

Handbuch
der
militärischen Sprengtechnik

für Offiziere aller Waffen

VON

Bruno Zschokke

Geniehauptmann

Adjunkt der Eidg. Materialprüfungsanstalt und Dozent an der militärwissenschaftlichen
Abteilung der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich

Mit 299 Textfiguren und 5 Tafeln



Leipzig
Verlag von Veit & Comp.
1911

Alle Rechte vorbehalten.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Vorwort.

Wie wohl die militärische Sprengtechnik nur einen kleinen Teil des ganzen weitverzweigten Gebietes der Kriegswissenschaften darstellt, weisen alle Erfahrungen der letzten großen Kriege, so namentlich auch die durch den russisch-japanischen Krieg hervorgerufene richtigere Würdigung der Wirkung der modernen Feuerwaffen, darauf hin, daß ihr im Kriege der Zukunft eine wesentlich größere Bedeutung als bisher zukommen wird. Eine genauere Kenntnis aller einschlägigen Verhältnisse ist daher namentlich für die Offiziere der technischen Waffen unerlässlich.

Die heute für das militärische Sprengwesen in Betracht kommende Fachliteratur ist eine sehr verschiedenartige und recht zersplitterte. Was das Sondergebiet der Sprengstoffe anbetrifft, begegnen wir hier manchen ältern und noch zahlreichern neuern, umfangreichen, zum Teil ganz vortrefflichen Werken, die aber in erster Linie für den Chemiker und Sprengstofffabrikanten geschrieben sind. Ziemlich spärlich sind die Arbeiten, die sich ausschließlich oder wenigstens etwas eingehender mit den Zündmitteln befassen. Über die Anwendungsgebiete der Sprengstoffe geben die Fachdienstreglemente der verschiedenen Heere mehr oder weniger eingehende, allerdings meist nur rezeptartige Vorschriften und praktische Beispiele. Schließlich finden wir in verschiedenen, meist ältern militärischen Werken, sowie in den Fachzeitschriften aller Länder zerstreut, zahlreiche auf die erwähnten Einzelgebiete bezügliche, zum Teil oft wertvolle Abhandlungen sowohl rein technisch-wissenschaftlichen wie kriegshistorischen Inhalts. Noch nie ist aber — wenigstens meines Wissens — bis jetzt versucht worden, das ganze weitschichtige Material zu sammeln und zu sichten, um das Notwendigste daraus zu einer einheitlichen Gesamtdarstellung zusammenzufassen.

Bei der so großen Verschiedenartigkeit der technischen Wissensgebiete, die in das militärische Sprengwesen hineingreifen, war die mir gestellte Aufgabe eine nicht ganz einfache und leichte. Sie in zufriedenstellender Weise zu lösen ist aber auch aus dem weitern Grunde schwierig, weil manche wichtige Erfahrungen und Neuerungen auf diesem Gebiet aus naheliegenden Gründen der Öffentlichkeit nicht zugänglich sind.

Das vorliegende Buch ist daher weit entfernt davon, Anspruch auf Vollständigkeit zu machen. Es will auch nach dem Gesagten

weder neue Minen- noch sonstige Theorien aufstellen, sondern bezweckt lediglich, gestützt auf die vorhandene Literatur — soweit sie mir erreichbar — sowie auf Grund einiger eigenen Beobachtungen und Erfahrungen sowie Mitteilungen von befreundeter Seite eine summarische Übersicht über die geschichtliche Entwicklung, den gegenwärtigen Stand und die herrschenden Anschauungen und Vorschriften auf dem Gebiete der militärischen Sprengtechnik zu geben. Wo immer möglich, wurden bei den einzelnen Anwendungsgebieten der Sprengstoffe besonders typische und lehrreiche kriegsgeschichtliche Beispiele eingeflochten.

Auf Grund dieser Darlegungen ergibt sich, daß das vorliegende Buch dazu bestimmt ist, in erster Linie den Offizieren der technischen wie der andern Waffen, die sich in das gesamte Gebiet oder einzelne Zweige des Sprengwesens etwas gründlicher einarbeiten wollen, als Hand- und Nachschlagebuch zu dienen.

Im weitern dürfte es auch den Lehrern an Militärschulen, sowie dem Zivilingenieur in manchen Fällen einige Dienste leisten.

Auf genaue Angabe des benützten, ziemlich reichhaltigen Quellenmaterials wurde besonderer Wert gelegt. Zu dem Zweck ist im Text von Fall zu Fall auf die einschlägige Literatur verwiesen. Ein übersichtlich geordnetes Quellenverzeichnis ist außerdem auf S. XI—XVI zusammengestellt.

Gerne benütze ich auch noch diese Stelle, um sowohl einigen Herren Kameraden der Geniewaffe, wie auch den Redaktionen mehrerer militärischer Zeitschriften, die mich entweder mit Ratschlägen, Auskünften und Quellenangaben in liebenswürdigster Weise unterstützten, oder mir freundlichst gestatteten, ihre literarischen Veröffentlichungen mit Figuren in vorliegendem Buch verwerten zu dürfen, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Es betrifft dies namentlich: die Herren Genieoberst J. Rebold in Bern, v. Schwarz, kaiserl. russ. Oberst in Petersburg, F. Taillade, commandant du génie français in Paris, A.-B. Ver Eecke, capitaine commandant du génie belge in Antwerpen sowie die Tit. Redaktionen der „Kriegstechnischen Zeitschrift“ in Berlin, der „Revue du génie militaire“ in Paris und der „Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie- und Geniewesens“ in Wien.

Leider ist es mir nicht mehr vergönnt, diesen Dank auch dem rühmlichst bekannten Militärschriftsteller und vortrefflichen Ingenieuroffizier Herrn Oberstleut. Scharf in Breslau auszudrücken, den vor kurzem der Tod mitten aus unermüdlicher und fruchtbringender Tätigkeit abberufen hat.

Zürich, im Juli 1911.

Der Verfasser.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	1
Geschichtliches	2

I. Kenntnis der Sprengstoffe.

A. Das Schwarzpulver	12
1. Die Rohmaterialien	12
a) Salpeter	12
b) Schwefel	13
c) Holzkohle	13
2. Die Fabrikationsverhältnisse	14
a) Das Mengen des Pulversatzes	14
b) Das Dichten des Pulversatzes	15
c) Das Körnen des Pulvers	16
d) Das Feucht- oder Grünpolieren	16
e) Das Trocknen	17
f) Das Trockenpolieren	17
g) Verpackung	17
3. Eigenschaften des Schwarzpulvers	17
B. Die Schießbaumwolle	19
1. Geschichtliches	19
2. Die Fabrikationsverhältnisse	20
a) Vorbereitung der Baumwolle	20
b) und c) Die Nitrierung	21
d) Das Auswaschen der Schießbaumwolle	22
e) Das Zerkleinern	23
f) Das Komprimieren der Schießbaumwolle	24
g) Das Trocknen	24
h) Das Paraffinieren	25
3. Eigenschaften der Schießbaumwolle	25
C. Die Dynamite	28
1. Geschichtliches	28
2. Die Fabrikationsverhältnisse des Nitroglyzerins	29
3. Eigenschaften des Nitroglyzerins	32
4. Dynamite mit chemisch unwirksamer Basis	33
5. Dynamite mit chemisch wirksamer Basis	35
6. Schwer gefrierbare Nitroglyzerinsprengstoffe	36

	Seite
D. Die Pikrinsäurepräparate	37
E. Das Trinitrotoluol (Trotyl)	39
F. Sonstige gebräuchlichere Sprengstoffe	40
1. Die Cheddite	41
2. Die Westfalite	41
a) Gelatinewestfalit	41
b) Verstärktes Westfalit	42
c) Schweres Westfalit	42
3. Telsit A	42
4. Der Sprengstoff: „Explosif Vender“	42
5. Das Petroklastit oder Haloklastit	42
G. Das Knallquecksilber	42
H. Aufbewahrung und Vernichtung von Sprengstoffen	44
J. Die explosiven Eigenschaften, Arbeitsleistungen und Sprengwirkungen der hauptsächlichsten Sprengstoffe	45
Empfindlichkeit (Lenzsche Fallhammerprobe); Initialimpuls; Deflagration und Detonation; Entzündungs- und Explosionstemperatur; Spannkraft der Explosionsgase; Statische und dynamische Wirkung der Explosion; Charakteristisches Produkt nach Berthelot; Spez. Druck; Detonationsgeschwindigkeit; Bichelsche Formel; Träge und brisante Sprengmittel; Ladedichte und Ladegewicht; Praktische Arbeitsleistungen; Tabellarische Zusammenstellung der wichtigsten Eigenschaften der in der Schweiz gebräuchlichen Sprengstoffe; Explosion durch Fernwirkung.	

II. Die Zündmittel.

Einleitung	59
A. Die pyrotechnischen Zündmittel	59
1. Der Feuerschwamm	59
2. Die Lunte	60
3. Das Lauffeuer	60
4. Die Stoppine	61
5. Die Zündwurst	61
6. Die englischen Zündschnüre	61
7. Die Sprengkapseln	64
8. Die detonierenden Zündschnüre (Knallzündschnüre)	65
a) Die französische Knallzündschnur	65
b) Die österreichische Knallzündschnur	67
α) Geschichtliches und Eigenschaften	67
β) Verbindungen der österreichischen Knallzündschnüre mit Sprengkapseln und unter sich	69
γ) Anlage von ganzen Zündleitungen mittelst Knallzündschnur; österreichische Zündvorrichtung	71
9. Verbindung von Sprengkapsel mit Zündpatrone	74
10. Zündung durch Detonationsübertragung	75

	Seite
B. Die elektrische Minenzündung	76
Einleitung	76
1. Die Stromquellen	77
a) Die reibungselektrischen Maschinen (österreichischer Feldzündapparat)	78
b) Magneto- und dynamoelektrische Maschinen Der Bürginsche Minenzündapparat; Siemensscher Minenzündapparat; französischer magneto-elektrischer Zündapparat.	82
c) Galvanische Elemente	90
2. Die Zünder	92
Einleitung	92
a) Die Induktionszünder	94
b) Die Spaltglühzünder	94
c) Der schweizerische Glüh- oder Platinzünder	95
d) Schaltung der Sprengschüsse im Stromkreise	96
3. Die Leitungen	100
4. Meßapparate und Leitungsprüfer	104
a) Die Versuchsbatterie	105
b) Der Rheostat	106
c) Das Galvanometer	107
d) Der Taster mit Stromwechsel	109
e) Haslerscher Leitungsprüfer, neues Modell	110
f) Der Siemenssche Leitungsprüfer	111
g) Französischer Leitungsprüfer	112
5. Erprobung des vollständigen Stromkreises mit Zündern	112
a) Prüfung auf Isolation (Kurzschluß)	113
b) Prüfung auf Kontinuität	114
6. Allgemeine Anordnungen und Vorsichtsmaßregeln bei der Herstellung von Zündanlagen und der Vornahme von Sprengungen	114
Hauptleitung und Reserveleitung; Beispiel einer vollständigen Zündanlage für Sprengung eines Brückenfeldes; Wahl des Aufstellungsortes des Zündapparates: a) bei Sprengung von Kommunikationsmitteln; b) bei Sprengung von Minen im Vorgelände von Befestigungsanlagen; Vorbereitung von wichtigen Sprengungen zu Friedenszeiten; Wahl des Zeitpunktes der Sprengung.	

III. Die Anwendung der Sprengstoffe.

A. Theorie der Minentechnik (Minentheorien)	120
1. Allgemeine Begriffe und Bezeichnungen	120
2. Ladungsberechnung und äußere Minenwirkungen	128
Geschichtliches; Ladeformeln von Bélidor, Lebrun, von Hauser (Guillemain), Dambrun, Bralion, Meinecke; Deutsche, französische, österreichische und schweizerische Ladeformeln; Kritischer Vergleich der verschiedenen Ladeformeln nach Ver Eecke; Verhältniszahlen für Schwarzpulverladungen und Ladungen aus brisanten Sprengstoffen.	

	Seite
3. Unterirdische Minenwirkungen	148
Versuche von Bélidor in La Fère und Bizy; die Potsdamer und Moldautheiner Versuche; Berechnung der unterirdischen Wirkungssphäre nach Lebrun, Werman, Dobenheim, Rziha und Dambrun; Verdämmung und Verdämmungslänge.	
B. Der Minenkrieg	158
1. Einleitung	158
2. Die passiven Operationen gegen Festungen	159
3. Die aktiven Operationen	160
Unregelmäßiger und regelmäßiger Angriff; Die Phasen des regelmäßigen Angriffs.	
a) Die Einschließung der Festung	161
β) Der Artillerieangriff	161
γ) Der Nahangriff	161
δ) Der Ingenieur- und Minenangriff	161
e) Der Sturm	161
4. Taktische und technische Durchführung des Minenkriegs	163
a) Minenangriff und Verteidigung bei Forts ohne Konterminen Sappenangriff; Systematischer Minenangriff; Angriff mit Schachtmienen.	164
b) Konterminen und Konterminensysteme	168
Vertikale und horizontale Gliederung der Konterminensysteme.	
c) Minenangriff und Minenverteidigung eines konterminierten Werkes	179
a) Maßnahmen des Angreifers	179
β) Verhalten der Verteidigung	185
d) Schlußfolgerungen	189
5. Der Bau von Schächten, Galerien und Minen	191
a) Allgemeine Bezeichnungen und Begriffe	191
b) Der Schachtbau	195
c) Der Galeriebau mit Getriebsholz	198
d) Bau von Galerien und Zweiggalerien mit holländischen Rahmen	201
e) Änderungen im Profil, Gefälle und in der Richtung der Galerien	203
α) Profiländerungen	203
β) Gefällsänderungen	204
γ) Richtungsänderungen	205
f) Verstärkung von Galerien	213
g) Herstellung des Minenofens	215
h) Die Verdämmung	216
i) Bohrminen	218
Französische Minenbohrer (Stoß- und Drehbohrer); Sackminen; Methoden des Ladens von Bohrlöchern.	
k) Organisation des Betriebs beim Bau von Minensystemen Beleuchtung und Ventilation der Minengänge; Rettungsapparate; Maschinelle Bohrung von Minengängen.	225

	Seite
6. Kriegsgeschichtliche Beispiele für den Minenkrieg	229
a) Der Minenkrieg vor Sebastopol 1854/55	230
b) Minenarbeiten vor der Grivitzaredoute vor Plewna (1877)	240
c) Minenkrieg vor Port Arthur (Fort II).	240
C. Die Verwendung der Sprengstoffe als Waffe (Kampfmijnen)	257
Einleitung	257
1. Flatterminen	257
a) Schachtminen	257
b) Bohrminen	258
2. Steinminen	264
3. Landtorpedos	266
a) Automatische Torpedos mit chemischer Zündung	266
b) Automatische Torpedos mit Perkussionszündung	267
c) Automatische Torpedos mit elektrischer Zündung	267
d) Der Zubovitsche Landtorpedo	268
e) Der Landtorpedo System Pfund-Schmid	271
4. Die Handgranaten und Rollbomben	276
Französische, russische und japanische Handgranaten; die Handgranaten System N. W. Aasen.	
D. Die Demolitionsminen	282
1. Sprengungen in Erde	282
Verdämmungsziffer; Sprengung von Dämmen und Gebirgs- wegen; Schanzarbeiten unter Zuhilfenahme von Sprengungen.	
2. Felssprengungen	287
Das Bohrgezühe; Herstellung von Bohrlöchern; Anordnung der Bohrlöcher bei verschiedenen Felsformen; Leistungen bei der Bohrarbeit; Laden und Abschießen von Bohrlöchern.	
3. Eissprengungen	296
Allgemeines Verfahren; deutsche Normaleissprengbüchse.	
4. Sprengungen von Mauerwerk	301
Ladungsberechnung; Widerstandskoeffizienten und Verdäm- mungsziffern für Ladungen aus Schwarzpulver und brisanten Sprengstoffen; geballte und gestreckte Ladungen (Reihen- ladungen).	
a) Zerstörung freistehender Mauern	304
b) Zerstörung anliegender Mauern	309
c) Zerstörung von ganzen Wohngebäuden, Fabriken, Schorn- steinen u. dgl.	312
d) Die Zerstörung steinerne Brücken	315
α) Sprengung von Brückenpfeilern	318
β) Sprengung von Brückenbogen	323
γ) Kriegsgeschichtliche Beispiele von Sprengungen steiner- ner Brücken	327
Die Sprengung der Augustusbrücke in Dresden, 19. III. 1813; Die Sprengung der Elsterbrücke in Leipzig, 19. X. 1813; Brückensprengungen im deutsch- französischen Kriege 1870/71. (Viadukt von Xer- tigny, Eisenbahnbrücke von Fontenoy sur Moselle,	

	Seite
Straßen- und Eisenbahnbrücke bei Vernon, Brücke über die Lézarde, Seinebrücken bei Elbeuf); Brückensprengungen im Burenkrieg 1899/1902; Brückensprengungen im russisch-japanischen Kriege 1904/05.	
e) Die Zerstörung von Tunneln	350
α) Allgemeine Grundsätze, sowie Anordnung und Berechnung der Ladungen	350
β) Kriegsgeschichtliche Beispiele	357
Sprengung der Tunnel von Nanteuil sur Marne und Bonnières-Rolleboise.	
5. Die Sprengung von Eisen und Eisenkonstruktionen	359
a) Allgemeine Grundsätze	359
b) Ladungsberechnung (österreichische und deutsche Ladeformeln)	362
c) Anordnung der Ladungen	367
d) Beispiele von Eisensprengungen	370
e) Kriegsgeschichtliche Beispiele	376
Sprengung der Eisenbahnbrücke über den Ssjaohc. (21. II. 1905.)	
f) Sprengung von Bahnanlagen	378
Offene Geleise, Weichen, Kreuzungen, Wasserbehälter, Lokomotiven, Drehscheiben, Schiebebühnen.	
g) Sprengung von diversen Objekten (Geschützrohre, eiserne Gitter, Drahthindernisse)	380
6. Die Zerstörung von Holz und Holzkonstruktionen	381
a) Sprengung mit frei angelegten Ladungen	382
Österreichische und deutsche Ladeformel; Studien von Hauptmann Wachtel.	
b) Sprengungen mit Bohrladungen	386
Deutsche und österreichische Vorschriften.	
c) Beispiele von Holzsprengungen	388
d) Zerstörung hölzerner Brücken mit kriegsgeschichtlichen Beispielen	391
α) Zerstörung durch Abwerfen	391
Narewbrücke bei Ostrolenka (1831). Saalebrücken bei Kissingen (1866).	
β) Zerstörung durch Abtragen	392
γ) Zerstörung durch Feuer	393
Beresinabrücken, 29. XI. 1812; Boberbrücken bei Bunzlau, 26. VIII. 1813.	
δ) Zerstörung durch anstoßende Fahrzeuge oder schwimmende Minen	395
Donaubrücken bei der Insel Lobau, 21. bis 22. V. 1809.	
ε) Zerstörung durch Sprengen der Jöche oder Bogen	396
e) Sprengen von Toren und Verhauen	401
Schlußwort	402
Anhang	405
Namen- und Sachregister	409

Quellenverzeichnis.

1. Werke über Explosivstoffe und Zündmittel, sowie deren Prüfung und Anwendung.

- Oscar Guttman, *Die Industrie der Explosivstoffe, Schieß- und Sprengmittel*. Braunschweig 1895. F. Vieweg & Sohn.
- — *Handbuch der Sprengarbeit*. Braunschweig 1892. F. Vieweg & Sohn.
- — *Zwanzig Jahre Fortschritte in Explosivstoffen*. (Vier Vorträge, gehalten in der Royal Society of Arts in London, November—Dezember 1908.) Berlin 1909. Verlag von Julius Springer.
- Dr. Richard Escales, *Das Schwarxpulver und ähnliche Mischungen*. Kommissionsverlag von Gustav Fock, G. m. b. H. Leipzig 1904.
- — *Die Schießbaumwolle (Nitrozellulosen)*. Leipzig 1905. Verlag von Veit & Comp.
- — *Nitroglyzerin und Dynamit*. Leipzig 1908. Verlag von Veit & Comp.
- — *Ammonsalpetersprengstoffe*. Leipzig 1909. Verlag von Veit & Comp.
- — *Chloratsprengstoffe*. Leipzig 1910. Verlag von Veit & Comp.
- Dr. E. Kedesdy, *Die Sprengstoffe*. Hannover 1909. Dr. Max Jänecke.
- Dr. H. Brunswig, *Die Explosivstoffe*. (Einführung in die Chemie der explosiven Vorgänge.) Leipzig 1907. G. J. Göschensche Verlagshandlung.
- — *Explosivstoffe*. Leipzig 1909. Verlag von Johann Ambrosius Barth.
- J. Rudeloff, *Trinol und Triplastit als neueste Füllung für Granaten sowie für Minen und Torpedos*. J. Rudeloff, Direktor der Sprengstoffwerke von A. u. W. Allendorf, Schönebeck a. d. Elbe.
- Bruno Zschokke, *Die Industrie der Explosivstoffe in der Schweiz*. (Bericht, erstattet an die Sektion III B des VI. Int. Kongresses für angewandte Chemie, Rom 1906.) Atti del VI Congresso Internazionale di Chimica applicata; Secondo Volume. Roma 1907.
- F. Heise, Prof. an der kgl. Bergakademie, Berlin, *Sprengstoffe und Zündung der Sprengschüsse mit besonderer Berücksichtigung der Schlagwetter- und Kohlenstaubgefahr auf Steinkohlengruben*. Berlin 1904. Verlag von Julius Springer.
- Bruno Zschokke, *Sprengmittel und Sprengarbeit beim Bau des Simplontunnels*. Zürich 1905. Verlag von E. Speidel.
- Paul F. Chalon, ingénieur conseil des mines, *Les explosifs modernes* (Troisième édition). Paris 1911. Librairie polytechnique Ch. Béranger, éditeur, 15 rue des Saints-Pères.
-

- Prof. Raoul Pictet, *Zur mechanischen Theorie der Explosivstoffe*. Weimar 1902. Verlag von Carl Steinert.
- C. E. Bichel, *Untersuchungsmethoden für Sprengstoffe*. Berlin 1905. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.
- — — *Sprengwirkungen*. Sonderabdruck aus Nr. 15, 1905 der Zeitschrift „Glückauf“. Essen (Ruhr).
- Dr. Bernhard Pleus, *Abels Untersuchungen über Schießbaumwolle* (1. Abtheilung). Berlin 1907. Verlag von R. Friedländer & Sohn.
- Dr. H. Kast, *Anleitung zur chemischen und physikalischen Untersuchung der Spreng- und Zündstoffe*. Braunschweig 1909. Druck und Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn.
- Bruno Zschokke, *Spreng- und Sensibilitätsversuche mit den in der Schweiz gebräuchlichen Sprengstoffen*. (Sonderabdruck aus der „Schweizerischen Zeitschrift für Artillerie und Genie“.) Frauenfeld 1911. Verlag von Huber & Comp.
-
- A. v. Renesse, Hauptmann, *Die elektrische Minenzündung*. Ein Hilfsbuch für Militär- und Ziviltechniker. Berlin N. W. 1891. Verlag von Carl Duncker.
- Dr. Friedrich Wächter, *Die Anwendung der Elektrizität für militärische Zwecke*. 2. Auflage. Wien und Leipzig 1904. A. Hartlebens Verlag.

2. Amtliche militärische Erlasse und Reglemente.

- Minieren*. Sonderabdruck des VIII. Abschnittes aus dem Handbuch für den allgemeinen Pionierdienst. Berlin 1891. A. Bath.
- Sprengvorschrift* (Sp.-V.) Berlin 1903. Verlag von A. Bath, W. 8, Mohrenstraße 19.
- (Sp.-V.) Berlin 1911. Verlag von A. Bath, W. 8, Mohrenstraße 19.
- Kavallerie-Pioniervorschrift* (K.-P.-V.) vom 24. Oktober 1907. Berlin 1907. Ernst Siegfried Mittler & Sohn, königl. Hofbuchhandl. Kochstraße 68—71.
-

- Ecole de mines* (Approbation ministérielle du 6 août 1874). Paris 1879.
- Ecole de mines* (Approbation ministérielle du 16 juillet 1901). Paris 1902.
- Règlement du 16 avril 1898 concernant les soins et précautions à prendre pour la conservation des poudres, munitions artificiels et explosifs*. Paris. Henri Charles-Lavauzelle, 10 rue Danton, Boulevard Saint Germain 118.
- Règlement du 16 février 1900 sur l'instruction des régiments de sapeurs-mineurs*. Paris. Henri Charles-Lavauzelle, éditeur militaire, 10 rue Danton, Boulevard Saint Germain 118.
- Règlement sur l'instruction des troupes de chemins de fer* (3 janvier 1902). Paris. Henri Charles-Lavauzelle, éditeur militaire, 10 rue Danton, Boulevard Saint Germain 118.
- Instruction pratique provisoire sur le service du génie dans la guerre de siège*. (Approuvée par le ministre de la guerre le 11 avril 1906. Paris. Henri Charles-Lavauzelle, éditeur militaire, 10 rue Danton, Boulevard Saint Germain 118.
- Instruction sur l'emploi des grenades à main dans les corps de troupe d'infanterie, d'artillerie et du génie*. (Approuvé par décision ministérielle du 10 avril 1908.) Paris. Henri Charles-Lavauzelle, 10 rue Danton, Boulevard Saint Germain 118.

Instruction générale du 4 février 1899 sur la guerre de siège (1^{er} tirage).
Paris 1909.

Vorschrift über die Deponierung, Konservierung, den Umsatz und Transport der Spreng- und Zündmittel des k. u. k. Heeres. Wien 1903. Aus der kaiserl. königl. Hof- und Staatsdruckerei.

Technischer Unterricht für die k. u. k. Pioniertruppe, 7. Teil: Feldmäßige Zerstörung von Brücken und Viadukten. Wien 1898. Aus der kaiserl. königl. Hof- und Staatsdruckerei.

Technischer Unterricht für die k. u. k. Pioniertruppe, 13. Teil. Anhang. 6. Hauptstück; Anhang zum 6. Teil „Sprengarbeiten“. Wien 1899. Aus der kaiserl. königl. Hof- und Staatsdruckerei.

Technischer Unterricht für die k. u. k. Eisenbahntruppe, 6. Teil: „Sprengarbeiten“. Wien 1900. Aus der kaiserl. königl. Hof- und Staatsdruckerei.

Technischer Unterricht für die k. u. k. Eisenbahntruppe, 7. Teil: „Feldmäßige Zerstörung von Brücken und Viadukten“. Wien 1900. Aus der kaiserl. königl. Hof- und Staatsdruckerei.

Technischer Unterricht für die Pionierzüge und Eskadronspioniere der k. u. k. Kavallerie. Wien 1900. Aus der kaiserl. königl. Hof- und Staatsdruckerei.

Technischer Unterricht für die k. u. k. Pioniertruppe, 5. Teil B: „Festungskrieg“ (Arbeiten der Pioniertruppe). Aus der kaiserl. königl. Hof- und Staatsdruckerei.

Ergänzungsheft zum technischen Unterricht für die k. u. k. Pioniertruppe, 6. Teil: „Sprengarbeiten“. Beschreibung und Verwendung der Knallzündschnur M 03. Wien 1906. Aus der kaiserl. königl. Hof- und Staatsdruckerei.

V. Burnier, Oberst und E. Guillemin, Oberstleutnant des Genie, *Handbuch für elektrische Minenzündung.* (Vom Schweiz. Militärdepartement probeweise genehmigt am 16. März 1886.) Bern 1888.

Anleitung zum Fachdienst der Sapeurs; Unteroffizierschule. (Vom Schweiz. Bundesrat genehmigt den 31. März 1882.) Brugg 1882.

Anleitung für die Sprengarbeiten der Genietruppen. (Vom Schweiz. Militärdepartement provisorisch genehmigt den 4. Mai 1888.) Bern 1888.

Schweizerische Armee. Sprengarbeiten der Genietruppen. (Entwurf.) *Allgemeine Instruktionen für die Zerstörung von Kunstbauten auf Eisenbahnen und Straßen.* Bern 1910.

3. Sonstige militärische Werke.

de Vauban, *Mémoire pour servir d'instruction dans la conduite des sièges.* 1669.

— *De l'attaque et de la défense des places.* La Haye 1737.

Geuss, *Ausführliche Abhandlung der Mineurkunst.* Kopenhagen 1776.

Gumpertz et Lebrun, *Traité théorique et pratique des mines.* Paris 1805.

J.-E. Lagrange, colonel du génie, ancien prof. de fortification à l'Ecole militaire à Bruxelles, *Essai historique sur les mines militaires anciennes et modernes.* Bruxelles 1866. Imprimerie militaire de Th. Lesigne; rue de la Charité 19.

Eduard Rziha, Hauptmann im k. k. Geniestab, *Die Theorie der Minen, basiert auf die Wellenbewegung in konzentrischen Kugelschichten.* Lemberg 1866. Im Selbstverlag des Verfassers.

- E. N. Bralion, lieut.-col. du génie, „*Mines et canons*“; *théorie des effets de la poudre*. Bruxelles et Leipzig 1873. C. Marquardt, éditeur.
- A.-B. Ver Eecke, capitaine commandant du génie belge. *Les effets extérieurs des fourneaux à charge concentrée dans les terres, d'après les formules réglementaires*. Sonderabdruck aus der Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen 1908. München, J. F. Lehmanns Verlag. Paul Heysestraße 15a.
- Général Niel, *Siège de Sébastopol*. Paris 1858. Dumaine librairie.
- Frolow, Ingenieuroberst, *Der Minenkrieg vor Sebastopol* (unter Leitung des Generalleutnants Ed. v. Todleben). Petersburg 1869. Tiblin & Comp.
- F. Taillade, capit. du génie, *Sébastopol, guerre de mines*. Conférence faite au 6^e régiment du génie. Berger-Levrault & Cie., éditeurs; Paris, 5 rue des Beaux-Arts. 1906.
- Adolf Kutzl nigg, k. u. k. Hauptmann im Geniestab, *Über den Minenkrieg und dessen Zukunft*. L. W. Seidel & Sohn, Wien I, Graben 13. 1899.
- W. Stavenhagen, *Grundriß des Festungskriegs für Offiziere aller Waffen*. Sondershausen 1901. Verlag der Hofbuchdruckerei von Fr. Aug. Eupel.
- Moriz Ritter von Brunner, k. u. k. Hauptmann im Geniestab. *Die beständige Befestigung* (6. Auflage). Wien 1901. Verlag von L. W. Seidel & Sohn, k. u. k. Hofbuchhändler.
- — *Der Festungskrieg* (9. Auflage). Wien 1906. Verlag von L. W. Seidel & Sohn, k. u. k. Hofbuchhändler.
- Scharr, Major m. d. U. des Generalstabes und Militärlehrer an der Kriegsakademie, *Der Festungskrieg und die Pioniertruppe*. Berlin 1905. Ernst Siegfried Mittler & Sohn, königl. Hofbuchhandlung, Kochstraße 68—71.
- Großer Generalstab, *Kriegsgeschichtliche Einzelschriften*, Heft XXVI; Bigge: „Der Kampf um Candia in den Jahren 1667—1669“. Berlin. Verlag von Ernst Siegfried Mittler & Sohn, Kochstraße 68—71.
- — *Kriegsgeschichtliche Einzelschriften*, Heft XXXVII/XXXVIII; „Aus dem russisch-japanischen Krieg 1904/05“: Port Arthur. Berlin. Verlag von Ernst Siegfried Mittler & Sohn, Kochstraße 68—71.
- W. Kranz, Hauptmann in der 1. Ingenieurinspektion, *Beitrag zum Studium des Nahangriffs auf Port Arthur* (Die Nordfront). Beiheft zum Militär-Wochenblatt 1909. 6. Heft. Berlin 1909. Ernst Siegfried Mittler & Sohn, königl. Hofbuchhandlung, Kochstraße 68—71.
- B. W. Nørregaard, Hauptmann a. D. der norwegischen Artillerie, *Die Belagerung von Port Arthur*. Autorisierte, vom Verfasser durchgesehene Übersetzung von Walter Schmidt, Premierleutnant a. D. Leipzig 1906. Verlagsbuchhandlung Dietrich.
- v. Schwarz, kaiserl. russischer Oberstleutnant und Romanowski, kaiserl. russischer Generalstabsoberstleutnant, *Die Verteidigung von Port Arthur, II. Band: Der Festungskrieg*. Einzig autorisierte deutsche Ausgabe von Oberleutnant d. L. Ullrich. Verlag von Karl Siegismund. Berlin S.W. 11, Dessauerstraße 13. 1910.
- Fritz Gertsch, Oberst, Instruktor der schweiz. Infanterie, *Vom russisch-japanischen Kriege 1904/05*. Teil I u. II. Bern 1907 und 1910. Verlag von Ch. Künzli-Locher.
-
- E. Hennebert, lieut.-col. du génie, *Torpilles sèches*. Paris. Gauthier-Villars et fils, imprimeurs-éditeurs, Quai des Grands-Augustins 55.
- Dr. A. Villaret, Generalarzt und Inspektor der 2. Sanitätsinspektion. *Die Handgranate*. Stuttgart 1908. Verlag von Ferdinand Enke.

- N. W. Aasen, *Die Granaten N. W. Aasen*. (Sonderabdruck aus der „Kriegstechnischen Zeitschrift“), Heft 9, 1910. Berlin 1910. Königl. Hofbuchdruckerei von E. S. Mittler & Sohn, Kochstraße 68—71.
-
- A. Goetze, Hauptmann im Ingenieurkorps, *Die Tätigkeit der deutschen Ingenieure und technischen Truppen im deutsch-französischen Kriege 1870/71*. Berlin 1872. Ernst Siegfried Mittler & Sohn.
- Großer Generalstab, *Kriegsgeschichtliche Einzelschriften, Heft II: Der Überfall bei Fontenoy sur Moselle am 22. Januar 1871*. Berlin 1888. Königl. Hofbuchdruckerei von E. S. Mittler & Sohn, Kochstraße 68—71.
- F. Jacquin, ingénieur en chef des Ponts-et-Chaussées, *Les chemins de fer pendant la guerre de 1870/71*. Paris 1872. Librairie Hachette et Cie, Boulevard Saint Germain 79.
- E. Rambaux, *Le pont de Fontenoy*. Paris 1873.
- Adamistre, *Campagne de 1870/71. Le pont de Fontenoy*. Paris 1890.
- Saint Etienne, *Les chasseurs des Vosges et le pont de Fontenoy*. Paris 1906, chez Gouzy, Quai Conti 5.
- Cardinal v. Widdern, Oberstleutnant, *Das Gefecht an Flußübergängen und der Kampf an Flußlinien*. 2 Bände. Berlin 1890. Verlag v. E. Eisenschmidt.
- Scharr, Major und Militärlehrer an der Kriegsakademie, *Die Technik im Dienste der operativen Tätigkeit einer Kavalleriedivision*. Berlin 1904. Verlag von A. Bath, Mohrenstraße 19.
- *Brückenzerstörungen im Rückzugsecht einst und jetzt*. (Zweite erweiterte Auflage.) Berlin 1905. E. S. Mittler & Sohn, königl. Hofbuchhandlung, Kochstraße 68—71.

4. Zeitschriften.

Auf die betreffenden Aufsätze ist im Text einzeln verwiesen.

- Mitteilungen des Ingenieurkomitees*. Berlin W. Verlag von A. Bath, Mohrenstraße 19.
- Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*. Kommissionsverlag Julius Springer, Berlin N., Monthijouplatz 3.
- „Glückauf“, Berg- und hüttenmännische Zeitschrift. Essen (Ruhr).
- Kriegstechnische Zeitschrift für Offiziere aller Waffen*. Berlin. E. S. Mittler & Sohn, Kochstraße 68—71.
- Jahrbücher für die deutsche Armee und Marine*. Berlin W.S. Verlag von A. Bath, Mohrenstraße 19.
- Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen* (1906—1911). München, Winthirstraße 36.
- Militärwochenblatt*. Berlin. Ernst Siegfried Mittler & Sohn, Kochstraße 68—71.

-
- Mémorial de l'officier du génie*. Paris, Gauthier-Villars. Paris, Quai des Grands-Augustins 55.
- Revue du génie militaire* (1887—1911). Paris, Rue de Bellechasse 39.
- Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*. Paris. Gauthier-Villars, imprimeur-libraire, Quai des Grands-Augustins 55.
- L'Illustration, journal universel hebdomadaire*. Paris, 13—15 rue Saint-Georges.
-

Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie- und Geniewesens, herausgegeben vom k. u. k. technischen Militärkomitee. Wien VI, Getreidemarkt 9.
Streffleurs militärische Zeitschrift. Wien I. Verlag von L. W. Seidel & Sohn, Graben 13.

Revue de l'armée belge. Liège, 24 rue des Guillemins.

Schweizerische Zeitschrift für Artillerie und Genie. Frauenfeld. Verlag von Huber & Comp.
Schweizerische Monatsschrift für Offiziere aller Waffen. Frauenfeld. Verlag von Huber & Comp.
Allgemeine Schweiz. Militärzeitung. Basel. Verlag von Benno Schwabe & Comp.

Einleitung.

Die moderne Kriegsführung bedient sich bekanntlich zur Bekämpfung und Zerstörung lebender und toter Ziele einmal der blanken Waffen, dann der durch Explosivstoffe initiierten Geschosse, schließlich der Explosivstoffe allein. Zu der erst genannten Gruppe von Kriegsmitteln gehören die Säbel, Seitengewehre, Bajonette und Lanzen, zur zweiten Gruppe die Handfeuerwaffen (Gewehre, Pistolen, Revolver) und Geschütze, zur letzten schließlich die Minen.

Bei den Handfeuerwaffen benutzen wir die Kräfte der Explosivstoffe lediglich als Treibmittel, um mit der Waffe im engeren Sinn, dem Geschöß auf Entfernungen hin wirken zu können und ihm die nötige Durchschlagskraft zu erteilen; bei den Geschützen dagegen erfüllt der Explosivstoff fast immer einen zweifachen Zweck; einmal benutzen wir ihn, wie bei den Handfeuerwaffen, als treibende Kraft, andererseits übt er aber auch als Füllmaterial der Hohlgeschosse bei deren Explosion, sei es durch den Gasdruck allein, sei es durch die herumgeschleuderten Sprengstücke auch noch eine sekundäre Wirkung aus; bei den Minen endlich kommt lediglich die demolierende Wirkung der Explosionsgase, bei der unmittelbaren Berührung des Sprengstoffes mit dem zu zertrümmernden Objekt in Betracht. Die Hauptrolle im Kriege fällt wie allbekannt den Handfeuerwaffen und Geschützen zu, während der direkten Anwendung der Sprengstoffe nur eine sekundäre Bedeutung zukommt. Nichtsdestoweniger ist dieses Hilfsmittel der Kriegsführung von nicht zu unterschätzender Bedeutung und in den Armeen sämtlicher Kulturstaaten unentbehrlicher denn je geworden, da sich sein Wirkungsfeld gegenüber früher ganz wesentlich verändert und erweitert hat.

Geschichtliches.¹

Wiewohl man von einer eigentlichen militärischen Sprengtechnik erst seit der Erfindung des Schießpulvers reden kann, so berichtet uns doch schon die älteste Kriegsgeschichte von zahlreichen Beispielen von Versuchen, die man als ihre Vorläufer bezeichnen kann, Versuchen, die darauf abzielten, sei es auf maschinellem Wege, sei es mit Hilfe von Feuer in Festungsmauern Bresche zu legen. Breschierungsversuche erstgenannter Art wurden schon im frühen Altertum mit Hilfe der sogen. „Mauerbrecher“ oder „Widder“ vorgenommen; es waren dies bis 30 Meter lange, vorn mit Eisen oder Erz beschlagene schwere Balken, die unter einem Schutzdach (testudo) in horizontaler Lage an Seilen aufgehängt waren, von Menschenhand in pendelnde Bewegung gesetzt und mit Wucht gegen die zu durchbrechende Mauer gestoßen wurden. Sehr oft versuchte man auch feindliche Festungsmauern einfach zu untergraben, um sie durch das eigene Gewicht zum Einsturz zu bringen.

Unter den Breschierungsmethoden mit Feuer ist die bekannteste die mittelst des sogen. „Griechischen Feuers“, das zum erstenmal in den Jahren 660—667 durch Kallinikos aus Heliopolis bei der Verteidigung von Konstantinopel in Anwendung kam. Dieses griechische Feuer, das mehrere Jahrhunderte im Gebrauch war, bestand ursprünglich aus einer Mischung von Schwefel, Pech und verschiedenen Harzen, die gewöhnlich in hohle Steine oder mit Löchern versehene Gefäße eingeschlossen ward. Die so laborierten Geschosse wurden dann aus besonderen Wurfmaschinen, den sogen. Katapulten, in die feindlichen Festungswerke geschleudert und explodierten, hatten aber eigentlich den Zweck, beim Auftreffen auf das Zielobjekt dieses in Brand zu stecken. Streng genommen ist also das griechische Feuer, dessen genaue Zusammensetzung geheim gehalten wurde und über dessen Anwendung in den orientalischen Kriegen des Mittelalters vielfach berichtet wird, mehr als eine artilleristische Waffe zu bezeichnen. Weiterhin berichten uns verschiedene römische Geschichtsschreiber, daß Hannibal bei seinem Übergang über die Alpen im Jahre 218 v. Chr. Felsen, die sich ihm hindernd in den

¹ „Mitt. über Gegenstände des Artillerie- und Geniewesens“. 1899. — „Geschichtl. Entwicklung des Minenkrieges. S. 255.“ — „Der Minenkrieg und dessen Zukunft von Adolf Kutzelnigg, k. u. k. Hauptmann im Geniestab. S. 513. — Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen. 1906. S. 10 u. 27. — „Die Sprengtechnik im Kriege der Zukunft“ von Bruno Zschokke, Oberleut. im schweiz. Geniekörps und Dozent an der militärwissenschaftl. Abteil. des Eidg. Polytechnikums.

Weg stellten, durch gewaltige Holzfeuer glühend machen und hierauf mit Essig übergießen ließ, um sie mürbe zu machen und hernach durch mechanische Mittel zu zerkleinern, ein Arbeitsverfahren, das die heute beim Wegebau übliche Sprengarbeit ersetzen mußte.

Der Zeitpunkt der ersten Verwendung von Minen unter Zuhilfenahme von Schießpulver ist mit Sicherheit nicht genau anzugeben, da es schon unmöglich ist, den Zeitpunkt für die Erfindung des Schießpulvers auch nur annähernd genau festzustellen. Lange Jahre hindurch wurde im Abendlande der Mönch Berthold Schwarz aus Freiburg im Breisgau als der Erfinder des Schwarzpulvers bezeichnet (etwa ums Jahr 1310); doch ist es nachgewiesen, daß pulverähnliche Mischungen bereits viel früher den Türken bekannt waren. Es ist auch kaum anzunehmen, daß die Herstellung von pulverähnlichen Mischungen zuerst in Deutschland oder dem Abendland überhaupt erfolgt ist, da in jenen Zeiten die Araber und Sarazenen den westeuropäischen Völkern in Kriegskunst sowohl wie chemischen Kenntnissen weit voraus waren.

Auf Grund sorgfältiger und umfassender historischer Studien ist man heute zum Schluß gelangt, daß das Schießpulver sich allmählich aus dem griechischen Feuer entwickelte und daß die Kenntnis von dessen Zubereitung, sei es durch zurückkehrende Kreuzfahrer, sei es durch den regen Handelsverkehr venetianischer oder genuesischer Kaufleute mit dem Orient nach Deutschland und England gelangte. In Europa kannte es wahrscheinlich schon Roger Bacon im Jahre 1264.¹ Dagegen scheint es erwiesen, daß Berthold Schwarz etwa im Jahr 1313 zuerst die treibende Kraft des Schießpulvers zur Konstruktion von Schußwaffen benutzte, deren erste Anwendung in der Schlacht von Cressy zwischen den Engländern und Franzosen (26. August 1346) mit Sicherheit geschichtlich nachgewiesen ist.

Die ersten, welche Pulver zu militärischen Sprengungen benutzten, waren die Türken. Schon Napoleon III. weist in seiner Geschichte der Artillerie darauf hin, daß Paolo Santiori, der vor der Eroberung von Konstantinopel lebte, die Kriegsführung mit Minen sowie Fels- und Mauerwerksprengungen beschreibt.

Zu Beginn seiner Verwendung im Kriege, namentlich bei der Belagerung und Verteidigung fester Plätze, spielte das Pulver eine wesentlich wichtigere Rolle als Sprengmittel beim Minenkrieg, als bei der Artillerie, die dazumal noch sehr geringe Leistungen aufwies.

¹ „Zwanzig Jahre Fortschritte in Explosivstoffen“ von Oskar Guttman in London. Berlin 1909. Verlag von Julius Springer.

Die ersten Geschütze waren nur von kleinem Kaliber, das Pulver mangelhaft zusammengesetzt, und die Wirkung der dazumal üblichen Blei- und Steinkugeln gegen das sehr massive Mauerwerk der mittelalterlichen Stadtmauern und Schlösser nur eine geringe. So konnte man mit ihnen nicht immer die beabsichtigte Wirkung, d. h. eine Breschierung erzielen, sondern sah sich genötigt, die Sprengkraft des Pulvers auf eine rationellere Art, d. h. durch direkte Berührung mit dem zu zerstörenden Gegenstand auszunutzen.

Alte Chroniken melden, daß die Engländer den Minenkrieg zuerst im Jahre 1415 bei der Belagerung von Harfleur anwendeten, wo auch der Gegner bereits mit Gegenminen operierte.

Im großen Maßstab fand der Minenkrieg sodann Anwendung bei der Belagerung von Wien durch die Türken im Jahre 1529, wo die hauptsächlichsten Breschierungen in der Stadtumwallung durch Minen und nicht durch Artillerie erzeugt wurden. Im Abendlande war es Pedro Navarro, später Großadmiral von Spanien, der, wie historisch verbürgt ist, zuerst bei der Belagerung von Serezanello (1487) Minen anwandte. In den niederländischen Befreiungskriegen (1569—1608), in den französischen Religionskriegen und im Dreißigjährigen Krieg (1618—1648) wurde der Minenkrieg vielfach angewendet, ohne aber wesentliche Fortschritte in seiner technischen Ausbildung zu machen. Einen bedeutenden Aufschwung, namentlich auf theoretischer Basis, nahm das Minenwesen erst während der langjährigen Kriege zwischen Frankreich unter Ludwig XIV. einerseits und den Niederlanden und dem Deutschen Reiche andererseits. Dieser Aufschwung steht im innigen Zusammenhang mit der Vervollkommnung des Festungswesens und des Festungskriegs jener Zeiten unter der genialen Leitung des Franzosen Vauban und seines Gegners und Nebenbuhlers des Niederländers Coehorn. Die erste Grundlage zu einer planmäßigen Verwendung der Sprengstoffe bei Minen und damit zu einer ersten sogen. Minentheorie legte aber erst der Franzose Bélidor, der Nachfolger Vaubans, dessen Theorien für die spätere Entwicklung des Minenbaus lange Zeit wegleitend waren.

Die napoleonischen Kriege sind verhältnismäßig arm an typischen Beispielen für den Minenkrieg, was sich hauptsächlich daraus erklärt, daß in dieser Periode der Kriegsgeschichte verhältnismäßig nur wenig Belagerungen großen Stils vorkamen, sondern die Entscheidung vielmehr in den großen Feldschlachten gesucht wurde. Dagegen hatte der Minenkrieg im russisch-türkischen Kriege von 1828—29 bedeutende Erfolge aufzuweisen. Die Festungen Braila und Silistria wurden durch Minenangriff

genommen. Ein großartiges, ja wohl das großartigste Beispiel des Minenkriegs in neuerer Zeit bietet aber die Belagerung von Sebastopol 1854—55, bei welcher die Schlußentscheidung allerdings nicht durch diesen, sondern an anderer Stelle durch einen von der Artillerie gut vorbereiteten Sturmangriff herbeigeführt wurde.

Seit jener denkwürdigen Belagerung ist der Minenkrieg bis in die allerneueste Zeit hinein wenig mehr angewendet worden. Im dänischen Krieg von 1864 (Düppeler Schanzen) wie auch im deutsch-französischen Krieg von 1870—71, in welchem doch zahlreiche französische Festungen von den deutschen Truppen belagert wurden, finden wir merkwürdigerweise gar kein Beispiel; aus dem letzten russisch-türkischen Krieg von 1877—78 ist nur ein Beispiel des Minenkriegs bekannt geworden, nämlich der von den Rumänen bei der Belagerung von Plewna gegen die Grivitzaredoute begonnene aber nicht durchgeführte Minenangriff. Auch während der von 1878—1904 andauernden langen Friedensperiode hörte man wenig von Bestrebungen, den Übungen im Minenkrieg vermehrte Beachtung zu schenken. Diese Erscheinung ist um so auffälliger, als doch keine Epoche der Geschichte so viele Neuerungen und Verbesserungen auf militär-technischem Gebiet aufzuweisen hat als gerade die letzten Dezennien; insbesondere sind ja auf dem Gebiet der Sprengtechnik durch die Erfindung der brisanten Sprengstoffe, der elektrischen Minezündung und zahlreicher Systeme von Bohrmaschinen außerordentliche Fortschritte erzielt worden. Andererseits wird aber genannte etwas befremdliche Erscheinung wiederum erklärlich durch die gleichzeitig im Artilleriewesen erzielten gewaltigen Fortschritte. Durch die bedeutend gesteigerte Tragweite und Treffsicherheit der Geschütze, durch die namhafte Vergrößerung des Kalibers, die Adaptionierung der verlängerten Geschosse mit vermehrter Sprengladung, durch die Einführung ferner der Steilfeuergeschütze und schließlich der Brisanzgeschosse mit ihrer minenartigen Wirkung ist der Artillerie in den letzten Dezennien im Festungskrieg eine übermächtige Rolle zuteil geworden, wie sie dieselbe früher nie besessen. Vielfach war man daher noch bis in die neueste Zeit der Meinung, daß sie allein schon instande sei, eine feindliche befestigte Stellung niederzukämpfen oder wenigstens zum Sturm durch Infanterie hinlänglich vorzubereiten, während es eben früher zu einem großen Teil Aufgabe der Mineure war, sich unterirdisch bis an den feindlichen Festungsgraben heranzuarbeiten und durch Einwerfen und Breschieren der Kontereskarpe und Eskarpe der angreifenden Infanterie den Weg ins Innere der feindlichen Stellung zu öffnen. Zahlreiche Beispiele aus dem deutsch-französischen Kriege sprachen

in der Tat für die Richtigkeit dieser allgemein vorherrschenden Anschauung über die Rolle der Artillerie im Festungskriege; doch darf man nicht übersehen, daß weitaus die meisten französischen Festungen im Jahre 1870 ihrer Bauart nach sehr rückständig und den Fortschritten der Artillerie nicht zeitlich genug gefolgt waren, so daß zwischen den fortifikatorischen Mitteln des Verteidigers und den artilleristischen Mitteln des Angreifers ein gewisses Mißverhältnis bestand, das zu Gunsten der angreifenden Artillerie ausfiel. Heute aber haben die modernen Festungen durch ihre eigenartigen Konstruktionen, namentlich durch die Panzerungen und starken Betonabdeckungen eine solche Widerstandsfähigkeit erlangt, daß berechtigte Zweifel darüber bestehen, ob sie durch die Artillerie allein niedergekämpft werden können, und es ist bemerkenswert, daß eine Reihe der hervorragendsten Genieoffiziere der neuern Zeit, wie Brialmont(†), Ritter von Brunner (†), Deguise und andere neuerdings auf die Wichtigkeit des Minenkriegs bei zukünftigen Kämpfen um befestigte Stellungen hingewiesen haben. Diese Ansichten werden auch durch die neuesten Ereignisse auf dem Gebiete des Belagerungskriegs vollauf bestätigt; denn bekanntlich ist die Kapitulation von Port Arthur am 1. Januar 1905 unmittelbar dadurch herbeigeführt worden, daß drei der wichtigsten Außenforts nach vergeblicher Beschießung durch die Belagerungsartillerie mittelst eines durch Minenangriff vorbereiteten Sturmangriffs von Seite der Japaner erobert wurden.

Wenn also der eigentliche Minenkrieg, abgesehen von den Ereignissen von Port Arthur, in den letzten Jahrzehnten eher einen Rückschritt oder wenigstens einen Stillstand zu verzeichnen hatte, so hat dafür die militärische Sprengtechnik in anderer Richtung ein bedeutendes Wirkungsfeld gefunden. Durch die ungeahnte Entwicklung des Verkehrs im 19. Jahrhundert, zufolge der starken Entwicklung des Straßennetzes, dann aber namentlich durch die Einführung der Eisenbahnen und Telegraphen, wurde auch die Kriegsführung in hohem Grad beeinflußt. Ist einerseits der ungestörte Besitz der wichtigsten Kommunikationslinien im Offensivkrieg für jede Armeeleitung mit Rücksicht auf den gesicherten Transport, und besonders den Nachschub von lebendem und totem Kriegsmaterial mehr denn je von größter Bedeutung, so ist es im Fall eines Rückzugs von ebenso großer Wichtigkeit, diese Linien dem Feind nicht in intaktem Zustand zu überlassen. Stets wird es also bei Ausbruch eines Krieges erste Aufgabe einer umsichtigen Heeresleitung sein, die wichtigsten Punkte der im Grenz-

bereich liegenden Kommunikationslinien wie Brücken, Tunneln, Viadukte, Durchlässe, Geleiseanlagen, Engpässe u. dgl. zur Zerstörung vorzubereiten, um im Falle eines Rückzugs ins Landesinnere die Verfolgung durch den Gegner soviel als möglich aufzuhalten. Man weiß, wie die Franzosen zu Anfang des Krieges von 1870 in völliger Verkennung der Situation sich gegen diese elementare Maßregel schwer versündigt und dadurch den Einbruch der deutschen Truppen durch die Vogesen wesentlich erleichtert haben, während andererseits die Deutschen, vielleicht nur zu voreilig, am 22. Juli 1870 die Rheinbrücke bei Kehl sprengten, um einem, übrigens nicht beabsichtigten, französischen Einbruch von Straßburg her rechtzeitig vorzubeugen. Zu den kühnsten und schwierigsten Arbeiten der Genietruppen auf diesem Gebiet gehört es, bereits in Feindeshand gefallene Kommunikationslinien im Rücken der feindlichen Armee durch Handstreich nachträglich zu zerstören. Zu den typischen Beispielen dieser Art gehört die von einem französischen Freikorps am 22. Januar 1871 im Rücken der deutschen Armee ausgeführte Sprengung der Eisenbahnbrücke von Fontenoy sur Moselle. Zwischen Toul und Nancy auf einer der wichtigsten, damals in deutschen Händen befindlichen Eisenbahnlinie gelegen, wurde durch deren Zerstörung der Nachschub von Truppen und Belagerungsmaterial an die vor Paris liegenden deutschen Armeen während mehrerer Wochen in empfindlicher Weise gestört.

Zahlreiche Beispiele derartiger Sprengarbeiten bot in neuester Zeit der Burenkrieg, in welchem es den Buren unter erstaunlicher Kühnheit nicht nur in vielen Fällen gelang, in Feindesgewalt geratene Eisenbahnlinien zu zerstören, sondern gleichzeitig auch die darauf zirkulierenden Züge mit in die Luft zu sprengen.

Solche Unternehmungen sind allerdings nur auf einem so ausgedehnten, wenig kultivierten und dünnbevölkerten Kriegstheater, wie dem südafrikanischen Feld möglich, wo es den Engländern mangels Truppen oft nicht möglich war, ihre so ausgedehnten Kommunikationslinien in genügender Weise zu sichern.

Eine weitere moderne Anwendung der Sprengmittel ist die zu Torpedos und Handgranaten, von denen erstere dazu bestimmt sind, durch ihre Explosion nicht nur totes Material zu demolieren, sondern den Angreifer selbst zu vernichten, also auch als Waffe zu wirken, während die letzteren ausschließlich diesen Zweck verfolgen. Ihre erste Anwendung fanden die Torpedos im Seekrieg und haben diesen durch die große Entwicklung, welche

die Torpedotechnik in den letzten 4 Dezennien erfahren, zum Teil völlig umgestaltet. Dort spielen die unterseeischen Minen nicht mehr bloß eine defensive Rolle, sondern dienen in Verbindung mit den Torpedobooten zur Breschierung feindlicher Schiffe. Sie wirken in dem Fall sowohl als Waffe wie als Zerstörungsmittel und spielen heute im Seekrieg ungefähr die nämliche Rolle wie früher die eigentlichen Minen beim Angriff und der Verteidigung fester Plätze.

Es kann selbstverständlich nicht Aufgabe des vorliegenden Handbuches sein, auch die marine Sprengtechnik zu besprechen, sondern es sollen nur die analogen Bestrebungen im Landkrieg etwas näher verfolgt werden. Als den ältesten Typ von Landtorpedos kann man die schon seit langem bekannten und auch jetzt noch gebräuchlichen Steinminen bezeichnen, die als Annäherungshindernis vor Schanzwerken, in Defilées usw. angelegt, den stürmenden Angreifer mit einem Steinhagel überschütten, in Verwirrung bringen und niederwerfen sollen. Über die tatsächlichen Erfolge, die mit dieser Verteidigungswaffe erzielt worden sind, ist wenig Zuverlässiges bekannt geworden. Wahrscheinlich ist ihre Wirkung eine mehr moralische, denn eine dezimierende. In neuerer Zeit begegnen wir daher mehrfachen Bestrebungen, das Landtorpedowesen den Anforderungen der Neuzeit entsprechend umzugestalten. Doch haben diese Versuche bis jetzt weniger eine neuartige Gestaltung und erhöhte Wirkungsweise der Sprengladungen, als vielmehr einige neue Zündmethoden zutage gefördert, wie wir solche später bei Besprechung der Zubovitzschen und Pfund-Schmidtschen Landtorpedos kennen lernen werden.

Aus vorstehender historischer und technischer Übersicht geht hervor, daß das militärische Sprengwesen sowohl in seinen technischen Hilfsmitteln, wie in seiner Anwendung in die mannigfachsten Gebiete einschlägt. Zum Zweck einer logischen Entwicklung und möglichst übersichtlichen Darstellung des ganzen weitverzweigten Stoffes ist dafür die nachstehende Gliederung gewählt worden:

- I. **Die Kenntnis der Sprengstoffe.** Geschichte, Herstellung, Eigenschaften, Wirkungsweise, Prüfungsmethoden und Behandlung der wichtigsten Sprengstoffe.
- II. **Zündmittel und Apparate.** Pyrotechnische, elektrische und mechanische Minenzündung, Zündleitungsanlagen.
- III. **Die Anwendung der Sprengstoffe.**
 - A. Die Theorie der Minentechnik. Oberirdische und unterirdische Minenwirkungen.

- B. Der Minenkrieg beim Angriff und der Verteidigung fester Plätze. Einleitung, taktische und technische Durchführung des Minenkriegs; die Technik des Minenbaus; kriegsgeschichtliche Beispiele (Sebastopol, Port Arthur).
- C. Die Verwendung der Sprengstoffe als Waffe. Flatterminen, Bohrminen, Stein- und Wasserminen, Landtorpedos, Rollbomben, Handgranaten.
- D. Die Demolitionsminen. Anwendung der Sprengstoffe zur Zerstörung toter, natürlicher oder künstlicher Objekte; Sprengungen in Erde und Fels; Zerstörung von Mauerwerk, Holz- und Eisenkonstruktionen; kriegsgeschichtliche Beispiele.

I. Die Kenntnis der Sprengstoffe.

Zur Durchführung einer jeden Sprengung bedürfen wir eines geeigneten Spreng- oder Explosivstoffes, der die nötige Kraft zur Zertrümmerung des zu sprengenden Gegenstandes liefert. Diese Kraft wird durch den Druck von Gasen erzeugt, welche bei der Zersetzung des Sprengstoffs sich bilden. Hervorgerufen wird diese Zersetzung durch äußere mechanische oder chemische Einflüsse.

Demzufolge versteht man unter einem Explosiv- oder Sprengstoff eine Substanz, welche die Eigenschaft besitzt, unter der Einwirkung mechanischer oder chemischer Einflüsse plötzlich große Gasmengen zu entwickeln und durch deren Druck eine bestimmte mechanische Arbeit auszuüben.

Ein Moment, welches die Wirkung der entstandenen Explosionsgase in hohem Grade beeinflusst, ist die bei der Explosion auftretende Wärme. Je größer diese Wärmeentwicklung ist, um so größer die Spannung der Explosionsgase. Es ist ferner von großer Wichtigkeit zu wissen, in welchem Zeitraum sich bei der Explosion die Umsetzung des Sprengstoffs in seine gasförmigen Zersetzungsprodukte abspielt, mit andern Worten, ob seine Detonationsgeschwindigkeit eine langsame oder sehr große ist. Im erstern Fall spricht man von trägen oder langsam wirkenden, im letztern Fall von plötzlich wirkenden oder brisanten Sprengstoffen. Von diesen Verhältnissen wird später noch eingehender die Rede sein.

Während man jahrhundertlang nur einen einzigen Sprengstoff kannte, das Schwarzpulver, ist deren Zahl, dank den Fortschritten der Chemie, heute ins Außerordentliche gestiegen und hat das erste Tausend schon längst überschritten. Die Wahl eines Explosivstoffs richtet sich ganz nach dessen Verwendungszweck.

Für Feuerwaffen ist man bei dieser Wahl darauf angewiesen, sich hinsichtlich der Energie des Sprengstoffs innerhalb gewissen Grenzen zu halten, die durch die Natur des Materials der Geschützrohre und Flintenläufe sowie deren Dimensionierung gegeben sind. Der Explosivstoff soll für diesen Zweck allmählich, progressiv verpuffen, und der erzeugte Maximaldruck nicht über 3000 Atmosphären steigen, da bei höherem Druck Stahlröhren bleibende Deformationen zeigen; ferner soll die Temperatur jedenfalls 1900° nicht überschreiten, da bei höheren Temperaturen die Explosionsgase die Rohrwandungen angreifen.

Im Steinkohlenbergbau und in Steinbrüchen wird man ebenfalls mit dem langsam wirkenden Schwarzpulver oder ähnlichen Erzeugnissen arbeiten, da man hier keine rücksichtslose Materialzerstörung beabsichtigt, sondern im Gegenteil im erstern Fall die hochwertige Grobkohle und nicht die minderwertige Nuß- und Grieskohle, im zweiten Fall möglichst große zu Baustücken geeignete und daher wertvolle Blöcke gewinnen will. Zu Beginn der Explosion werden dann im Gestein an den schwächsten Stellen Spalten entstehen, während in einer späteren Phase der Explosion durch den sich allmählich steigenden Gasdruck eine Verschiebung des gelockerten Materials eintritt. Im Steinkohlenbergbau müssen überdies, mit Rücksicht auf die in vielen Gruben herrschende Schlagwettergefahr, die Sprengstoffe noch ganz besonderen Bedingungen entsprechen; so sollen sie eine möglichst niedrige Explosionstemperatur besitzen um die bei zirka 650° entzündbaren Schlagwetter nicht zur Explosion zu bringen, sie sollen ferner aus dem nämlichen Grund eine möglichst kurze Stichflamme von möglichst kurzer Dauer entwickeln. Diese Erwägungen führten zu der so eminent wichtigen und heute in großem Umfang betriebenen Industrie der sogen. „Sicherheits-sprengstoffe“, von welchen hier nur die sogenannten Ammonsalpetersprengstoffe (z. B. Roburit, Westfalit, die Favierschen Sprengstoffe, die Carbonite und Wetterdynamite) erwähnt seien.

Im eigentlichen Minenkrieg, im besondern bei Sprengungen im Erdreich, verwendet man wegen seiner mehr treibenden Wirkung auch heute noch vorwiegend das Schwarzpulver, während zu eigentlichen Demolierungszwecken (Fels, Mauerwerk, Metall- und Holzkonstruktionen), die brisanten Sprengstoffe nicht nur

vorgezogen werden, sondern sozusagen fast unentbehrlich geworden sind. In den letztgenannten Fällen ist der ideale Sprengstoff derjenige, der in möglichst kurzer Zeit eine möglichst große Gasmasse von möglichst hoher Temperatur erzeugt.

Außer diesen, den besondern Verwendungszwecken angepaßten Eigenschaften sollten alle Explosivstoffe ganz allgemein noch folgende Eigenschaften besitzen:

1. Ihre Herstellung soll völlig gefahrlos sein.
2. Sie sollen sich längere Zeit aufbewahren lassen, ohne sich hierbei zu verändern, also ohne sich chemisch zu zersetzen oder physikalisch in ihre Komponenten zu zerfallen.
3. Sie sollen nicht hygroskopisch, in Wasser unlöslich und nicht wassersaugend sein.
4. Sie sollen sich gegenüber Temperaturdifferenzen, wie sie in unsern klimatischen Verhältnissen vorkommenen, vollkommen indifferent verhalten, also weder gefrieren, noch verdampfen.
5. Sie sollen nicht giftig sein.
6. Alle Manipulationen, denen sie beim Transport und ihrer Verwendung ausgesetzt sind (Stöße, Reibung an andern Materialien usw.), vollständig gefahrlos ertragen.

Von den derzeit bekannten zahllosen Explosivstoffen entspricht — streng genommen — noch keiner gleichzeitig allen, oben aufgezählten Anforderungen, obwohl einige der neuern Sprengstoffe, wie z. B. das Trinitrotoluol, ihnen schon sehr nahe kommen.

Nach ihrer chemischen Zusammensetzung lassen sich die Sprengstoffe wohl nicht scharf klassifizieren; nach der Art ihrer Kraftentfaltung hingegen schlägt der österreichische Geniegeneral Ph. Hess vor, sie einzuteilen:

- a) in direkt explodierende Sprengstoffe, welche durch unmittelbare Entzündung zur Wirkung gelangen und
- b) in indirekt explodierende Stoffe, welche zu ihrer Explosion (Initiierung) eines Zwischenmittels (z. B. eines Knallquecksilberzündhütchens) bedürfen.

Zur ersteren Klasse gehört als typischer Vertreter das Schwarzpulver, zu letzterer die Dynamite und die Schießbaumwolle, und andere mehr.

Auf dem Sondergebiet der militärischen Sprengtechnik haben im Laufe der Jahre eigentlich nur ganz wenig Sprengstoffe Eingang gefunden: nämlich das Schwarzpulver, die Dynamite, die komprimierte Schießbaumwolle, die verschiedenen Pikrinsäurepräparate und in allerneuester Zeit das Trinitrotoluol.

Bei der großen Rolle, welche die Sprengstoffe im Kriege der Zukunft zu spielen berufen sind, werden aber die technischen Truppen voraussichtlich nicht immer über genügende Mengen des in der Armee offiziell eingeführten Sprengstoffs verfügen, sondern auch mit den gebräuchlichsten Sprengstoffen der Ziviltechnik zu arbeiten haben. Aus diesem Grund sollen im nachstehenden auch diese Erzeugnisse kurz Berücksichtigung finden.

A. Das Schwarzpulver.

Über die Erfindung, beziehungsweise die Entstehung des Schwarzpulvers ist bereits in der Einleitung das Nötige gesagt worden. Seine qualitative Zusammensetzung: Salpeter, Schwefel und Holzkohle, ist sich im Laufe der Jahrhunderte gleich geblieben, dagegen waren die Mischungsverhältnisse einem immerwährenden Wechsel unterworfen und mußten auch verschiedene sein, je nachdem es sich um die Herstellung von Kriegspulver, Jagdpulver oder Sprengpulver handelte.

Heute hat das Sprengpulver der hauptsächlichsten Staaten folgende Zusammensetzung:

	Salpeter	Schwefel	Holzkohle
Deutschland	70	14	16
England	75	10	15
Frankreich	72	13	15
Italien	70	18	12
Rußland	66,6	16,7	16,7
Österreich-Ungarn .	60,19	18,45	21,36
Schweiz	75,0	10	15

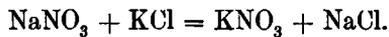
1. Die Rohmaterialien.

a) **Der Salpeter** wird unterschieden in Natronsalpeter und Kalisalpeter, doch eignet sich nur der letztere zur Pulverfabrikation, weil Natronsalpeter hygroskopisch ist und beim Verbrennen mehr Rückstand hinterläßt als Kalisalpeter. Der Kalisalpeter findet sich entweder fertiggebildet als Naturprodukt, oder er wird künstlich dargestellt. Als natürliches Vorkommen findet er sich hauptsächlich in Ostindien als Auswitterungsprodukt gewisser Bodenarten, aus denen er ausgelaugt wird. Der so gewonnene „Rohsalpeter“ wird nach England verschifft und daraus durch einen Umkristallisierungsprozeß (Raffinierprozeß) der reine „englische Salpeter“ erzeugt.

Künstlich wird Kalisalpeter gewonnen, entweder indem man auf sog. „Salpeterplantagen“ durch Mischen von geeigneten Erden,

mit Pflanzen und tierischen Abfällen aller Art künstlich die Bedingungen für Salpeterbildung durch Zersetzung stickstoffhaltiger org. Körper hervorzurufen sucht und nach einer gewissen Zeit den gebildeten Salpeter aus der „reifen“ Erde mit Wasser auslaugt, oder indem man den in der Natur (Chile) in großen Mengen vorkommenden Natronsalpeter in Kalisalpeter umwandelt. Dies geschieht dadurch, daß man äquivalente Mengen salpetersaures Natron und Chlorkalium in heißem Wasser löst. Es findet hierbei eine Umlagerung statt, unter Bildung von salpetersaurem Kali und Chlornatrium, wobei das schwer lösliche Kochsalz aus der Lösung ausfällt.

Der Vorgang spielt sich nach folgender Gleichung ab:



Diese Sorte Salpeter, die hauptsächlich in Deutschland erzeugt wird, heißt Konversionssalpeter.

Der Kalisalpeter ist ein weißes Salz, in heißem Wasser leicht löslich, von kühlendem, stark salzigem Geschmack. Schmelzpunkt 339°. Beim Erhitzen über 350° gibt er von seinem Sauerstoff ab, worauf seine stark oxydierende Wirkung auf den Kohlen- und Schwefelgehalt im Schießpulver beruht. Zur Pulverfabrikation muß er den höchsten Grad von Reinheit besitzen und namentlich frei von Kochsalz sein, welches ziemlich hygroskopisch ist.

b) **Der Schwefel** wird in Form von Stangenschwefel verwendet, der meist aus Sizilien bezogen wird, oder es wird ein Abfallprodukt der Sodafabrikation auf Schwefel verarbeitet. Dieser ist besonders rein. Auch vom Schwefel wird der höchste Grad von Reinheit verlangt, namentlich soll er keine Schwefelsäure und schweflige Säure enthalten; aus diesem Grund sind auch Schwefelblumen, d. h. durch Sublimieren gewonnener Schwefel nicht verwendbar.

c) **Holzkohle.** Zur Pulverfabrikation bedarf man Holzkohle, die sehr rein, gleichmäßig in der Zusammensetzung, leicht zerreiblich und leicht entzündbar ist. Am besten eignen sich hierzu die Hölzer des Faulbaums, des Weiden- und Erlenholzes, das fabrikmäßig in allseitig geschlossenen eisernen Zylindern, die durch Torf, Kohle oder überhitzten Wasserdampf geheizt werden, verkohlt wird. Die Temperatur und Dauer des Verkohlungsprozesses ist von größtem Einfluß auf die Beschaffenheit der Kohle, namentlich auf deren Entzündlichkeit.

In der Eidg. Pulvermühle in Chur z. B. wird junges, entrindetes, möglichst astfreies Erlenholz verwendet, das in zwei mit Steinkohlenheizung betriebenen Öfen mit je zwei eisernen Retorten bei 340°

verkohlt wird. (Fig. 1.) Die Verkohlung ist in etwa 5 Stunden beendigt. Die Temperaturmessung geschieht mittelst Graphitpyrometers.

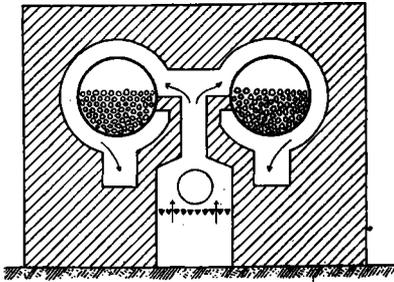


Fig. 1. Schema eines Verkohlungssofens.

Der Kalisalpeter wird in hölzernen Trommeln, in welchen sich 100 Kilo Stahlkugeln von 8 mm Durchmesser befinden, zerkleinert, das Mahlgut fällt zwischen auf einer Seite der Trommel befindlichen Gitterstäben hinaus. Der in gemahlenem Zustand aus Sizilien bezogene Schwefel wird auf einer horizontalen prismatischen Trommel, deren 6 Rahmen mit Beuteltuch von 700 Maschen pro qmm überzogen sind, gebeutelt.

Auf diese vorbereitenden Operationen folgt die eigentliche Fabrikation des Schwarz- bzw. Sprengpulvers, und zwar in folgenden Phasen:

2. Die Fabrikationsverhältnisse.

a) Das Mengen des Pulversatzes. Man benutzte früher zu dieser Operation die sogen. Stampfmühlen. Diese bestanden

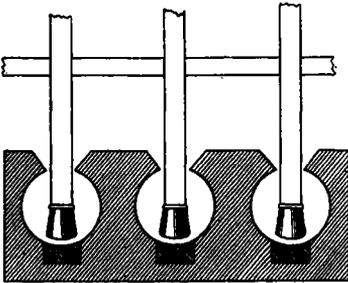


Fig. 2.

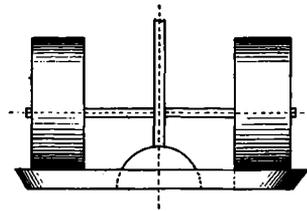


Fig. 3.

aus einer rotierenden, horizontalen, mit Daumen versehenen Achse, welche abwechselnd hölzerne, mit bronzenen Füßen bekleidete Stempel hob und fallen ließ. Der Pulversatz — 8 Kilo — befand sich in mörserartigen Gefäßen (Fig. 2), deren Bodenfläche aus Hartholzklötzen bestand, um die Intensität des Schlags zu mildern. Da diese Stampfmühlen eine zu heftige Bearbeitung des Pulversatzes und daher häufige Unglücksfälle zur Folge hatten, sind sie jetzt meist durch Trommeln und Kollergänge ersetzt.

In die horizontal gelagerten, hölzernen oder ledernen, inwendig mit Holzrippen ausgekleideten Trommeln kommt der Pulversatz gleichzeitig mit eisernen oder bronzenen Kugeln. Die Entleerung erfolgt durch eine Gosse und Ledersack in bereitstehende Tonnen.

Beim zweiten Verfahren werden zum Mischen Kollergänge benutzt (Fig. 3), die je in einem besondern, leicht konstruierten Holzhäuschen aufgestellt sind. Teller und Läufer sind von Gußeisen. Einer der letzteren wiegt 112 Zentner. Es werden an einmal 50 Kilo des Pulversatzes mit einem Wasserzusatz von 5% aufgegeben; die Tourenzahl der Läufer beträgt 10 pro Minute. Diese Operation des Mischens, die gefährlichste von allen, ist nach zirka 1500 Touren beendet, worauf das Material gesiebt wird. Die so erhaltene innige Mischung heißt Mehlpulver. In diesem Zustand wird das Pulver nur in der Feuerwerkerei und zum Füllen von Zündschnüren verwendet; zum Schießen und Sprengen ist das Mehlpulver nicht geeignet, weil es zu langsam abbrennt, auch stäubt und sich entmischt, es muß daher gedichtet und gekörnt werden.

b) **Das Dichten des Pulversatzes.** Diese Operation geschieht entweder durch Walzenpressen oder hydraulische Pressen

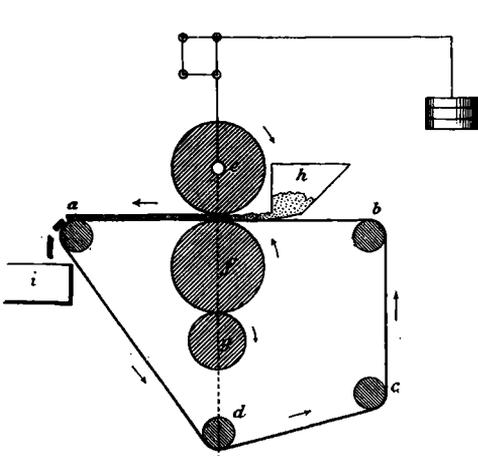


Fig. 4.

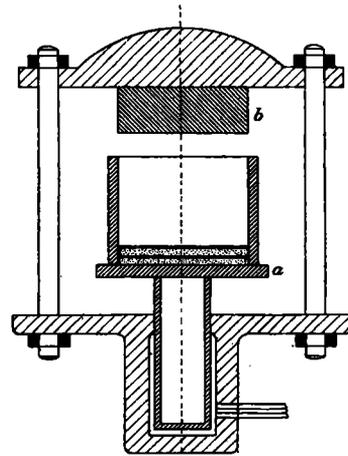


Fig. 5.

Die Konstruktion einer Walzenpresse ist in Fig. 4 schematisch dargestellt. Über die Walzen *a*, *b*, *c* und *d* läuft ein Tuch ohne Ende, das zwischen der obern gußeisernen Preßwalze *e* und der untern aus Papier bestehenden Walze *f* durchläuft. Letztere wird durch die stählerne Antriebwalze *g* angetrieben. Sämtliche

7 Walzen sind auf einem gußeisernen Gerüste montiert. Das durch Rüttelsiebe gewonnene Mehlpulver gelangt durch den Trichter *h* auf das Tuch ohne Ende und wird zwischen den Druckwalzen zu einem Kuchen von 1 cm Dicke gepreßt, der in losen Stücken in das Gefäß *i* fällt. Die Regulierung des Drucks von Ober- auf Unterwalze geschieht mittels eines Hebelwerks und Gegengewicht.

Wird mit hydraulischen Pressen gearbeitet (Fig. 5), so kommt auf die Tischplatte *a* der Presse zunächst ein hölzerner Rahmen, sodann eine Schicht Mehlpulver von 2 cm Höhe, darauf ein Kupferblech oder eine Ebonitplatte, dann wieder eine Schicht Pulver usf., bis die gewünschte Höhe erreicht ist. Durch Heben des Plungers werden die verschiedenen Pulverschichten gegen den Eichenblock *b* gepreßt und unter einem Druck von 200 Atm. komprimiert.

Es folgt nun die dritte Operation

c) **Das Körnen des Pulvers.** Zum Körnen gibt es wieder die verschiedensten Apparate; meist verwendet man dazu heute noch

die im Jahre 1819 von dem englischen Obersten Congrève erfundene Körnmaschine.

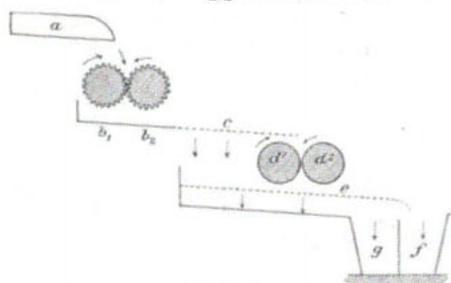


Fig. 6.

Schema der Congrèveschen Körnmaschine.

Eine solche Maschine besteht aus dem Zulauftrichter *a* (Fig. 6), aus welchem der Pulverkuchen auf die bronzenen geriffelten Walzen *b*₁ und *b*₂ und das Mahlgut von dort auf das Grob-

sieb *c* fällt. Die feinkörnigen Partien passieren dieses Sieb, die grobkörnigen gelangen zu den glatten Walzen *d*₁ und *d*₂ und fallen auf das Feinsieb *e*; die staubförmigen Bestandteile, welche durch das Feinsieb hindurch gehen, sammeln sich in *g* und werden neuerdings zu Kuchen verpreßt, die gröbern Körner fallen nach *f*. Das in *f* sich ansammelnde Pulver wird nun der vierten Operation

d) dem **Feucht- oder Grünpolieren**, unterworfen. Diese Operation, die in hölzernen, ganz langsam rotierenden Trommeln vorgenommen wird, bezweckt, den den groben Pulverkörnern anhaftenden feinen Staub unschädlich zu machen; sei es durch Anbacken an den Körnern, sei es durch Klebenbleiben an den Wänden der Trommel. Nach 1½ Stunden kommt das Pulver, das nun eine schwarzgraue matte Färbung besitzt, aus den Trommeln und gelangt in die Trockenkammer.

e) **Das Trocknen.** Dieser Prozeß geschieht in besondern Trockenhäusern, die mit Dampf- oder Warmwasserheizung auf eine Temperatur von 30—35° C gebracht werden. Das Pulver wird in diesen Schuppen auf mit Tuch überzogenen Hurden, die in Gestellen lagern, flach ausgebreitet und verbleibt daselbst zirka 48 Stunden, wobei es etwa 4% seines Wassers verliert. Es folgt darauf die Schlußoperation

f) **Das Trockenpolieren,** das ebenfalls in hölzernen Trommeln vorgenommen wird. Es wird dabei dem Material etwas Grafit zugesetzt, 20—30 g auf 150 kg. Das Trockenpolieren bezweckt einerseits die Poren der einzelnen Pulverkörner zu verstopfen, wodurch diese weniger leicht Feuchtigkeit anziehen und Staub absetzen, andererseits dem Pulver ein gefälligeres Aussehen zu verleihen.

g) **Verpackung.** Das fertige Pulver wird in der Regel in Jutesäcke à 50 Kilogewicht abgefüllt, und diese in je ein Faß verpackt. Zweckmäßiger, sowohl hinsichtlich Transportsicherheit als des Schutzes gegen Feuchtigkeit, sind Kisten mit doppelten Holzwänden, die durch eine Asbestschicht getrennt sind und außen eine Verkleidung mit Zinkblech tragen (Fig. 7). In diese Kisten wird das Pulver in kleinen Etaminesäcken à 5,5 kg Gewicht verpackt.

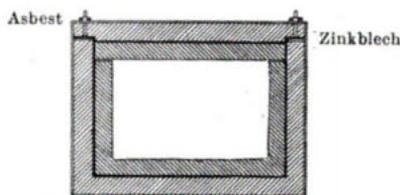


Fig. 7.

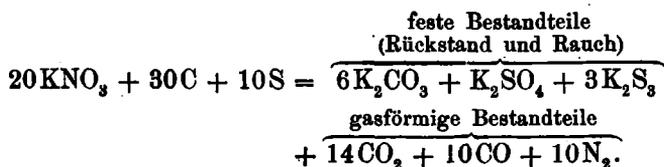
3. Eigenschaften des Schwarzpulvers.

Das fertige Pulver wird auf sein spez. Gewicht, Gewehr- und Geschützpulver auch auf seine ballistische Leistungsfähigkeit hin geprüft, durch Proben, die hier nicht näher besprochen werden können.

Die Wirkung des Schwarzpulvers wird nicht nur durch das Mischungsverhältnis seiner Bestandteile, sondern auch durch seine Korngröße bestimmt. Je nach der beabsichtigten Wirkung wird man also die Korngröße bemessen. Staubförmiges Pulver brennt langsam ab, gekörntes rascher und hier wieder feinkörniges, infolge der größern Zahl von Zwischenräumen, welche das Umsichgreifen der Flammen beschleunigen, rascher als grobkörniges. Sprengpulver ist grobkörnig und bildet unregelmäßig gestaltete Körper von etwa 8—10 mm Durchmesser; wie alle Schwarzpulversorten zieht es mehr oder weniger Feuchtigkeit an, was von der Kohle oder Verunreinigungen des Salpeters herrührt; hat es nicht

mehr als 5% Wasser aufgenommen, so kann es durch Exponieren an der Sonne wieder brauchbar gemacht werden. Die Verpuffungstemperatur des Schwarzpulvers, d. h. die Temperatur, bei welcher es bei allmählichem langsamen Erhitzen verpufft, liegt bei etwa 265—270° C. Diese gegenüber den brisanten Sprengmitteln wesentlich höher liegende Verpuffungstemperatur muß als ein wesentlicher Vorteil betrachtet werden, weil dadurch das Pulver Stöße und andere ähnliche Beanspruchungen ziemlich gefahrlos aushält. Schwarzpulver kann leicht entzündet werden durch direkte Berührung mit einer Flamme, glühenden Körpern, durch den elektrischen Funken, durch sich löschenden Kalk, starken Stoß und Schlag. Am leichtesten erfolgt eine Explosion durch Schlag von Eisen auf Eisen. Wird Schwarzpulver in freier Luft entzündet, so verbrennt es, in größeren Mengen explodiert es. Stets explodiert es, wenn es in geschlossenen Räumen entzündet wird; Sprengpulver hinterläßt bei der Explosion an festem Rückstand und Rauch 60—55% und entwickelt eine nutzbare Gasmenge von 40—45%.

Die Explosion ist ein ziemlich komplizierter chemischer Prozeß. Nach den Untersuchungen von Nobel und Abel läßt sich für ein Schwarzpulver, bestehend aus 75% KNO₃, 13% C und 12% S etwa folgende Zersetzungsgleichung aufstellen:



Teils zufolge der Erfindung der brisanten Sprengstoffe, teils infolge Einführung anderer Surrogate für Schwarzpulver, ist dessen Verwendung auch in der militärischen Sprengtechnik sehr stark zurückgegangen; wegen seiner mehr treibenden Wirkung findet es seine hauptsächlichste Verwendung noch zu Minenladungen im Erdreich beim eigentlichen Minenkrieg, ferner bei der Zerstörung oder Anlage von Gebirgs- und Hohlwegen, Dämmen, sowie zum Sprengen von Eisdecken und bei Sprengarbeiten in Steinbrüchen.

Die Schweiz z. B. besitzt noch zwei Schwarzpulverfabriken, die eine in Aubonne (Ct. Waadt), die andere in Chur, die zusammen pro Jahr noch etwa 290000 kg Sprengpulver erzeugen, das zum größten Teil für private Zwecke verkauft und nur zum kleinen Teil für militärische Zwecke (Geniedienst und zum Füllen von Schrapnells) verwendet wird.

B. Die Schießbaumwolle.

I. Geschichtliches

Die Schießbaumwolle (auch Nitrocellulose oder Pyroxylin genannt) wurde im Jahre 1845 durch den Basler Chemiker, Professor Christian Friedrich Schönbein erfunden, der beobachtete, daß gewöhnliche Baumwolle durch Behandlung mit konz. Salpetersäure explosive Eigenschaften annimmt, ohne dabei im wesentlichen ihre äußere Beschaffenheit zu ändern. Das Verfahren wurde weiter ausgebildet und namentlich herausgefunden, daß es zweckmäßiger sei, anstatt bloß Salpetersäure ein Gemisch von dieser und konzentrierter Schwefelsäure zu verwenden, wobei die letztere lediglich das entstandene Reaktionswasser bindet.

Die chemische Reaktion, die sich bei diesem Nitrierungsprozeß abspielt, kann durch die allgemeine Formel:



ausgedrückt werden. Da man das Molekulargewicht der Zellulose nicht kennt, ist die Formel überall mit dem Faktor x versehen; die Zahl n kann verschiedene Werte annehmen, weil der ganze Nitrierungsprozeß von einer Reihe von Faktoren abhängt, so von der Qualität als auch der Menge der Baumwolle im Verhältnis zur Säuremenge, vom Wassergehalt der letztern, von der Nitrierdauer, der Temperatur usw.

Die österreichische Militärverwaltung war die erste, welche der Schönbein'schen Erfindung eine weitgehende Aufmerksamkeit schenkte, Schießbaumwolle in größerem Maßstab fabrikmäßig erzeugte, und sie sowohl als Treibmittel wie als Füllmaterial für Artilleriehohlgeschosse einfuhrte; namentlich war es der Artilleriehauptmann Baron v. Lenk, der mit großer Energie in diesem Sinne wirkte, so daß Österreich im Jahre 1862 bereits 30 mit besondern Schießwollkanonen ausgerüstete Batterien besaß. Häufig auftretende Rohrkrepiere, welche sowohl auf die Hohlgeschos- als die Treibladung zurückgeführt wurden, sowie eine Reihe von ohne jeden äußern Anlaß erfolgenden Explosionen von Schießwollmagazinen, brachten das neue Produkt aber nach und nach wieder in völligen Verruf, so daß vom Jahre 1865 an die Schießwollfabrikation in Österreich gänzlich eingestellt wurde.

Sir Frederik Abel, der berühmte Chemiker des englischen Kriegsdepartements, nahm zur nämlichen Zeit die Untersuchungen über Schießbaumwolle wieder auf und wies nach, daß ihre bisher beobachtete ungenügende Stabilität nicht als eine Eigentümlichkeit des völlig reinen Präparats anzusehen, sondern auf

Verunreinigungen, namentlich sehr geringe Säurereste zurückzuführen sei, die trotz sorgfältigen Waschens in den röhrenförmigen Fasern der unzerkleinerten Schießwolle kapillar zurückgehalten wurden.

Er führte daher das Verfahren ein, in der nitrierten Baumwolle die Faserstruktur durch geeignete maschinelle Behandlung völlig zu zerstören, und dem entstandenen Produkt durch Komprimieren eine größere Dichte zu erteilen.

Das so erhaltene Produkt besitzt eine sehr bedeutende Stabilität und hat sich in den siebziger und achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts in der marinen und militärischen Sprengtechnik der meisten Staaten eingebürgert, während es als Treibmittel seiner hohen Brisanz und andern Gründe wegen nirgends mehr Verwendung fand.

2. Die Fabrikationsverhältnisse.

Die technische Herstellung der Schießbaumwolle umfaßt heute folgende Einzeloperationen:

- a) Die Vorbereitung der Baumwolle.
- b) Die Nitrierung.
- c) Das Ausschleudern der Säure.
- d) Das Auswaschen der Schießwolle.
- e) Das Zerkleinern.
- f) Das Komprimieren.
- g) Das Trocknen.
- h) Das Paraffinieren (für gewisse Sorten).

Im Einzelnen weichen natürlich die Fabrikationsmethoden und Apparate voneinander ab. Die Einzelheiten der oben aufgezählten Operationen gehen aus nachstehenden Darstellungen hervor.

Als Rohmaterial für die Fabrikation der Schießwolle dienen gewöhnliche Baumwollabfälle, die von den Schießwollfabriken auswärts, meist in bereits entfettetem Zustand, angekauft werden, und etwa 0,2—0,5 % Fett, 7—8 % Wasser und 0,2 % Asche enthalten.

a) **Vorbereitung der Baumwolle.** Die Spinnereiabfälle werden zunächst von Hand, sodann auf maschinellem Wege gelockert und entwirrt. Von den mannigfaltigen zu diesen Operationen dienenden Maschinen sei hier nur ein Typus, die sog. Reißmaschine (*bateur*) näher erwähnt, die in Fig. 8 schematisch dargestellt ist.

Die auf das Lattentuch ohne Ende *a* aufgegebenen Spinnereiabfälle gelangen zunächst zwischen die Riffelwalzen *b* und *c*, und

von dort in die feststehende Trommel *d*, wo sie zwischen dem dreiarmligen, mit Messern besetzten Cardirflügel und einem verstellbaren Messerrost zerrissen werden. Aus der Trommel *d* gelangen sie zwischen die beiden Siebtrommeln *e* und *f*; pulverförmige Bestandteile und Verunreinigungen werden durch einen Ventilator (in der Figur nicht gezeichnet) ins Innere der Trommeln angesogen, während die Baumwollflocken durch die Walzen *g* und *h* auf das Lattentuch *i* gelangen und bei *k* in Körben aufgefangen werden.

Zu einer vollkommenen Nitrierung ist es notwendig, daß die Baumwolle vorher gründlich getrocknet wird. Es geschieht dies in besondern, mittels Dampfschlangen erwärmten Trockentuben, wo die lose Baumwolle in hurdenartigen Gestellen auf Rahmen,

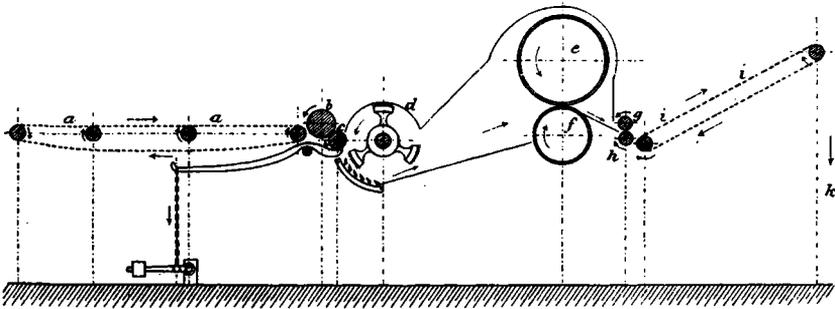


Fig. 8. Reißmaschine (bateur) 1 : 20.

die mit feinem Drahtgeflecht überzogen sind, ausgebreitet und in Verlauf von 2 Tagen getrocknet wird.

b) und c) Die Nitrierung. Früher durch Eintauchen der Baumwolle in .Wannen bewerkstelligt, wird sie heutzutage fast ausschließlich in den sog. Nitrierzentrifugen vorgenommen, Apparaten, die gleichzeitig zum Nitrieren und nachherigen Ausschleudern der überschüssigen Säure dienen. Bekannt durch vorzügliche Konstruktion ist die Zentrifuge, System Selwig u. Lange, die in Fig. 9 schematisch dargestellt ist. Sie besteht aus einem äußern feststehenden, zylindrischen Gefäß *a* aus Gußeisen, darin die siebartig durchlöchernte Trommel *b* mit feststehender Spindel. Gehäuse und Trommel werden gleichzeitig mit der Nitrierflüssigkeit (z. B. 450 kg, bestehend aus einem Gemisch von 23 Teilen Salpetersäure und 73 Teilen Schwefelsäure), gefüllt, hierauf die trockene Baumwolle ($5\frac{1}{2}$ kg) eingegeben. Der Nitrierungsprozeß erfordert etwa $\frac{1}{2}$ Stunde, wobei die Temperatur auf zirka 40° steigt. Um

das Nitriergut mit der ganzen Säure in Berührung zu bringen, also eine Zirkulation der letztern zu erzeugen, wird sofort nach Einbringen der Baumwolle die Siebtrommel durch Antrieb von unten in langsame, rotierende Bewegung versetzt (24—30 Touren pro Minute). Dadurch senkt sich der Säurespiegel in der Mitte der Trommel, während er am Rande steigt. In der Mitte der Trommel ist der durchlöcherichte sog. Trommelkonus *c*, der sich nach unten ringförmig verlängert. Über dem Gehäuseboden liegt in geringem Abstand von demselben ein zweiter Boden *d*, der außen fast bis an die Gehäusewandung reicht, während seine Innenwand die Verlängerung des Trommelkonus fast berührt. Der

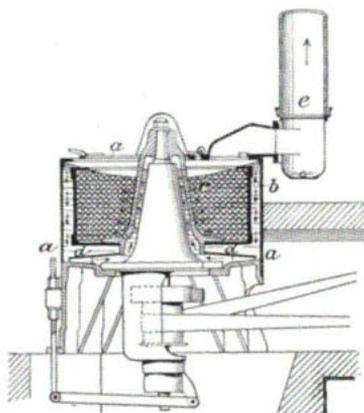


Fig. 9.

durch die Rotation erzeugte höhere Säuredruck am Rand wird nun in den Hohlraum des Trommelkonus übertragen und veranlaßt ein Ausfließen der Säure durch die Löcher des Konus in die Trommel. Die Säure durchströmt nun in radialer Richtung das Nitriergut, tritt sodann durch die gelochte Trommelwandung in den Außenraum des Gehäuses, um darauf unter dem Boden hinwegwieder ins Innere des Trommelkonus zurückzufießen.

Die während der Reaktion sich entwickelnden Säuredämpfe werden durch Rohrleitungen aus Steinzeug (*e*) mit Hilfe kräftiger Exhaustoren abgesaugt und in einer Batterie von Absorptionstürmen aufgenommen. Bisweilen verläuft beim Nitrierungsprozeß die Reaktion so stürmisch, daß die ganze Charge, unter Flammenerscheinung sich zersetzt, ohne daß jedoch eine Explosion erfolgt. Nach beendeter Reaktion wird durch kräftiges Rotieren der Zentrifuge während 3 Minuten „geschleudert“ und dadurch die Schießwolle von der anhaftenden überschüssigen Säure zum größten Teil befreit.

d) **Auswaschen der Schießbaumwolle.** Die frisch nitrierte, in hohem Maß zu Zersetzung neigende Schießbaumwolle, wird nun mittels Zangen oder besondern Transportvorrichtungen aus den Zentrifugen in kleine Kästen aus Aluminiumblech gebracht, und in diesen nach dem Waschhaus befördert, wo sie in großen Bassins zunächst mittels kalten Wassers während mehrerer Stunden ausgewaschen wird. Die Abfallsäure aus den Zentrifugen wird durch

Zusatz von frischer konzentrierter Säure wieder verstärkt und kann etwa 50 mal gebraucht werden.

e) **Das Zerkleinern.** Das Zerkleinern der roh ausgewaschenen Schießbaumwolle geschieht heute fast allgemein in den „Holländern“, also ähnlichen Apparaten, wie sie in der Papierfabrikation schon seit langem zum Zerfasern der Papiermasse üblich sind. Ein solcher Holländer, deren Konstruktion natürlich in den Details verschieden sind, besteht in der Hauptsache aus einem länglichen, an beiden Enden abgerundeten gußeisernen Trog, der in der Mitte eine parallel zu den Wänden verlaufende, aber nicht durchgehende Scheidewand besitzt. In der einen Hälfte befindet sich die um eine horizontale Welle sich drehende sog. „Messerwalze“ *a* (Fig. 10), deren Umfang mit scharfen schräggestellten Stahlmessern besetzt ist; unter der Walze, am Boden des Holländers, befindet sich eine Erhöhung *b*, der sogen. „Kropf“, mit dem „Grundwerk“, welches ebenfalls mit Messern besetzt ist. Durch eine besondere Vorrichtung kann die Welle der Messerwalze nach Bedürfnis verstellt werden, so daß sie den Messern des Grundwerks beliebig genähert oder von diesen entfernt werden kann. In der andern Hälfte des Holländers befindet sich eine mit feinem Drahtgewebe überzogene

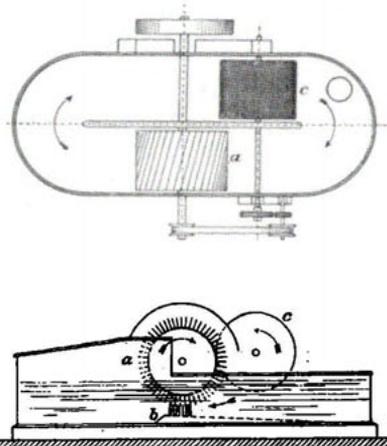


Fig. 10. Schematische Darstellung eines Holländers.

Waschtrommel *c*, die den Zweck hat, einestheils die Schießwollfasern zurückzuhalten, andernteils die Waschwässer durchzulassen und durch einen Schaufelmechanismus und eine Rinne nach außen zu entfernen. Durch die Messer der Walze und des Grundwerks wird die Schießwolle teils zerschnitten teils zermalmt. Nach diesem etwa 3 Stunden dauernden Zerkleinerungs- und Waschprozeß, dem sog. „Vorholländern“, gelangt der Brei in vertikale eiserne Zylinder, die einen doppelten Boden besitzen, von denen der obere aus Holzplatten besteht. In dem Zylinder befindet sich ein mit schräggestellten Flügeln versehenes Rührwerk. Die Schießwolle wird eingegeben, der Zylinder mit Wasser gefüllt und nun volle 4 Tage durch Einlassen von Dampf die Schießwolle ausgekocht. Nach dieser Operation kommt der Brei zum „Nachholländern“, d. h.

er wird in Holländern während $1\frac{1}{2}$ Tagen nochmals mit warmem Wasser behandelt und weiter zerkleinert, wodurch eine Faserlänge der Baumwolle von höchstens 0,5 mm erzielt wird. Aus den „Nachholländern“ kommt die Masse — in Portionen von je 800—1000 kg — nochmals in Waschzylinder, wo sie 25 Stunden lang mit kaltem und hierauf 30 Stunden mit kochendem Wasser behandelt wird. Zum Schluß wird das Produkt in Zentrifugen bis auf einen Wassergehalt von 30—40% entwässert.

Nur durch einen derartig intensiven und weitgehenden Wasch- und Zerkleinerungsprozeß ist es möglich, ein absolut säurefreies Fabrikat zu erhalten, welches bezüglich völliger Unzersetzbarkeit (Stabilität) die weitgehendste Sicherheit bietet. Das aus den Zentrifugen kommende Produkt bildet nun einerseits das Ausgangsmaterial für die Fabrikation der komprimierten Schießbaumwolle, andererseits für die rauchlosen Pulversorten.

f) **Das Komprimieren der Schießbaumwolle.** Durch die Operation des Komprimierens unter hohem Druck wird die Schießwolle in Körper von regelmäßigen Dimensionen gebracht; gleichzeitig erreicht man hierdurch eine höhere Dichte und damit eine regelmäßige Fortpflanzung der Explosion innerhalb der Ladung, gesteigerte Explosionswirkung im selben Volumen, sowie leichtere

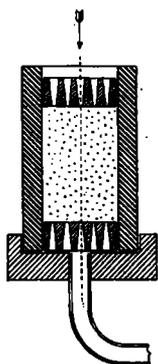


Fig. 11.

Handhabung des Sprengstoffs. Zum Komprimieren wird die Schießwollmasse vorher in warmem Wasser suspendiert, der Brei in eine Bronze- oder Stahlform gebracht und mittels einer Vakuumpumpe die Hauptmasse des Wassers abgesaugt. Die Formen, die zum Entweichen der Luft und des Wassers oben und unten ein mit konischen Löchern versehenes Einsatzstück besitzen, bringt man sodann unter eine hydraulische Presse, wobei die Schießwolle unter einem Druck von 200—500 Atm. auf die gewünschte Dichte gebracht wird (Fig. 11). Diese Operation, die wegen der Reibung der Stahlstempel an den Wandungen der Form nicht ungefährlich ist, wird unter Beobachtung einer Reihe

von Vorsichtsmaßregeln in besonderen Gebäuden vorgenommen. Nach dem Pressen besitzen die Schießwollkörper ein spez. Gewicht von 1,15—1,20 und einen Wassergehalt von etwa 4—7%. Je nach dem Verwendungszweck (Füllmaterial für Hohlgeschosse, Land- und Wassertorpedos, Sprengkörper für Zwecke des Geniewesens) gibt man den Preßkörpern (Patronen) verschiedene Abmessungen und Gewichte.

g) **Das Trocknen** der komprimierten Schießwollkörper geschieht ähnlich wie das der losen Schießwolle.

h) **Das Paraffinieren.** Da die trockenen Schießwollpatronen (Zündpatronen) mit ihrem Wassergehalt von 0,1% bei längerem Liegen an der Luft Wasser aus der Luft anziehen und dadurch an Detonationsempfindlichkeit einbüßen würden, werden sie oberflächlich paraffiniert. Dabei muß aber Sorge getragen werden, daß der für die Aufnahme der Sprengkapsel bestimmte Kanal der Zündpatrone, frei von Paraffin bleibt, weil sonst die Detonationsübertragung unsicher wäre. Man erzielt dies dadurch, daß man auf der frischen Patrone, die Öffnung des Zündkanals mit einem Papierblättchen verklebt und erst dann die Paraffinierung vornimmt. Zum Paraffinieren werden die trockenen Patronen während einiger Sekunden in ein Paraffinbad von 80°C getaucht. Die paraffinierte Schicht soll nicht dicker als etwa 5 mm sein.

3. Eigenschaften der Schießbaumwolle.

Ungepreßte Schießbaumwolle behält vollständig das äußere Ansehen und die Struktur der gewöhnlichen Baumwolle; nur ist sie im trockenen Zustand rauher und spröder als diese anzufühlen, knirscht beim Zusammendrücken und hat an spez. Gewicht zugenommen. Sie ist in kaltem wie in warmem Wasser unlöslich, hochnitrierte Schießwolle auch unlöslich in Alkohol und Äther. Die nach oben beschriebenen Verfahren hergestellte Schießwolle besitzt in feuchtem Zustand, soweit die Erfahrungen reichen, eine unbegrenzte Stabilität. Bei mehrjähriger Lagerung ist es jedoch empfehlenswert, von Zeit zu Zeit Stichproben den Magazinen zu entnehmen und sie nach den hierfür geltenden Vorschriften auf ihre Unzersetzbarkeit zu prüfen (Stabilitätsproben). Die reine Schießwolle ist von weißer oder schwach gelblicher Farbe und völlig geruch- und geschmacklos. Gepreßte Schießbaumwolle sieht im allgemeinen gepreßter Holzpappe ähnlich und hat blättrige Struktur; sie kann, ähnlich wie Holz, durch Sägen, Bohren, Fräsen usw. bearbeitet werden; doch dürfen zu diesen Operationen nur Patronen mit sehr starkem Wassergehalt (etwa 30%) verwendet werden! Außerdem soll während der Bearbeitung stets hinreichend Wasser aufgetropfelt werden. Komprimierte Schießwolle mit mehr als 15% Wassergehalt ist gegen Selbstentzündung, Stoß und Schlag ganz unempfindlich; auch büßt sie durch den Wassergehalt nichts an Explosionskraft ein. Völlig trockene Schießwolle dagegen oder solche mit nur minimalem Wassergehalt kann sich durch Stoß, Schlag oder Reibung leicht entzünden; auch sind bei längerer Lagerung schon Fälle von Selbstentzündung beobachtet worden. Die Schußsicherheit der gepreßten Schießwolle ist eine sehr

große, was für die Verwendung im Felde von nicht geringer Bedeutung ist. Eine aus der Nähe abgefeuerte Gewehrkugel durchdringt einen nassen Schießwollkörper ähnlich wie Holz oder Pappe, oder zerreißt ihn, ohne ihn aber zur Entzündung oder Explosion zu bringen; trockene, gepreßte Schießwolle dagegen brennt, wenn von einem Projektil getroffen, zunächst an der getroffenen Stelle. Manchmal breitet sich die Entzündung noch weiter aus, aber ohne eigentliche Explosion.

Mäßig hohen Temperaturen ausgesetzt, d. h. etwa 50—60° C, kann sich Schießwolle unter Umständen entzünden. Man wird sie also nie dem direkten Sonnenlicht aussetzen dürfen. Auf höhere Temperaturen erhitzt brennt sie, auch im komprimierten Zustand, mit intensiv orangegelber Flamme ab; die Verpuffungs- oder Entzündungstemperatur schwankt, je nach der Schnelligkeit des Erhitzens, von 186—201°. Frost hat auf die Schießbaumwolle keinen Einfluß. Zu Sprengzwecken verlangt man natürlich eine momentane Zersetzung, die sog. Detonation. Schießwolle zur Detonation zu bringen, eine speziell für die Sprengtechnik sehr wichtige Entdeckung, gelang aber erst im Jahre 1868 dem Chemiker Brown, Assistent im Laboratorium zu Woolwich. Man muß sich eben vergegenwärtigen, daß bis dahin die Explosion der Schießwolle, ganz ähnlich wie bei Schwarzpulver, durch einfache Entzündung der betreffenden Ladung eingeleitet wurde; befand sich die Schießwolle, wie bei frei angelegten Ladungen, nicht in einem allseitig geschlossenen Raum, so trat nur Verpuffung ein, die sogar noch weniger intensiv war als die von freiliegendem Schwarzpulver.

Abel und Brown fanden nun, daß man trockene Schießbaumwolle, ähnlich wie Nitroglycerin, zur Detonation bringen könne, wenn man sie nicht entzündet, sondern der vibratorischen Kraft einer explodierenden Knallquecksilberkapsel aussetzt, die ihrerseits durch eine Zündschnur zur Detonation gebracht wird. Stark wasserhaltige Schießwolle ist jedoch durch die Knallquecksilberkapsel nur schwierig oder gar nicht zur Explosion zu bringen, wohl aber durch kräftigere Detonatoren, so z. B. durch eine kleine Ladung trockener Schießbaumwolle. Die oben genannten Forscher fanden sogar, daß auf diesem Wege nasse Schießwolle sich noch gründlicher zur Explosion bringen lasse, als trockene, was wahrscheinlich von der Unzusammendrückbarkeit des beigemischten Wassers herrührt. Der von dem Detonator erzeugte Druck überträgt sich daher direkt ohne Kraftverlust auf die ganze Masse. Das gegenseitige Mengenverhältnis von trockener zu nasser Schießwolle darf aber eine bestimmte Grenze nicht überschreiten, wenn die nasse Schießwolle vollständig explodieren soll. In der Praxis hat

sich gezeigt, daß ein Verhältnis von 1:125 bis 1:156 hinreichend ist. Gewöhnlich bezeichnet man die nasse Schießwolle als Sprengladung bzw. Sprengpatrone, die trockene als Initial- oder Zündladung, bzw. Initial- oder Zündpatrone.

Bei der Detonation der Schießwolle durch Knallquecksilber ist, im Gegensatz zur Entzündung durch Erhitzen, keine eigentliche Flamme, sondern bloß ein fahler Schein zu beobachten; auch ist die Rauchentwicklung nur eine geringe.

Für die Zersetzung der Schießbaumwolle ist es schwierig, eine chemische Gleichung anzugeben, weil die dabei sich abspielenden Vorgänge, je nach den Versuchsbedingungen (Druck und Temperatur), stark variieren. Die große Sprengkraft der komprimierten Schießbaumwolle, ihre bedeutende Stabilität und große Unempfindlichkeit, speziell der feuchten Schießwolle, gegen mechanische Einflüsse, Wasser und Frost, ferner ihre Sauberkeit und Nichtgiftigkeit lassen sie besonders als militärisches Sprengmittel geeignet erscheinen. Laboriert wird sie gewöhnlich in prismatischen und zylindrischen Patronen (Bohrpatronen) und zwar werden hergestellt nasse Patronen (Sprengpatronen) für die eigentlichen Sprengladungen mit einem durchschnittlichen Wassergehalt von 15 %, und trockene, paraffinierte Sprengkörper für Initialladungen (Zündpatronen). Die Gewichte und Abmessungen der in der Schweiz üblichen Patronen sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt:

Patronensorte	Abmessungen			Gewicht in g	
	lang mm	breit mm	hoch mm		
Nasse Sprengpatrone	prismatisch . .	70	50	40	160
	zylindrisch . .	70	Durchmesser 30		60
Trockene Zündpatrone	prismatisch mit Zündkanal (paraffiniert)	70	50	40	160
	zylindrisch mit Zündkanal (paraffiniert)	70	Durchmesser 30		60

Zur leichteren Handhabung der Sprengmunition beim Transport und beim Anbringen der Ladungen, besonders wo es sich um umfangreiche Sprengungen handelt, wird sie zum Teil noch in besonderen Sprengbüchsen und Munitionskisten laboriert, welche umstehende Abmessungen und Fassungsvermögen besitzen:

Bezeichnung	Äußere Abmessungen in mm	Inhalt	Gewicht der Ladung in kg
Kleine Sprengbüchse	205 × 75 × 55	5 Sprengpatronen	0,8
Große Sprengbüchse	215 × 165 × 155	36 „	5,8
Munitionskiste Nr. 1	334 × 264 × 257	84 „	13,4
Munitionskiste Nr. 2	419 × 337 × 311	180 „	28,8
Munitionskiste Nr. 3	464 × 409 × 361	300 „	48,0

Die Sprengbüchsen (Fig. 12) sind aus Zinkblech erzeugt und von parallelipedischer Form, damit sie mit dem zu sprengenden Objekt in möglichst innige Berührung kommen; dadurch wird der Sprengeffekt ein wesentlich größerer als bei Verwendung zylindrischer Büchsen. In die bereits eingesetzte Zündpatrone ragt ein am Deckel eingelötetes Kupferröhrchen herein, das zur Aufnahme der Sprengkapsel oder des elektrischen Zünders dient.

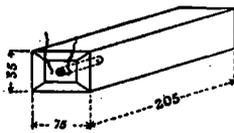


Fig. 12.
Kleine Sprengbüchse.

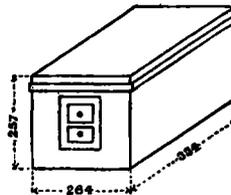


Fig. 13.
Munitionskiste Nr. 1.

Neben der Öffnung sind zwei Messingdrähte angelötet, die zur Befestigung des Zünders dienen.

Die Munitionskisten (Fig. 13) aus Holz sind mit Zinkblech ausgefüttert und besitzen an einer Seite eine Büchse, die zur Aufnahme von zwei Zündpatronen dient. Die für die Munitionskisten bestimmten Zündpatronen werden bis zum Gebrauch in besonderen Kistchen verpackt.

C. Die Dynamite.

1. Geschichtliches.

Das Dynamit ist eine Erfindung des schwedischen Ingenieurs Alfred Nobel, der im Jahre 1863 auf den Gedanken kam, das Nitroglycerin, welches bereits im Jahre 1846 von Ascanio Sobrero, Professor in Turin, erfunden worden war, als Sprengmittel praktisch zu verwerten. Das Nitroglycerin oder Sprengöl, die

Bezeichnung	Äußere Abmessungen in mm	Inhalt	Gewicht der Ladung in kg
Kleine Sprengbüchse	205 × 75 × 55	5 Sprengpatronen	0,8
Große Sprengbüchse	215 × 165 × 155	36 „	5,8
Munitionskiste Nr. 1	334 × 264 × 257	84 „	13,4
Munitionskiste Nr. 2	419 × 337 × 311	180 „	28,8
Munitionskiste Nr. 3	464 × 409 × 361	300 „	48,0

Die Sprengbüchsen (Fig. 12) sind aus Zinkblech erzeugt und von parallelipedischer Form, damit sie mit dem zu sprengenden Objekt in möglichst innige Berührung kommen; dadurch wird der Sprengeffekt ein wesentlich größerer als bei Verwendung zylindrischer Büchsen. In die bereits eingesetzte Zündpatrone ragt ein am Deckel eingelötetes Kupferröhrchen herein, das zur Aufnahme der Sprengkapsel oder des elektrischen Zünders dient.

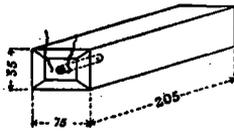


Fig. 12.
Kleine Sprengbüchse.

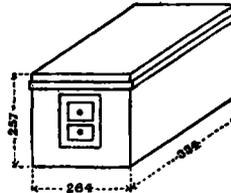


Fig. 13.
Munitionskiste Nr. 1.

Neben der Öffnung sind zwei Messingdrähte angelötet, die zur Befestigung des Zünders dienen.

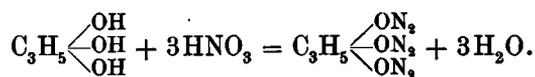
Die Munitionskisten (Fig. 13) aus Holz sind mit Zinkblech ausgefüttert und besitzen an einer Seite eine Büchse, die zur Aufnahme von zwei Zündpatronen dient. Die für die Munitionskisten bestimmten Zündpatronen werden bis zum Gebrauch in besonderen Kistchen verpackt.

C. Die Dynamite.

1. Geschichtliches.

Das Dynamit ist eine Erfindung des schwedischen Ingenieurs Alfred Nobel, der im Jahre 1863 auf den Gedanken kam, das Nitroglycerin, welches bereits im Jahre 1846 von Ascanio Sobrero, Professor in Turin, erfunden worden war, als Sprengmittel praktisch zu verwerten. Das Nitroglycerin oder Sprengöl, die

wirksame Grundsubstanz der Dynamite, ein überaus brisanter Sprengstoff, entsteht durch Behandlung von Glycerin mit Salpetersäure, wobei unter Bildung von Wasser ein Salpetersäureester des Glycerins, das Trinitroglycerin nach folgender Gleichung gebildet wird:



Das Glycerin, das Ausgangsmaterial für die Nitroglycerindarstellung, ist eine syrupartige, im reinen Zustand farblose und geruchlose Flüssigkeit, die in der Seifenfabrikation bei der Verseifung der Fette als Nebenprodukt gewonnen wird.

2. Die Fabrikationsverhältnisse des Nitroglycerins.

Das Nitroglycerin wird fabrikmäßig im Großen hergestellt. Wie bei der Herstellung von Schießwolle ist auch hier die Gegenwart von konz. Schwefelsäure zur Absorption des gebildeten Reaktionswassers notwendig. Die Herstellung geschieht chargenweise, in der Art, daß man eine bestimmte Menge reinen Glycerins in mehreren feinen Strahlen in das Gemisch von Salpetersäure und Schwefelsäure einlaufen läßt. Ein gutes Mischungsverhältnis ist z. B. folgendes:

58 kg Glycerin	}	Mischsäure
150 kg konz. Salpetersäure		
250 kg konz. Schwefelsäure		

Die ganze Operation wird in einem bleiernen Gefäße vorgenommen, wie denn überhaupt bei der Dynamitfabrikation alle Gefäße, Leitungen usw. wegen ihrer guten Widerstandsfähigkeit gegen die Säure entweder ganz aus Blei hergestellt oder mit diesem Metall ausgefüttert sein müssen. Bei dem ganzen Nitriervorgang ist darauf zu achten, daß die Temperatur nie über 23° C steigt, weil sonst Zersetzungserscheinungen auftreten und die furchtbarsten Explosionen zu befürchten sind. Es ist daher nötig, für hinreichende Kühlung zu sorgen. Diese wird bewirkt durch einen das eigentliche Nitriergefäß umgebenden Kühlmantel mit Wasserzirkulation, durch eine innere Kühlschlange mit Wasserkühlung und nötigenfalls durch die Expansion von komprimierter Luft, welche man nach Bedarf in die Reaktionsflüssigkeiten eintreten lassen kann. Allfällige Zersetzungserscheinungen machen sich durch rote Dämpfe bemerkbar, deren Bildung in einer auf dem Deckel des Apparates befindlichen Glaslaterne beobachtet werden kann. Die Konstruktion eines derartigen Nitrierapparates mit dem nötigen Zubehör

zeigt Fig. 14. Im Verlauf von etwa 18 bis 20 Minuten ist die Nitrierung vollendet, wobei ungefähr 129 kg Nitroglycerin gewonnen

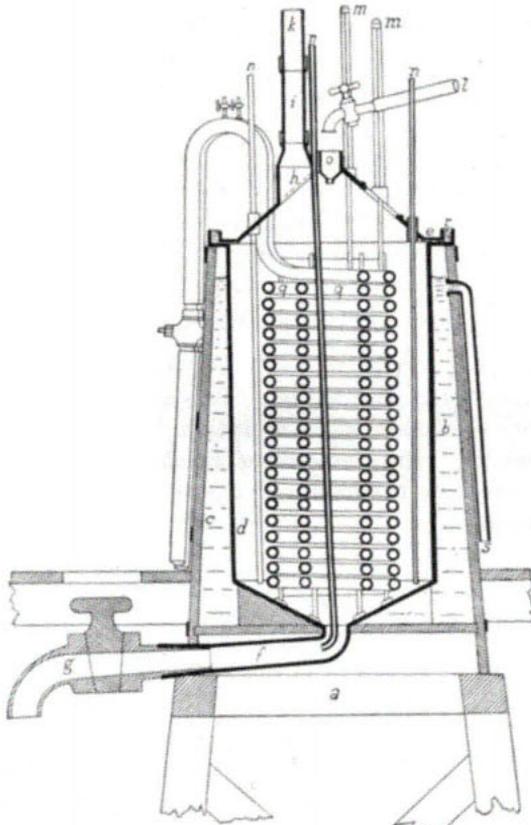


Fig. 14. Schnitt durch den Nitrierapparat. 1 : 20.

Legende:

a Unterbau des Apparates.
b Mantel mit Kaltwasserzirkulation.
c Holzbottich.
d Bleibottich.
e Deckel des Apparates.
f Entleerungsrohr.
g Entleerungshahn.
h Öffnung für entweichende Gase.

i Glaslaterne.
k Kamin aus Steinzeug.
l Zutritt des Glycerins.
m Thermometer.
n Zutritt der Misch- und Kühlluft.
o Trichter für die Einführung d. Glycerins
q Kühlschlangen.
r Abdichtung.
s Austritt des Kühlwassers.

werden. Sollte je während des Nitrierungsprozesses eine anormale gefährliche Temperatursteigerung stattfinden, so kann mittelst des am Boden des Nitriergefäßes befindlichen großen Hahns *g* eine sofortige Entleerung der ganzen Charge in ein großes unter dem Nitrierzylinder befindliches Wasserreservoir (Sicherheitsbottich) stattfinden. Aus dem Nitriergefäß gelangt das Gemisch von Nitroglycerin und Säure in den sog. Separator (Fig. 15), ein zylindrisches, unten konisches Gefäß, das mit Thermometer,

Beobachtungslaterne, Sicherheitslaterne, Sicherheits- hahn am Boden, und seitlichem Flüssigkeitsstandzeiger versehen ist, und welches dazu dient, das gebildete Nitroglycerin, von der Säure auf Grund der Verschiedenheit

der spez. Gewichte zu trennen. Unten sammelt sich nach Verlauf von etwa 40 Minuten die Mischsäure (spez. Gewicht 1,75), oben das