

**Feuerwerkerei** (Pyrotechnik) ist die Kunst der Herstellung und Verwendung von Gegenständen zur Zündungsübertragung, zur Erzeugung von Licht-, Schall-, Brand- und Explosionswirkung und zur Bewegung träger Massen unter Benutzung der Verbrennungsenergie fester Körper (Gemische). Dem Verwendungszweck entsprechend ist zwischen Lust-, Ernst- und Kriegsfeuerwerkerei zu unterscheiden. Aufgabe der Lustfeuerwerkerei ist, das Auge durch hellstrahlende, farbenprächtige Lichtwirkungen zu erfreuen und dem Ohr Gewehr- und Kanonenschüsse vorzutäuschen. Die Ernstfeuerwerkerei dient dem Signal- und Rettungswesen im Frieden. Zur Kriegsfeuerwerkerei im weitesten Sinne gehören die gesamte Munition, die Zündungen und die besonderen Kriegsfeuer.

### *A. Stoffe für Feuerwerkskörper, Feuerwerksätze, Zündungen.*

Die Wirkung der Feuerwerkskörper wird durch die ihnen innewohnende Verbrennungsenergie hervorgerufen, deren Betätigung durch eine von außen herangebrachte Flamme eingeleitet wird und dann selbsttätig fortschreitet. Die Feuerwerkskörper sind demnach Gemische, die zunächst mindestens einen brennbaren und einen Sauerstoff abgebenden Körper enthalten müssen. Zur Erzielung einer besonderen Wirkung (Treibkraft, Knall u. s. w.) bedürfen diese Gemische der Formgebung, Pressung und Oberflächenbehandlung, häufig auch des Einschlusses und des Zusatzes verbrennungsregelnder Stoffe. Außerdem müssen ihnen diejenigen Stoffe beigegeben werden, durch die eine besondere Flammenwirkung (heller Glanz, Farbe, Funkensprühen) erzeugt wird. Sämtliche Materialien soll man grundsätzlich in möglichster Reinheit verwenden; der Preis erhöht sich dadurch natürlich, aber die erzielte Wirkung zeichnet sich durch größere Vollkommenheit und Gleichmäßigkeit aus, und vor allem werden störende Nebenerscheinungen vermieden, wie innere Zersetzung und allmähliches Verderben der hergestellten Körper oder gar Selbstentzündungen und spontane Explosionen. Mit wenig Ausnahmen, auf die besonders hingewiesen wird, müssen die Materialien fein gepulvert und gesiebt sein.

#### I. Brennbare Stoffe ohne besondere Flammenwirkung.

1. Kohle. Zu Feuerwerksätzen (einschließlich Schwarzpulver) wird Kohle nur in Form von Holzkohle (Rotkohle und Schwarzkohle) oder von Ruß (Lampenschwarz, Kienruß) verwendet. Die Gewinnung der Holzkohlenarten ist unter Explosivstoffe (Bd. IV, 740) beschrieben. Hier sei nur erwähnt, daß Rotkohle 60–75 % unverkohlte Holzsubstanz, Schwarzkohle 25–35 % enthält. Kienruß hat nur geringe Bedeutung als auflockernder Zusatz bei farbigen Leuchtsätzen; er muß vor allem frei von Schwefelsäure sein. Rotkohle wird wegen ihrer leichteren Entzündbarkeit und schnelleren Verbrennung für kräftigere Sätze verwendet, Schwarzkohle für langsamere Sätze und Mehlpulvermischungen (Anfeuerung, Schnellzündschnur).

2. Schwefel bildet einen wesentlichen Bestandteil fast sämtlicher Feuerwerksätze. Er wird am zweckmäßigsten in Form von ventiliertem Schwefel oder Stangenschwefel verwendet. Die Schwefelblumen enthalten oft nicht unbedeutliche Mengen freier Schwefelsäure, die zersetzend auf die übrigen Satzmaterialien wirken und Selbstentzündungen oder Explosionen herbeiführen kann.

Zur Prüfung auf Schwefelsäure kocht man 10 g des feingepulverten Materials einige Minuten mit 150 cm<sup>3</sup> destilliertem Wasser; dieses darf dann Lackmuspapier nicht röten. Auf Verunreinigung durch Erden oder Metalloxyde prüft man durch Verbrennen von 10 g Schwefel in gewogenem Porzellantiegel. Zur Prüfung auf Arsen erwärmt man 5 g feingepulverten Schwefel mit 100 cm<sup>3</sup> verdünntem Ammoniak  $\frac{1}{4}$  h lang auf 50–60°. Das Filtrat wird mit Salzsäure angesäuert und darf dann mit Schwefelwasserstoff keinen wägbaren Niederschlag geben.

3. Kolophonium dient zur Regelung der Verbrennungsgeschwindigkeit, auf die schon ein mäßiger Zusatz verlangsamend wirkt.

4. Schellack verlangsamt gleichfalls die Verbrennungsgeschwindigkeit eines Satzes; er dient außerdem als Bindemittel.

Das häufigste Verfälschungsmittel ist Kolophonium, das am besten durch Ermittlung der Jodzahl nachgewiesen wird. Zur Prüfung auf andere Verunreinigungen extrahiert man 10 g Schellack im Soxhlet mit Alkohol, wobei höchstens 3% Rückstand verbleiben sollen. Beim Veraschen in einer Platinschale sollen 10 g Schellack nicht mehr als 1% Asche ergeben.

## II. Sauerstoff liefernde Stoffe.

1. Kaliumnitrat (s. d. unter Kaliumverbindungen), der Sauerstofflieferant des Schwarzpulvers, spielt die gleiche Rolle auch in sehr vielen Feuerwerkssätzen. Es hat jedoch die unangenehme Eigenschaft, ziemlich stark hygroskopisch zu sein, und ist deshalb in neuerer Zeit durch andere hochoxydierte Salze, wie Bariumnitrat, Kaliumchlorat und -perchlorat, etwas zurückgedrängt worden.

Kalisalpeter darf nicht mehr als 0,25% Feuchtigkeit enthalten, beim Lösen in Wasser keinen unlöslichen Rückstand hinterlassen und höchstens 0,2% Cl (Chlorid und Perchlorat-Cl) enthalten.

2. Bariumnitrat (salpetersaures Barium, Barytsalpeter, s. d., Bd. II, 110) findet infolge seiner geringen Hygroskopizität und der größeren Unempfindlichkeit seiner Mischungen mit brennbaren Stoffen gegenüber ähnlichen, kaliumnitrat- oder -chlorathaltigen Gemischen neuerdings vielfach Anwendung in der Feuerwerksindustrie.

Bariumnitrat darf nur Spuren von  $CaCl_2$ , keine Salze der Schwermetalle und keine Sr- und K-Verbindungen enthalten.

3. Kaliumchlorat (chlorsaures Kalium, s. d., Bd. III, 297) ist einer der wirksamsten Sauerstofflieferanten; seine Verwendung muß stets mit der größten Vorsicht erfolgen, da es beim trockenen Verreiben mit einer großen Anzahl verbrennlicher Stoffe (Schwefel, Kohle u. a.) lebhaft explodiert. Neben großer Vorsicht bei der Herstellung und Verwendung kaliumchlorathaltiger Feuerwerkskörper ist daher auch auf die Reinheit des Materials großer Wert zu legen.

$KClO_3$  soll höchstens 0,02% in Wasser Unlösliches enthalten. Es soll frei sein von Sulfaten, Carbonaten und Bromaten.

4. Kaliumperchlorat (überchlorsaures Kalium, s. d., Bd. III, 304) ist weniger gefährlich zu handhaben als das Chlorat; jedoch steht es in Wirkung diesem etwas nach. Trotzdem ist es für Feuerwerkskörper nicht ungeeignet und wird hier, wie bereits in der Sprengstoffindustrie, allmählich weiteren Eingang finden.

Auf Reinheit wird es im allgemeinen wie Kaliumchlorat geprüft. Chloratgehalt ermittelt man durch Versetzen mit Salzsäure und Erwärmen; hierbei darf weder Chlorgeruch noch – nach Verdünnen mit Wasser – Blaufärbung von Jodkaliumstärke auftreten.

## III. Stoffe für weißes Licht.

1. Antimontrisulfid (Antimon crudum, s. d., Bd. I, 545) liefert beim Verbrennen eine ziemlich heiße Flamme und dementsprechend in Feuerwerkssätzen ein einigermaßen weißes Licht. Es entwickelt jedoch erhebliche Rauchmengen (Antimonoxyd und schweflige Säure) und steht an Lichtwirkung den Leichtmetallen bedeutend nach, so daß es vorteilhafter für Zwischensätze verwendet wird, die zur Feuerübertragung von der Treib- oder Zündladung auf schwer zu entzündende metallhaltige Sätze bestimmt sind. Schwefelantimonhaltige Sätze zeichnen sich häufig durch große Schlagempfindlichkeit aus.

Zur Prüfung auf Reinheit löst man 10 g Schwefelantimon in Königswasser, wobei höchstens 0,5% ungelöst zurückbleiben sollen.

2. Aluminium verleiht den Feuerwerkssätzen ein glänzend weißes Licht, das dem durch Magnesium erzeugten allerdings nachsteht, aber erheblich billiger herzustellen ist; Aluminium-Pyroschliff, feinst gestampft Aluminium (s. Bronzefarben, Bd. II, 699), kostet nur den dritten bis vierten Teil von Magnesium.

Da Aluminiumschliff unter Zusatz geringer Mengen Öl poliert wird, muß er vor der Verarbeitung durch Extraktion mit Äther auf Fettgehalt untersucht werden, der 0,5% nicht übersteigen soll.

3. Magnesium liefert Feuerwerkssätze von blendendstem Weiß und größter Intensität.

4. Silicium oder Ferrosilicium sollen, mit Bariumsuperoxyd gemischt, gute weiße Leuchtsätze geben, z. B. 3 Tl. Ferrosilicium und 34 Tl. Bariumsuperoxyd. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß  $BaO_2$  an der Luft allmählich  $CO_2$  aufnimmt und unwirksam wird.

#### IV. Flammenfärbende Stoffe.

Zur Erzeugung gefärbter Flammen mischt man den Feuerwerkssätzen leicht vergasbare Salze flammenfärbender Metalle bei, in erster Linie solche der Alkalien und alkalischen Erden, sodann einige Kupfersalze.

1. Gelbes Licht. *a)* Natriumoxalat verdient vor den verschiedenen Natriumsalzen, die sämtlich die Flamme mehr oder weniger gelb färben, entschieden den Vorzug, da es leicht flüchtig und nicht hygroskopisch ist.

Zur Prüfung seiner Reinheit löst man es in destilliertem Wasser; es soll keinen Rückstand hinterlassen, und die Flüssigkeit soll neutral reagieren.

*b)* Natriumnitrat und *c)* Natriumcarbonat sind weniger zu empfehlen, da jenes sehr hygroskopisch, dieses schwerer flüchtig ist.

*d)* Kryolith (Natriumaluminiumfluorid) ist haltbar und feuchtigkeitsbeständig, aber von geringerer Farbwirkung.

2. Rotes Licht. *a)* Strontiumoxalat liefert von allen Strontiumverbindungen die schönste Rotfärbung der Flamme.

Es muß in kaltem Wasser fast vollkommen unlöslich sein und darf mit verdünnter Schwefelsäure nicht aufbrausen.

*b)* Strontiumnitrat steht dem vorgenannten Salz wenig nach.

*c)* Strontiumchlorat dient hauptsächlich zur Rotfärbung von Weingeistflammen.

*d)* Strontiumcarbonat ist wegen geringerer Flüchtigkeit weniger zu empfehlen.

*e)* Kreide ist ein billiges Ersatzmittel, das besonders neben lichtstarkem Grün verwendet werden kann.

3. Grünes Licht. *a)* Bariumnitrat, das schon als Sauerstoffträger eine Rolle spielte, wird auch zur Flammenfärbung benutzt, die aber nur gelbgrün ausfällt.

*b)* Bariumchlorat liefert eine schöne dunkelgrüne Flamme. Wie alle Chlorate, ist es vorsichtig zu behandeln.

*c)* Bariumcarbonat ist ein billiger Ersatzstoff von geringerer Wirksamkeit.

*d)* Kupferchlorid dient hauptsächlich zur Grünfärbung von Weingeistflammen, da heißere Flammen durch Kupfersalze blau gefärbt werden.

4. Blaues Licht. *a)* Basisches Kupfercarbonat (Bergblau, Kupferlasur) findet für blaue Flammenfärbung die ausgedehnteste Verwendung. Da Kupfersalze allgemein nur heiße Flammen blau färben, weniger heiße grün, so dürfen Feuerwerkskörper für blaues Licht keine krystallwasserhaltigen Salze enthalten, da das verdunstende Krystallwasser die Flamme zu sehr abkühlen würde.

*b)* Kupferammoniumnitrat und *c)* Kupferammoniumsulfat. Letzteres verdient wegen seiner Luftbeständigkeit den Vorzug.

5. Violette Licht wird durch gleichzeitige Beimischung rot und blau färbender Salze erzielt.

#### V. Stoffe für Funkenfeuer.

Funkensprühende Flammen erzeugt man, indem man unter den aus fein gepulverten Materialien gemischten Satz gröbere Partikelchen mengt, die nicht mit verbrannt, sondern glühend ausgestoßen werden.

1. Rotgelbe Funken erzielt man durch Kohlestückchen. Diese werden aus gepulverter Kohle hergestellt, die mit einer Lösung von 10 Tl. Kalisalpeter und

5 Tl. Gummi arabicum in 100 Tl. Wasser angefeuchtet, zum Kuchen ausgewalzt und durch ein Sieb gedrückt wird.

2. Weiße Funken liefert Aluminiumgrieß, Magnesiumgrieß und Eisen in Form von Bohr- oder feinen Drehspänen; auch feinstes Stahlpulver gibt einen anhaltenden Funkenregen. Langstrahlige Funkenfeuer wird durch eine Mischung von feinstvermahlenem Porzellan mit Mehlpulver hervorgebracht.

3. Gefärbte Funken erzeugt man durch Feilspäne von Zink (bläulichweiß), Messing (blaßgrün) und Kupfer (blaugrün).

#### VI. Anderweitige Stoffe.

1. Quecksilberchlorür wird den Farbsätzen beigegeben, um den Flammen lebhafteren Glanz zu verleihen.

2. Milchzucker wird farbigen Sätzen als die Verbrennung verlangsamer Kohlenstoffträger zugesetzt.

3. Zischende Geräusche werden durch Zusatz einer Mischung von Kaliumnitrat und Kaliumpikrat erzielt.

4. Als Bindemittel dienen Schellack (s. o.), Gummi arabicum, Mastix und Dextrin.

#### VII. Bereitung der Feuerwerkssätze.

Aus der beschränkten Anzahl der vorgenannten Stoffe lassen sich, je nach dem erstrebten Zwecke, die Feuerwerkssätze in reicher Mannigfaltigkeit zusammenstellen. Die Materialien werden zunächst auf genügende Reinheit und Feinheit untersucht (auf einem Sieb von 300 Maschen je  $1\text{ cm}^2$  soll im allgemeinen kein Rückstand verbleiben). Hierauf erfolgt die Vermischung entweder von Hand auf glatten Tafeln, in Schalen aus Holz, Hartgummi oder Papiermasse mittels Pinsel, Holzspatel u. s. w. oder bei größeren Mengen in drehbaren Trommeln, die bei Herstellung besonders empfindlicher Mischungen hinter einer Schutzwand aufgestellt werden müssen. Die einzelnen Stoffe werden unter Berücksichtigung des *spez. Gew.* und der Gefährlichkeit nacheinander beigemischt. Alle Schwefelantimon-, Aluminium- und Magnesiumpulver oder Chlorate enthaltenden Mischungen dürfen nur in kleinen Mengen und unter besonderen Vorsichtsmaßregeln hergestellt werden; denn sie stellen zum größten Teil kräftige Sprengstoffe dar, die schon zu  $\frac{1}{2}$ – $1\text{ kg}$ , in offener Schale in Brand gesteckt, sich bald so weit erhitzen, daß der Rest mit großer Gewalt explodiert. Praktisch mischt man daher die ungefährlicheren Bestandteile in größerer Menge zu Fundamentalsätzen zusammen und stellt durch Zugabe von leuchtenden oder färbenden Stoffen die besonderen Sätze in kleinerem Maßstabe her.

Der wichtigste Fundamentalsatz ist das unter „Explosivstoffe“ (Bd. IV, 738) näher beschriebene Schwarzpulver. Es wird als Kornpulver für Treib- und Ausstoßladungen und als Mehlpulver für Sätze und Zündungen verwendet. Letzteres braucht man nicht durch Mahlen des mühsam und kostspielig hergestellten Kornpulvers zu bereiten, sondern man verwendet die erste Mischung der Schwarzpulverbestandteile, den Pulversatz. Aus Schwarzpulversatz lassen sich mattere oder faulere Kohlensätsätze in beliebiger Abstufung durch Zugabe von 1–2% Kohle herstellen.

Als Ausgangsmaterial für eine große Anzahl weiterer Sätze dient ferner der Salpeterschwefel, bestehend aus 3 Tl. Kalisalpeter oder 4 Tl. Barytsalpeter und 1 Tl. Schwefel. Die Sätze für bunt gefärbte Flammen enthalten neben dem besonderen Farbkörper stets ein chloresures Salz; sie bedürfen dieses lebhafter sauerstoffabgebenden Mittels zur Erzielung der für die Vergasung der Farbkörper erforderlichen hohen Temperatur.

Nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über eine Anzahl der für die besonderen Zwecke möglichen Satzzusammenstellungen; von zwei ähnlichen Sätzen ist der erste der mattere.

Bestandteil	Sätze für Bengalfeuer			Treibsätze für Bränder		Funkensatz	Leuchtsätze für Lichter und Sterne											
	rot	grün	blau	%	%		weiß			gelb		rot	grün		blau		violett	
							%	%	%	%	%		%	%	%	%		
Kaliumnitrat	—	—	—	60	—	32	60	—	—	—	—	20	—	—	—	15	—	—
Bariumnitrat	—	9,5	—	—	—	—	—	58	65	36	—	—	55,5	—	46	—	—	—
Kaliumchlorat	10	—	54,5	—	—	—	—	—	—	36	—	40	—	—	—	—	—	42
Kaliumperchlorat	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23	—	—	47
Mehlpulver	—	—	—	—	73	32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kohle	—	—	18	25	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Schwefel	20	—	—	15	—	16	20	16	16	26	—	30	—	14	—	22	—	28
Schellack	—	9,5	—	—	—	—	—	—	—	—	14	—	7	—	—	—	—	2
Lampenschwarz	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3	1	—	—	—	—
Schwefelantimon	—	—	—	—	—	—	20	—	—	2	—	—	—	—	11	9	—	—
Aluminium	—	—	—	—	—	—	—	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Magnesium	—	—	—	—	—	—	—	—	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Natriumoxalat	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	10	—	—	—	—	—	—
Strontiumnitrat	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18
Strontiumoxalat	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	—	—	—	—	—
Bariumchlorat	—	58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	67	—	—	—
Bergblau	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	18	5
Kupferammonsulfat	—	—	27,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Eisenspäne	—	—	—	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Quecksilberchlorür	—	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	1,5	22	—	29	5
Milchzucker	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	—	—	15	—	—

Die Herstellung von Feuerwerkskörpern aus den Sätzen kann in vielen Fällen von Hand erfolgen, indem z. B. die chlorathaltigen Sätze mit wässriger Dextrin- oder alkoholischer Schellacklösung durchfeuchtet und zu Leuchtkugeln geformt werden. Soll gleichzeitig zur Regelung der Brenndauer eine Verdichtung des Satzes erfolgen, so werden die Leuchtsterne aus dem zu einem flachen Kuchen ausgewalzten Satzteil mittels Messingröhrchen ausgestochen und durch einen Holzstempel ausgetrieben. Nach diesem Verfahren kann man auch Körner aus bunten Sätzen für Funkenfeuer herstellen. Die Leuchtsterne werden zur besseren Zündungsübertragung in Mehlpulver gewälzt und getrocknet. Stärkeren Druck gibt man durch Pressen in einer Messingmatrize unter der Spindelpresse. Trocken zu verarbeitende Sätze werden in Papier- oder Zinkhülsen eingestopft oder zur Verdichtung eingeschlagen oder schließlich in Stahlmatrizen unter hydraulischen Pressen gepreßt.

### VIII. Zündungen.

Die Zündungen dienen zur Übertragung eines genügend kräftigen Feuerstrahls auf den Feuerwerkskörper und sind zum Teil mit diesem fest verbunden, zum Teil werden sie zum „Anstecken“ benutzt; die wichtigsten sind folgende:

1. Anfeuerungsteig ist mit Alkohol angerührtes Mehlpulver. Man knetet 1 kg Mehlpulver mit einer dickflüssigen Gummi-arabicum-Lösung durch und rührt dann mit 600–700 cm<sup>3</sup> verdünntem Alkohol (3:1) an. Anfeuerung dient zum Herstellen von Zündläden, zum Befestigen der Zündleitungen in den Brandlöchern der Feuerwerksstücke, zum Bestreichen schwer feuerlangender Leuchtkugeln u. s. w.

2. Zündfäden oder Stoppinen sind 3–6fache Baumwollfäden, die durch 24stündiges Eintauchen dicht mit Anfeuerung bekleidet, dann mit Mehlpulver gepudert und getrocknet sind. Als Leitfeuer bei Feuerwerksstücken erhalten sie eine Papierumhüllung.

3. Luntens sind langsam verglimmende Hanfstricke, hergestellt durch 2tägiges Tränken mit einer Bleizuckerlösung (50 g Bleizucker auf 1 kg Hanfstrick, Flüssigkeit diesen gerade bedeckend).

4. Zündlichter geben einen kräftigeren Feuerstrahl als Stoppinen und Luntens. Es sind bis 50 cm lange und 1 cm weite Papierhülsen, die mit leicht verdichtetem Brandsatz gestopft sind (32 Tl. Kalisalpete, 10 Tl. Schwefel, 3 Tl. Schwefelantimon, 55 Tl. Mehlpulver).

5. Pillenlichte dienen zum Anzünden großer Raketen. Es sind Zylinder von 4 cm Höhe und 1,5 cm Durchmesser aus etwa 14 g Brandsatz (63 Tl. Kalisalpete, 21 Tl. Schwefel und 16 Tl. Mehlpulver), der mit einem Druck von 50 Atm. verdichtet wird. Am vorderen Ende des Pillenlichtes ist eine Zündpille eingesetzt (50 Tl. Kaliumchlorat, 30 Tl. Schwefelantimon, 20 Tl. Kornpulver), die durch ein vorgehaltenes Schloß mit kräftigem Schlagbolzen entzündet wird.

6. Zeit- oder Sicherheitszünder dienen zur Entzündung eines Feuerwerkskörpers nach Ablauf einer bestimmten Zeit. Es sind Pappröhrchen von ungefähr 6 mm Durchmesser, in die Kornpulver so fest eingeschlagen oder gepreßt ist, daß 1 cm des Zylinders in einer Sekunde abbrannt.

Durch Abschneiden eines Satzröhrchens von einigen Zentimetern erhält man einen Zünder von der entsprechenden Anzahl Sekunden Brenndauer.

7. Initialzündungen für Treib- und Sprengladungen im Heeres- und Bergwerksgebrauch sind Zündhütchen und Sprengkapseln (s. Explosivstoffe, Bd. IV, 152).

**B. Lustfeuerwerkerei.**

Aufgabe der Lustfeuerwerkerei ist die Anfertigung von Feuerwerkskörpern sowie ihre Vereinigung zu größeren Feuerwerksstücken und schließlich zu Feuerwerksschaustellungen.

**I. Einfache Flammen.**

1. Blitzlicht für photographische Aufnahmen bei Dunkelheit ist fast stets Magnesiumlicht. Das Blitzlichtpulver (z. B. 50 Tl. Magnesium und 50 Tl. Kalisalpeter oder 45 Tl. Magnesium und 55 Tl. Kaliumchlorat oder 30 Tl. Magnesium, 10 Tl. Schwefelantimon und 60 Tl. Kaliumchlorat) wird auf unverbrennlicher Unterlage mittels salpetergetränkter Papierstreifens entzündet (s. unter Photographie).

2. Theaterblitze erzielt man durch Einblasen von Lycopodium (s. d.) in eine Weingeistflamme.

3. Bengalisches Feuer wird durch Abbrennen der lose eingeschütteten Sätze in Blechpfannen erzeugt.

**II. Feststehende Feuerwerkskörper.**

1. Kanonenschläge, die gewöhnlich zur Einleitung eines größeren Feuerwerks dienen, werden durch Explosion von eingeschlossenem Schwarzpulver erzeugt. Das Pulver wird in eine beiderseits zugewürgte, mit Ton versetzte zylindrische Papphülse oder eine kubische Pappschachtel eingefüllt, das Gefäß mit mehreren Lagen dicker Schnur umwickelt und verleimt. Zur Entzündung dient eine lange Stoppine, die durch eine Bohrung in der Gefäßwandung bis in das Pulver geführt und im Brandloch mit Anfeuerung befestigt ist.

2. Bränder (Fontänen, Gold- und Silberregen) sind mit einem Funkensatz geladene, dickwandige Papphülsen. Die Hülse wird mit dem auf  $\frac{1}{3}$  seiner Weite zugewürgten Ende auf einen Dorn gesetzt, mit Tonmehl, einem leicht entzündlichen Satz und dem Funken- oder Brillantsatz vollgeschlagen und durch Verkorken und Zuwürgen verschlossen. Die Stoppine wird in das Loch eingeführt, das der Dorn ausgespart hat, und mit Anfeuerung verstrichen. Sollen die Bränder mit Schlag endigen, so erhalten sie über dem Satz eine durchbohrte Schlagscheibe und darüber eine Schicht loses Kornpulver.

3. Zusammengesetzte Bränder ergeben eine große Anzahl verschiedenartiger Feuerwerksstücke, wie Fächer (Abb. 189), Sonnen, Glorien, Wasserfälle, Palmbäume, Mosaikfeuer u. s. w.

4. Römische Lichter (Abb. 190) stoßen abwechselnd Funkenfeuer und farbige Leuchtkugeln aus. Bis 50 cm lange und 2–3 cm weite Papphülsen werden an einem Ende zugewürgt oder durch einen Holzpfropfen *a* verschlossen und mit Ton *b* versetzt. Hierauf wird abwechselnd eine Kornpulverausstoßladung *c*, eine Leuchtkugel *d* und Funkensatz *e* eingestopft.

5. Fässer oder Töpfe (pots à feu) (Abb. 191) sind bis 20 cm weite und entsprechend starke Papphülsen, die mit einem kräftigen Holzboden fest verbunden sind.

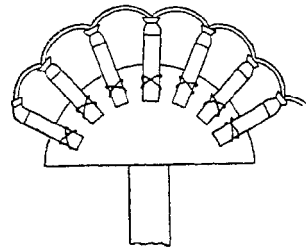


Abb. 189. Fächerartiger Bränder.

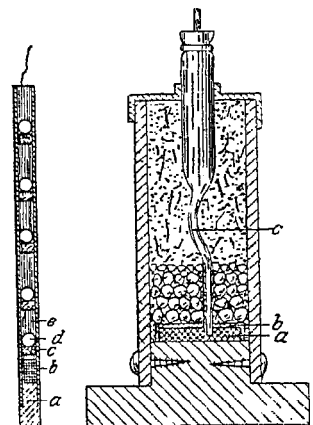


Abb. 190. Römisches Licht.

Abb. 191. Feuertöpfe.

Sie erhalten eine Schwarzpulverladung  $a$  ( $\frac{1}{20}$ – $\frac{1}{15}$  des auszustoßenden Gewichts), die durch einen Pappdeckel als Stoßboden  $b$  abgeschlossen wird. Dieser ist in der Mitte durchbohrt und auf der oberen Fläche mit Anfeuerung bestrichen. In die Bohrung ist eine Stoppine  $c$  eingesetzt, an die oben ein Bränder angeschlossen ist. Über den Stoßboden werden Leuchtkugeln oder Frösche (s. u.) oder Schwärmer gebracht; der übrige Hohlraum wird mit Sägespänen ausgefüllt und hierauf ein Pappdeckel aufgeleimt, der ein Loch für den Bränder hat. Diese Kästen sprühen also erst einen Funkenregen und stoßen zum Schluß Leuchtkugeln u. s. w. aus.

### III. Feuerwerkskörper mit geradliniger Bewegung.

1. Frösche werden aus etwa 50 cm langen und  $\frac{1}{2}$  cm weiten Papierhülsen gefertigt. Diese werden mit Mehlpulver gefüllt, in Längen von 5–6 cm im Zickzack gekniff und in der Mitte mit Bindfaden umschnürt. Beim Abbrennen schlägt der Feuerstrahl in den Kniffstellen durch und schleudert den Frosch jedesmal in entgegengesetzter Richtung fort.

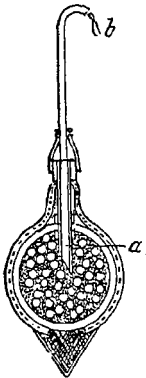


Abb. 192.  
Bomben nach  
FALBESONER.

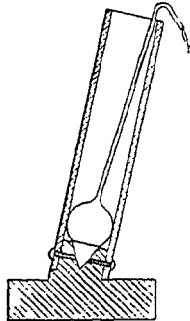


Abb. 193.  
Bombenmörser.

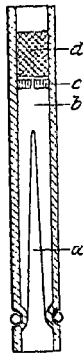


Abb. 194.  
Schnitt durch  
eine Rakete.



Abb. 195.  
Rakete.



Abb. 196.  
Schnitt durch Raketen mit  
Schwärmern und Leucht-  
kugeln.



Abb. 196a.  
Schnitt durch Raketen mit  
Leuchtkugeln.

2. Schwärmer sind 10–12 cm lange, starkwandige Papphülsen, die mit scharfem Funkensatz und einer Schicht Kornpulver geladen sind. Durch das Brandloch am Satzende der Hülse wird eine Stoppine eingeführt und mit Anfeuerung befestigt. Nach dem Anzünden wird der Schwärmer in die Luft geschleudert, wo er Funkenfeuer sprüht und zurückschießend mit einem Knall zerplatzt. Kreiselnde Schwärmer werden auch am Satzende verschlossen und erhalten das Brandloch seitlich. Bringt man das Kornpulver in der Mitte der Hülse und den Funkensatz nach beiden Enden zu unter, so kann man zwei durch eine Stoppine verbundene Brandlöcher anbringen, in jeder Satzschicht eines. Durch beliebiges Versetzen dieser Brandlöcher gegeneinander (beide seitlich, aber um  $90^\circ$  oder um  $180^\circ$  gedreht, oder eines seitlich und eines am Ende der Hülse) erzielt man die mannigfachsten Kreisel- und Purzelbewegungen des Schwärmers.

3. Bomben (Abb. 192) sind kugelförmige Pappkörper bis zu 20 cm Durchmesser, die im unteren konischen Ansatz eine Treibladung ( $\frac{1}{15}$  vom Gesamtgewicht) haben und aus Mörsern (Abb. 193) verschossen werden. Diese bestehen bei kleineren Kalibern aus starkwandigen Papphülsen, die mit einem Holzsockel fest verbunden sind; die größeren (10 cm Durchmesser) sind Metallmörser. Der aus 2 Hohlkugeln zusammengesetzte Bombenkörper wird mit Leuchtkugeln gefüllt; in ihn reicht ein Zeitzünder  $a$  (Abb. 192) hinein, der beim Anzünden der in die Treibladung führenden Stoppine  $b$  Feuer bekommt und so lang gewählt ist, daß die Bombe am höchsten Punkte ihrer Flugbahn zerplatzt und die Leuchtkugeln ausstößt.

4. Raketen sind mit einer stark verdichteten Treibladung gefüllte Papphülsen, bis etwa 40 cm lang, die, einen Feuerstrahl hinterlassend, 300–400 m hoch in die Luft steigen. Die Treibladung besteht aus feinkörnigem Schwarzpulver (74 Tl. Kalisalpeter, 10 Tl. Schwefel und 16 Tl. Kohle [25 % ig]). Um die zum Emportreiben der Rakete erforderliche Menge Pulvergase zu erzeugen, erhält die Satzsäule eine Ausbohrung oder Seele *a* (Abb. 194), so daß die Verbrennung sich sogleich über eine große Oberfläche verbreitet. Zu diesem Zwecke wird die Raketenhülse über einen konischen Dorn in einen Stock eingesetzt, hierauf das Pulver ratenweise eingefüllt und mit kräftigen Schlägen verdichtet. Die Satzsäule wird höher geschlagen, als der Dorn ist, so daß den Schluß eine Satzschicht *b*, die Zehrung, bildet. Soll die Rakete mit einem Knall endigen, so wird auf die Zehrung eine durchbohrte Schlagscheibe *c* aus Pappe oder Holz gesetzt, hierauf loses Kornpulver *d* gefüllt und die Hülse zugewürgt. Die Entzündung der Raketen erfolgt wie bei den Brändern; ihre geradlinige Bewegung wird durch einen angebandenen, leichten Stab gesichert (Abb. 195). Sehr wirkungsvoll sind versetzte Raketen, deren Hülse oben offen bleibt und eine Haube trägt, die mit Schwärmern (Abb. 196), Leuchtkugeln (Abb. 196*a*) oder ähnlichem ausgefüllt ist. Auch ein Leuchtschirm mit Fallschirm kann in der Raketenhaube untergebracht werden. Über der Schlagscheibe liegt eine Ausstoßladung, die am höchsten Punkte der Flugbahn die spitze Haubenkappe abstößt und die Schwärmer u. s. w. brennend auswirft.

#### IV. Feuerwerk mit drehender Bewegung.

Sich im Kreise drehende Feuerwerkskörper erhält man, indem man Bränder auf einer Scheibe befestigt und diese drehbar auf eine Achse setzt; durch den Rückstoß der ausströmenden Bränderflammen wird dann das ganze Feuerwerksstück gedreht. Auf diese Weise lassen sich Feuerräder mit einer beliebigen Anzahl von Brändern, sich drehende Sonnen (Abb. 197) oder größere Kombinationen, wie Windmühlen u. a. m., herstellen.

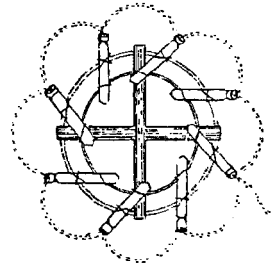


Abb. 197. Drehende Sonne.

#### V. Wasserfeuerwerk.

Ein Wasserfeuerwerk besteht, wie schon der Name sagt, aus Feuerwerksstücken, die auf dem Wasser abgebrannt werden, sich aber grundsätzlich von den bisher beschriebenen unterscheiden. So zeigt Abb. 198 einen Taucher, der aus einer Bränderhülse hergestellt ist. Diese hat als Schwimmvorrichtung einen konischen Hohlmantel aus gefirnibter Pappe bekommen und ist unten durch ein Gewicht beschwert. Die Ladung besteht abwechselnd aus Funkensatz und verdichtetem Schwarzpulver, so daß der Taucher zuerst einen Funkenregen auswirft, darauf durch den Pulverrückstoß untertaucht, wieder zum Vorschein kommt u. s. w. Durch eine ähnliche Schwimmvorrichtung lassen sich Fontänen, römische Lichter u. a. für Wasserfeuerwerk nutzbar machen.

#### VI. Tagesfeuerwerk.

Bei Tag veranstaltetes Feuerwerk kann natürlich nicht die glänzende Licht- und Farbenwirkung der bei Dunkelheit abgebrannten Feuerwerkskörper haben. Es kommen hauptsächlich Bomben zur Verwendung, die am höchsten Punkt ihrer Flugbahn zerplatzen und allerlei Figuren (Tiere, Kinder, Soldaten, tanzende Paare u. s. w.) ausstoßen. Diese sind als unten offene Hohlkörper aus Seidenpapier hergestellt, blasen sich, da der untere Rand beschwert ist, wie ein Luftballon auf und schweben lange Zeit in der Luft. Abb. 199 zeigt eine derartige Bombe von 10 cm Durchmesser, in deren konischem Ansatz *a* die Treibladung von 30 g Kornpulver



untergebracht ist. Ein Zeitzünder reicht in die Ausstoßladung *b* (10 g), die am höchsten Punkt der Flugbahn entzündet wird und eine Kugel *c* auswirft, deren beide Schalen auseinanderfallen und die Papierfigur von etwa 1 m Höhe und  $\frac{3}{4}$  m Durchmesser freigeben. Solche Bomben haben bis zu 20 cm Durchmesser und werden aus Mörsern (Abb. 193) verschossen.

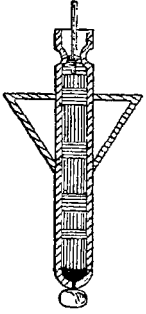


Abb. 198.  
Taucher

### VII. Zimmer- und Scherzfeuerwerk.

Für Verwendung im Zimmer bestimmte Feuerwerksstücke unterscheiden sich im allgemeinen von den bisher beschriebenen nicht wesentlich; sie sind nur von erheblich kleinerem Kaliber. Es gibt also auch hier Kanonenschläge, Goldregen, Bomben, römische Lichter, Frösche, Sonnen u. s. w. Auch das Tagesfeuerwerk läßt sich der Verwendung im Zimmer anpassen.

In ihrer Wirkung dem in Hülsen geladenen Silberregen ähnlich, jedoch billiger herzustellen und leichter zu handhaben sind die Wunderkerzen, die einen be-

liebten Christbaumschmuck darstellen. Es sind 10–20 cm lange Drähte, die auf etwa  $\frac{2}{3}$  ihrer Länge mit mattem Funkensatz bestrichen sind. Dieser wird z. B. aus 55 Tl. Bariumnitrat, 5 Tl. Aluminiumpulver, 25 Tl. Eisenfeile und 15 Tl. Dextrin gemengt und mit Wasser zu einem zähen Brei angerührt. Nach dem Anzünden sprühen die Wunderkerzen einen weißen Funkenregen.

Zum Zimmerfeuerwerk gehören schließlich noch Pharaoschlangen und Vulkane. Dies sind zylindrische oder kegelförmige, mit Quecksilberrhodanür gefüllte Stanniolpatronen, die nach dem Anzünden eine graue, schlangenförmig sich aufblähende Asche ausstoßen. Derartige Patronen finden auch bei den bekannten Choleramännchen oder Hinterladern Verwendung. Da sich bei der Verbrennung des Rhodanquecksilbers unter anderm Quecksilber und Schwefelkohlenstoff entwickeln, so sind die mit ihm hergestellten Scherzartikel mit größter Vorsicht zu verwenden, wenn sie nicht eine recht gesundheitsschädliche Wirkung ausüben sollen. Eine ähnliche schlangenförmig aufgeblähte Asche geben Patronen aus einem Gemenge von 50 Tl. Zucker mit 30 Tl. Kaliumbichromat und 10 Tl. Kalisalpeter, die mit Perubalsam zu einer zähen Paste angerührt und gleichfalls in Stanniol eingehüllt werden. Der auf Kosten des Chromat-Nitrat-Sauerstoffs unvollkommen verbrennende Zucker liefert eine sehr voluminöse Kohle, die durch die gasförmigen Verbrennungsprodukte noch weiter aufgebläht wird.

Der Knallapparat der Knallbonbons wird aus zwei schmalen Papierstreifen hergestellt, die an einem Ende etwa 2 cm weit mit Leim bestrichen und mit Glaspulver bestreut werden. Nach dem Trocknen bringt man hinter den Glasbelag des einen Streifens etwa 0,002–0,003 g Knallsilber, legt beide Streifen mit den bestrichenen Seiten so aufeinander, daß das Knallsilber beiderseits von dem Glaspulver begrenzt ist, und umwickelt mit Papier. Beim Abziehen muß einer der beiden Glaspulverbelege über das Knallsilber streifen und es zur Detonation bringen.

Krawallkörner oder Radauplätzchen werden auf den Boden gestreut und detonieren beim Auftreten. Sie sind aus einem Gemisch von Phosphor und Kaliumchlorat mit einem Bindemittel (Gummi arabicum, Tragant) zu Blättchen geformt.

Knallerbsen detonieren, wenn man sie auf den Boden wirft. Es sind Seidenpapierhülsen, mit 0,002 g Knallquecksilber (oder Silber- und Quecksilberfulminat zu gleichen Teilen) belegt, mit 3–4 Kieselsteinchen gefüllt und zusammengedreht.

Zündblättchen (Amorces) enthalten 0,004–0,005 g Knallsatz zwischen roten Papierstreifen. Der Satz besteht aus 76 % Kaliumchlorat, 10 % Phosphor, 10 % Schwefelantimon und 4 % Schwefel.

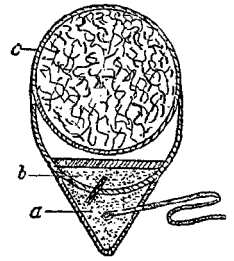


Abb. 199.  
Bombe für Tages-  
feuerwerk.

Eine ähnliche, etwas kräftigere Wirkung hat der Knallkork oder Knallfix. Dieser besteht aus einer einseitig geschlossenen Messingröhre, in die ein beweglicher Nadelbolzen mit der Spitze nach dem offenen Ende zu und hierauf eine Spiralfeder eingeschoben ist. Den Abschluß bildet ein Korken, der am inneren Ende 4–5 mm tief und etwa 6 mm weit angebohrt ist. Diese Bohrung wird zu  $\frac{2}{3}$  mit einer Knallsatzpille aus Phosphor, Kaliumchlorat und Gummi arabicum gefüllt. Führt man mit der Hülse eine kräftige Rückstoßbewegung aus, so drückt der Nadelbolzen die Spiralfeder zusammen, die Satzpille wird von der Nadel angestochen und detoniert mit lautem Knall.

### VIII. Fackeln.

Zur Herstellung von Fackeln (für Fackelzüge) werden starke Bindfäden, am besten Zuckerhutschnüre, in einer 10%igen Salpeterlösung getränkt und nach dem Trocknen spiralförmig um das obere Ende eines fingerdicken Holzstabes gewickelt. Hierauf wird der Stab wiederholt in eine Mischung von 75 Tl. Fichtenharz, 10 Tl. Terpentin und 15 Tl. Schwefel getaucht, bis er etwa  $2\frac{1}{2}$  cm Durchmesser hat, und schließlich durch Rollen zwischen 2 Brettern zylindrisch gemacht.

### C. Ernst- und Kriegsfeuerwerkerei.

Das Gebiet der Ernstfeuerwerkerei ist beschränkt; es umfaßt die Herstellung der Magnesium-Leucht- und Signalfackeln und der Knallsignale für die Eisenbahn, Feuerwehr u. s. w. und der Rettungsraketen für Schiffbrüchige. Zu erwähnen ist noch die Zündschnur, die jedoch als Gegenstand der Kriegsfeuerwerkerei behandelt wird.

1. Magnesiumfackeln (Abb. 200) bestehen aus einer 55 cm langen und 3 cm weiten Zinkhülse mit eingelötetem Zwischenboden *a*, in deren längeren Teil *b* (50 cm) der Leuchtsatz eingestopft und in deren kürzeren Teil *c* ein Stab gesteckt wird; als oberer Abschluß wird ein Korkpfropfen *d* aufgesetzt. Zum Anzünden dient ein Pillenlicht. Die Brenndauer der Fackeln beträgt etwa 12'. Zur Beleuchtung dienen weiße, für besondere Signale rote Fackeln. Die Zusammensetzung des Leuchtsatzes ist folgende:

Weiß. Bariumnitrat 76%, Magnesiumpulver 12%, Schellack 4%, Kolophonium 8%. Rot. Strontiumnitrat 78%, Strontiumchlorat 3%, Magnesiumpulver 3%, Schellack 8%, Kolophonium 8%.

2. Als Knallsignale dienen Chlorat- oder Perchloratmischungen in dünnen Blech- oder Celluloidbüchsen. Ein vorgelegter empfindlicher Satz kommt unter den Lokomotivrädern zur Entzündung.

3. Rettungsraketen dienen dazu, über ein gestrandetes Schiff eine Leine hinwegzuschießen, an der dann ein kräftigeres Tau zur Personenbeförderung u. s. w. nachgezogen werden kann (Abb. 201).

In eine Kupferhülse *a* von 8 cm lichter Weite sind 4 kg feinkörniges Raketenpulver in einzelnen Portionen unter einer hydraulischen Presse mit 100–120 Atm. Druck eingepreßt. Da bei diesen Drucken ein Pressen über dem Dorn nicht gut möglich ist, wird die Seele nachträglich ausgebohrt (s. Abb. 201). Durch eine Stabgabel *b* ist an der Raketenhülse ein Holzstab befestigt, der an einer Kette das von einer Rolle ablaufende Seil trägt. Das Gleichgewicht wird durch die Vorderbeschwerung *c* gesichert, eine massive gußeiserne Kappe. Die fertige Rakete wiegt mit allem Zubehör 30 kg und fliegt etwa 420 m weit. Eine einfacher gebaute Rakete von 5 cm Hülsendurchmesser hat eine Flugweite von etwa 300 m. — Ob Raketen sich zum Antrieb terrestrischer oder kosmischer Beförderungsmittel eignen, muß erst die Zukunft lehren.

Die Kriegsfeuerwerkerei umfaßt im weitesten Sinne die Herstellung der gesamten Munition mit Einschluß der Zündungen für Waffen und Geschosse und der besonderen Kriegsfeuer; im engeren Sinne des Begriffs Feuerwerkerei sind hier jedoch nur die Leucht- und Signalmittel und die Zündschnüre, Flammenwerfer und Rauchentwickler zu behandeln.

1. Signalraketen. Zur Geländebeleuchtung ist die Rakete durch den Scheinwerfer vollständig verdrängt worden; sie dient nur noch in kleineren Abmessungen zu Signalzwecken. Diese Signalraketen (Abb. 202) bestehen aus einer 3,5-cm-Kupfer-

hülse mit Pulverladung und ausgebohrter Seele, der mit Leuchtkugeln ausgesetzten Haube und der Stabgabel mit Stab. Die innere Einrichtung zeigt in vergrößertem Maßstabe Abb. 203; durch ein Pillenlicht wird der Zeitzünder *a* entzündet, durch diesen die Treibladung *b*. Nach Abbrennen der Zehrung *c* gerät der zweite Zeitzünder *d* in Brand. Dieser entzündet schließlich die Leuchtsterne, die die Spitzkappe abstoßen und brennend herabfallen.

2. Leucht- und Signalpatronen. Zur schnellen Beleuchtung kleiner Geländeabschnitte dienen Leuchtpatronen.

Dies sind Messing- oder Papphülsen (ähnlich den Jagdpatronen) von 2,5 cm lichter Weite (Kaliber 4), die mit 2–3 g Pulver und einem Leuchtstern aus stark komprimiertem Aluminium- oder seltener Magnesiumleuchtsatz geladen und aus besonderen Pistolen verschossen werden. Für Signalzwecke dienen Patronen mit farbigen Leuchtsternen.

3. Die Sicherheitszündschnur wurde 1831 von BICKFORD erfunden und besteht aus einer Seele von langsam brennendem, feinkörnigem Schwarzpulver, das durch einen aus Fäden gesponnenen Schlauch zusammengehalten wird (*Ztschr. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen* 5, 87, 107, 130, 140, 168 [1910]). Der Name besagt, daß die Zünd-

schnur so langsam verbrennt, daß man nach dem Anzünden eines entsprechend langen Stückes genügend Zeit hat, sich in Sicherheit zu bringen, ehe das Feuer auf die Sprengladung übertragen wird, und daß die Verbrennung nicht auf andere, seitlich in geringem Abstand liegende Zündschnüre übergreift (*Ztschr. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen* 8, 105 [1913]). Verwendung findet die Sicherheitszündschnur hauptsächlich bei Sprengungen mit brisanten Sprengstoffen unter Vermittlung einer Sprengkapsel; sie ist also nicht lediglich für kriegerische Zwecke bestimmt, sondern wird in ausgedehntem Maße auch in Bergwerken, Steinbrüchen, Tongruben u. s. w. angewendet. Um ein Versagen der Zündschnur bei Regen und in feuchtem Boden zu vermeiden und sie gegen Beschädigungen widerstandsfähiger zu machen, wird sie mit einer Teermischung imprägniert. Soll sie zu Sprengungen unter Wasser verwendet oder in nassem Boden verlegt werden, so erhält sie über der Teerung noch einen nahtlosen Guttaperchaüberzug.

Abb. 204. Schema für die Herstellung von Zündschnüren.

würde die Brennzeit des Pulvers zunächst erheblich verlängern und schon nach 2–3 Monaten sein vollständiges Verderben verursachen. Die Garnpuppen werden daher 12 h bei 70° mit einer Seifenlösung (8 kg Seife und 50 l Wasser auf 10 kg Garn) ausgelaugt und dann je l 2 h mit einer 1% igen Sodalösung und mit klarem Wasser gekocht. Das gespülte und getrocknete Garn darf höchstens noch 0,3% Fett enthalten (durch Ausziehen mit Äther ermittelt). Das so vorbereitete Garn wird auf Haspeln gespannt und auf einer Spulmaschine auf Spulen gewickelt.

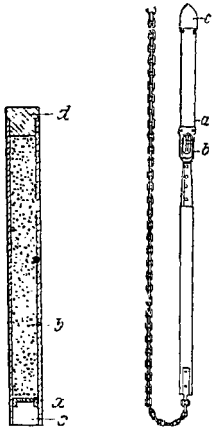


Abb. 200. Schnitt durch eine Magnesiumfackel.



Abb. 201. Rettungsrakete.

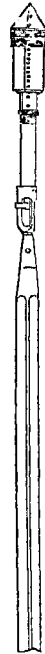


Abb. 202. Signalarakete.

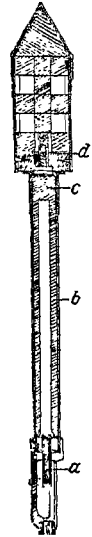


Abb. 203. Schnitt durch eine Signalarakete.

Der Spinnvorgang wird durch Abb. 204 veranschaulicht. Aus dem Trichter *a* wird das Zündschnurpulver durch den Nähbaumwollseelenfaden *b* in gleichmäßigem Strom mitgenommen und von den durch die Düse *c* eingeführten Fäden des unteren Spulentellers umspinnen. Die von der Spinnmaschine unten ablaufende Schnur wird auf einer Haspel aufgenommen und von dieser aus durch ein Teerbad, das ähnlich angeordnet ist wie die Imprägnierpfanne (Bd. I, 645, Abb. 197), geschickt. Dieses besteht aus 1 Tl. Teer, 5 Tl. Kienpech und 1 Tl. Kolophonium und wird in einer doppelwandigen Wanne durch Dampf auf 100° erhitzt. Die Schnur verläßt das Bad durch eine Abstreichdüse und wird von hier in die Guttaperchapresse geführt. Diese ist ein aufrechtstehender, doppelwandiger Gußeisenzylinder, der auf 60–70° erwärmt wird. In ihm wird durch Schraubenspindel ein Stempel herabgedrückt, der die Guttapercha um die Schnur preßt und sie allmählich in dem Maße nachdrückt, wie sie mit der Schnur die Abstreichdüse verläßt. Vor dem Einbringen in den Preßzylinder wird die Guttapercha in einem besonderen Apparat 20' bei 50–60° zwischen Riffelwalzen durchgeknetet. Abb. 205 zeigt den untersten Teil des von dem Dampfmantel *a* umgebenen Zylinders und den Preßkopf *b*. Die Schnur wird durch den Steg *c* eingeführt; die Guttapercha preßt sich durch das Einsatzstück *d* hindurch und umhüllt die Schnur an der Stelle *e*; der Überschub wird durch die Düse *f* abgestreift. Die Schnur hat nunmehr einen Durchmesser von 5,6 mm, der Guttaperchamantel eine Dicke von 0,4 mm. Kurz nach dem Austritt aus der Presse wird die Zündschnur noch auf etwa 25 m durch kaltes Wasser geführt, damit der Überzug erhärtet, und ist dann gebrauchsfertig.

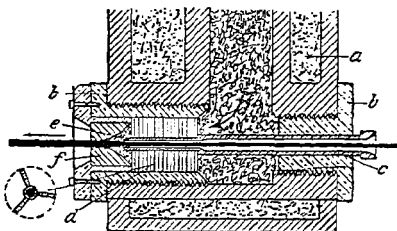


Abb. 205. Schema für das Überziehen der Zündschnur mit Guttapercha.

Nach einem anderen Verfahren wird die Zündschnur mittels allmählich vergrößerter Düsen durch eine Reihe doppelwandiger gußeiserner Pfannen gezogen, in denen die Guttapercha durch gespannten Dampf vollständig verflüssigt wird. Die Schalen sind in Abständen von mehreren Metern hintereinander angeordnet, so daß der sich allmählich verstärkende Guttaperchaüberzug immer wieder erhärten kann.

Die Verbrennungsgeschwindigkeit der Guttaperchazündschnur beträgt ungefähr 1 cm in 1". Sie wird in erster Linie durch die Beschaffenheit des Pulvers bedingt, das aus 79% Kalisalpeter, 14% Schwefel und 7% Kohle besteht, 0,15–0,45 mm Korngröße und 1–1,5% Feuchtigkeit hat. Sehr wichtig für sicheres Wirken der Zündschnur ist, daß das Pulver eine ununterbrochen dichte Säule bildet; denn sobald Hohlräume auftreten, schlägt das Feuer an diesen Stellen schneller durch, und die Verbrennungsgeschwindigkeit kann sich bis zur Verpuffung steigern. Solche Fehler können ihren Grund in mangelhafter Fertigung haben, aber auch durch unsachgemäße Behandlung des Fabrikats (oftmaliges Brechen, starkes Pressen und Schlagen) entstanden sein. Man kann durch Schlagen mit einem Hammer die Pulversäule derart lockern, daß die Zündschnur verpufft, anstatt gleichmäßig langsam fortzubrennen, wodurch natürlich ihre „Sicherheit“ hinfällig wird. Von großem Einfluß auf die Verbrennungsgeschwindigkeit ist ferner Druck und Temperatur (*Ztschr. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen* 7, 285, 305, 362 [1912]). Dies ist von besonderer Wichtigkeit für die Verwendung von Sicherheitszündschnur in stark verdämmten Bohrlöchern. Die Verbrennungsgase der Schnur können hier nicht ungehindert entweichen und üben einen ständig zunehmenden Druck auf sie aus, der deutlich beschleunigend auf die Verbrennungsgeschwindigkeit wirkt, die sich nach besonderen Versuchen (l. c.) in Sand um 20–30%, in feuchtem Ton sogar um 59% steigert. Erhebliche Temperaturerhöhung bewirkt, daß die Imprägnierungsmasse erweicht und capillar bis in die Pulverseele gesaugt wird, wodurch die Verbrennung zunächst verlangsamt und allmählich das Pulver vollkommen verdorben wird, wie beim Verspinnen fetthaltigen Garnes. Starke Abkühlung beschleunigt zunächst die Verbrennungsgeschwindigkeit, indem sich die Imprägnierungsmasse zusammenzieht und sich hierdurch der Druck auf die Pulverseele erhöht. Allmählich wird aber die entgegengesetzte Wirkung erreicht, indem die Umhüllung spröde wird und schon bei geringem Druck abblättert, so daß die entweichenden Verbrennungsgase kaum noch Widerstand finden.

Einen vollwertigen Ersatz für die Guttapercha als Zündschnurüberzug bietet die Acetylcellulose. Eingehende Versuche haben gezeigt, daß sie einen gegen Feuchtigkeit, mechanische Beanspruchung und extreme Temperaturen äußerst widerstands-

fähigen Überzug liefert und daß mit ihr hergestellte Zündschnur im übrigen die gleichen Eigenschaften hat wie Guttaperchazündschnur.

4. Schnellzündschnur dient in erster Linie militärischen Zwecken zur Entzündung von Minen, aber auch zur möglichst gleichzeitigen Entzündung mehrerer Sprengladungen von einem Punkt aus, wenn man hierfür nicht die elektrische Zündung vorzieht. Nach den bei der Sicherheitszündschnur gemachten Ausführungen erhält man eine schnellbrennende Zündschnur, wenn man die Pulversäule so locker gestaltet, daß der Feuerstrahl glatt durchschlagen kann.

Nach diesem Grundsatz stellt man Schnellzündschnur von 150–200 *m* Brenngeschwindigkeit in der Sekunde folgendermaßen her: Doppelte, lose Baumwollfäden (Lichtgarn) werden 24<sup>h</sup> in Anfeuerungsmasse getaucht, getrocknet, darauf nochmals 24<sup>h</sup> in frische, mit Gummi arabicum versetzte Masse getaucht und mit Mehlpulver gepudert. Je drei solcher Doppelfäden bilden die Seele der Schnellzündschnur; sie werden in eine Klöppelmaschine geschickt, die einen Wachstuchstreifen umfaltet und eine Baumwollgarnumspinnung aufbringt. Hierauf wird die Schnur in Gummimasse wasserdicht eingehüllt, ähnlich wie die Guttaperchazündschnur in Guttapercha, nur daß bei der weicheren Gummimasse eine Schneckenförderung an Stelle des Preßstempels genügt. Zum Schluß wird die Schnellzündschnur mit feinem Bindfaden umklöppelt, unter dem zum Schutz gegen Zerreißen 8 Längsfäden eingelegt sind.

Neben Schnellzündschnur mit Schwarzpulverseele werden sog. detonierende Zündschnüre mit 5000–7000 *m* Brenngeschwindigkeit hergestellt. Man füllt z. B. geschmolzenes Trinitrotoluol in ein Blei- oder Zinnrohr und walzt dieses dann aus. Diese Zündschnüre sind jedoch sehr schwer, empfindlich gegen Knickung und bei Verwendung von Zinn nicht kältebeständig. Besser bewährt haben sich umspinnene Zündschnüre mit einer Seele von Knallquecksilber, das durch Zusatz von 20% Paraffin unempfindlich gemacht worden ist (Österreich). Auch Pikrinsäure (Frankreich) und andere Nitroverbindungen (Tetranitropentaerythrit, Trinitrophenylnitramin u. ä.) haben hierfür Verwendung gefunden.

5. Die Flammenwerfer schleudern brennende Massen, meist durch eine Zündvorrichtung in Brand gesetzte Flüssigkeiten, in die feindlichen Stellungen. Verwandt werden hierfür leichtentzündliche Kohlenwasserstoffe, Lösungen von Phosphor in Schwefelkohlenstoff, von Schießbaumwolle in Äther u. ä. Dem gleichen Zwecke dient auch die Brandröhre, eine 5-*cm*-Raketenhülse, die unter 80 *Atm.* Druck mit 1,7 *kg* Brandsatz (80 Tl. Mehlpulver und 20 Tl. Schwefel) geladen und mit einem Zünder versehen ist, nach dessen Betätigung sie geworfen oder an einer langen Stange vorgebracht werden kann.

Neuere Patente. Fackeln: *D. R. P.* 360 275, 364 803. Flammenwerfer: *D. R. P.* 310 148. Lunte: *D. R. P.* 295 798. Rauchentwickler: *D. R. P.* 288 959, 312 310, 340 779, 378 780, 443 901; *A. P.* 1 377 533. Zündschnüre: *D. R. P.* 336 280, 340 302, 373 348, 380 827, 381 258, 385 211, 414 722; *Schw. P.* 76097. Detonierende Zündschnüre: *D. R. P.* 336 280, 341 177; *A. P.* 1 341 705, *E. P.* 150 678, 165 325; *F. P.* 517 609.

**Literatur:** A. BUJARD, Leitfaden der Pyrotechnik. Stuttgart 1899; Die Feuerwerkerei. Berlin-Leipzig 1912. – W. CONGREVE, Abhandlung über die allgemeinen Grundsätze, die Kräfte und die Leichtigkeit der Anwendung des CONGREVESchen Raketensystems. Weimar 1829. – A. ESCHENBACHER (A. VANDROVEZ), Die Feuerwerkerei. Wien-Leipzig 1925. – H. FALBESONER, Lustfeuerwerkerei für Berufsfuerwerker und Liebhaber. Wien-Leipzig 1909. – K. GELINOSHEIM, Die moderne Kunstfeuerwerkerei. Stuttgart 1913. – J. HARTMANN, Praktischer Unterricht in der Feuerwerkskunst nach RUGGIERI. Quedlinburg-Leipzig 1832. – H. KAST, Anleitung zur chemischen und physikalischen Untersuchung der Spreng- und Zündstoffe. – F. S. MEYER, Die Feuerwerkerei als Liebhaberkunst. Leipzig 1898. – v. NIDA, Lustfeuerwerkerei. Leipzig 1883. – A. PIRKER, Die vornehme Kunstfeuerwerkerei. Klagenfurt 1892. – WEBSKY, Lustfeuerwerkerei. Wien 1891. *Kurt Utescher.*

**Fibrin** s. Bd. IV, 362.

**Fibrolysin** (*Merck*). Doppelverbindung aus 2 *Mol.* Thiosinamin und 1 *Mol.* Natriumsalicylat. Dargestellt nach *D. R. P.* 163 804 aus den Komponenten. Weißes, krystallinisches Pulver, leicht löslich in Wasser, nur in Ampullen haltbar, zur intramuskulären Injektion. Anwendung als narbenerweichendes Mittel. *Dohrn.*

**Filmaron** (*Boehringer*) ist eine aus dem Filixextrakt hergestellte amorphe Säure, die bei etwa 60° schmilzt. Soll die Trägerin des wirksamen Filixextraktes sein. Helles, bräunlichgelbes Pulver, unlöslich in Wasser, wenig löslich in organischen Lösungsmitteln. Anwendung als Wurmmittel, in 10% iger ricinusöliger Lösung. Auch Filmaronbandwurmmittel in Kapseln. *Dohrn.*