wie Wärme, Licht, Elektrizität usw. oder auch als chemische Energie in Form von Zündschnüren und Sprengkapseln eingeleitet werde: die Hauptsache ist der plötzliche Zusammensturz des Sprengstoffmoleküls. Aufgabe der Technik ist es, für jeden Fall die Auswahl zu treffen, welche die Sprengkraft in der bequemsten Form auszulösen gestattet.

Praktisch kommt für die Auslösung der aufgespeicherten Energie brisanter Sprengstoffe nur die Sprengkapsel in Betracht. Der wirksame Bestandteil der Sprengkapsel ist eine hochexplosive Verbindung, wie z. B. Knallquecksilber. Es erhebt sich nun die Frage, welche Eigenschaften es im besonderen seien, welche das Knallquecksilber zu der ausgezeichneten Rolle eines Initialzündstoffs oder Detonators befähigen.

Ohne Zweifel ist es die Leichtigkeit, womit das Knallquecksilber durch einfache und bequeme Mittel, wie gewöhnliche Zündschnurzündung z. B., zur momentanen, heftigsten Explosion zu bringen ist und der daraus entstehende enorme Druck, der von der Stelle der Zündkapsel aus den molekularen Bau des Sprengstoffs erschüttert und einen augenblicklichen Zerfall der ganzen Sprengstoffmasse bewirkt. Die Chemie kennt eine große Anzahl heftig explodierender Substanzen, die dem Knallquecksilber an Explosivkraft überlegen sind, die sich aber trotzdem wenig oder gar nicht zu Detonatoren eignen. Dies liegt einesteils an der übermäßig großen Empfindlichkeit, welche die Gefahr einer unbeabsichtigten Explosion derart erhöht, daß diese Körper praktisch unanwendbar werden, andernteils an der Unempfindlichkeit,

welche eine Explosion entweder zu langsam oder mit praktisch nicht geeigneten Mitteln hervorrufen läßt. Das Knallquecksilber hält die Mitte zwischen diesen Körpern; seine Empfindlichkeit bereitet der Verarbeitung und Anwendung weder zu große Schwierigkeiten, noch hindert sie die leicht und sicher zu bewirkende Explosion dieser Substanz.

Die Explosion aller brisanten Sprengstoffe ist ein exothermer Reaktionsvorgang, d. h. durch den Zerfall wird Wärme frei; das explosive System bedarf also für seine Umwandlung nicht der Zufuhr äußerer Energie, sondern entwickelt selber Wärme und beschleunigt dabei die Umsetzung aus sich selbst heraus. Für eine exotherme Umsetzung ist es darum gleichgültig, ob der sie veranlassende Initialexplosivstoff exothermer oder endothermer Natur sei. Immerhin besteht insofern ein Unterschied, als die bei einer endothermen Bildung gebundene Wärmemenge, die bei der explosiven Zersetzung wieder frei wird, sich zu derjenigen Wärmemenge addiert, die bei der Bildung der Explosionsprodukte aus den Elementen eines Sprengstoffs entsteht; während sich die bei der explosiven Umwandlung eines exothermen Sprengstoffs gebildete Wärmemenge, um die bereits durch die positive Bildungswärme des Explosivstoffs verausgabte Wärmemenge verringert. Im letzteren Falle wird also durch den Explosionsvorgang weniger Wärme frei, als bei den endothermen Verbindungen; und daraus erklärt es sich auch, daß die technisch verwendeten Initialzündler, das Knallquecksilber und das Bleiazid, stark endotherme Verbindungen sind. Die große frei werdende Wärmemenge befähigt sie, durch das dadurch hervorgerufene heftige Ausdehnungsbestreben der Explosionsgase den für die Zündung brisanter Sprengstoffe erforderlichen hohen Druck zu erzeugen. Gleichzeitig ist für diese beiden wichtigsten Initialzündler die Explosionstemperatur, bis zu welcher die Explosionsprodukte erhitzt werden, sehr hoch; für Knallquecksilber¹ wurden 3594° und für Bleiazid 3483° errechnet. Indessen ist die freiwerdende Energiemenge nicht im geringsten proportional der initiierenden Kraft solcher Explosivstoffe, hat doch das Knallquecksilber einen viermal geringeren Energiegehalt als Sprengelatine.

Das hervorragendste Merkmal der Initialexplosivstoffe ist, wie wir bereits schon gesehen haben, die Empfindlichkeit oder Sensibilität. Diese Eigenschaft scheint in enger Beziehung zu der negativen Bildungswärme dieser Verbindungen zu stehen,

¹ Martin, Über Azide und Fulminate, Darmstadt 1913.

da es sich gezeigt hat, daß gerade stark endotherme Substanzen in besonderem Grade empfindlich sind. Diese Verbindungen vermögen im allgemeinen mehr Wärme zu entwickeln als exotherme, was mit der Beobachtung übereinstimmt, daß die Empfindlichkeit unter sonst gleichen Verhältnissen um so größer ist, je höher die bei der explosiven Umsetzung freiwerdende Wärmemenge ist. So sind beispielsweise die Salze der Stickstoffwasserstoffsäure in viel höherem Grade endotherm und auch viel sensibler, als das schon sehr empfindliche Knallquecksilber.

Die wichtigste Eigenschaft eines Initialexplosivstoffs ist aber seine Brisanz. Allgemein läßt sich die Brisanz definieren als eine Beziehung zwischen Zeit und Druck, derart, daß denjenigen Stoffen, die in der kürzesten Zeit ihren Maximaldruck erreichen, der höchste Grad von Brisanz zukommt. In ähnlicher Weise hat Hess¹ die Brisanz als die in der Zeiteinheit geleistete Arbeit bezeichnet. Bestimmend für die Brisanz sind der Energieinhalt, die Detonationsgeschwindigkeit und die Ladedichte, die einander gegenseitig ergänzen. Die Bedeutung dieser drei Faktoren liegt in der Erzeugung eines sehr hohen Anfangsdruckes, der sich seinerseits wieder in einem heftigen Gasstoß äußert. Ein vierter, allerdings nur mechanischer Faktor zur Drucksteigerung und damit zur Stoßverstärkung ist durch den festen Einschluß des Initialzünders in die Sprengkapsel gegeben; dadurch vollzieht sich die Drucksteigerung schneller, und es genügt zur Erreichung des erforderlichen Anfangsdrucks eine geringere Menge des Zündstoffs, als es ohne festen Einschluß der Fall wäre.

Für einen Initialexplosivstoff von größter Wichtigkeit ist dessen Detonationszeit, d. h. die Zeit, die der Initialzünder braucht, bis sich alle Bestandteile, die der Umsetzung in Gase fähig sind, umgesetzt haben. Nur wenn der Initialimpuls mit außerordentlicher Geschwindigkeit unter augenblicklicher Entwicklung des gesamten Energieinhalts — also nahezu adiabatisch — verläuft, ist bei der relativ geringen Energiemenge dieser Körper, ein großer Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung unmöglich und eine hohe Druckwirkung garantiert: hieraus erhellt sofort die Bedeutung der Detonationsgeschwindigkeit als einer der wesentlichsten Faktoren für die Brisanz. Man versteht darunter die Geschwindigkeit, mit der die explosive Umsetzung innerhalb einer Sprengstoffmasse fortschreitet. Man nimmt an,

¹ Kast, Anleitung, S. 1022.