

Das Sprengluftverfahren

Von

Bergassessor **Leopold Lisse**

Mit 108 Textabbildungen



Berlin
Verlag von **Julius Springer**
1924

ISBN-13:978-3-642-90052-5 e-ISBN-13:978-3-642-91909-1
DOI: 10.1007/978-3-642-91909-1

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1924 by Julius Springer in Berlin.
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1924

25 Jahre
Sprengluftverfahren
1898–1923

Vorwort.

Bei Bergwerksbesuchen und Verhandlungen mit in- und ausländischen Unternehmern und Grubenbesitzern wurde mir gegenüber oft der Wunsch nach einer das Wissenswerte des Sprengluftverfahrens umfassenden Arbeit ausgesprochen. Vorliegendes Buch soll diesem Wunsche nachkommen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

Allen Grubenverwaltungen, Behörden, Maschinen-, Zünder- und Sprengkapselabriken, der Chemisch-Technischen Reichsanstalt, der Abteilung Bergbau der Technischen Hochschule in Charlottenburg sowie meinen Mitarbeitern, die das Entstehen der Arbeit gefördert haben, danke ich nochmals für ihre Unterstützung.

Möge dieses kleine Buch seinen Zweck als erster Leitfaden für das Sprengluftverfahren erfüllen.

Berlin W 10, im Dezember 1923.
Königin-Augusta-Str. 43.

Leopold Lisse.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Allgemeines	1
A. Sprengluftanlagen	3
I. Allgemeines.	3
II. Arbeitsvorgänge bei der Verflüssigung der Luft	6
1. Luftreinigung	6
2. Der Luftkompressor	8
3. Trocknung	10
4. Luftverflüssigung	11
5. Vorkühlung	15
III. Sammelbehälter	17
IV. Größe der Sprengluftanlagen	18
V. Gasförmiger Sauerstoff.	19
VI. Kennzeichnung der Rohrleitungen	19
B. Gefäße.	20
I. Transportgefäße.	21
II. Tränkgefäße	24
1. Zylindrische Form	24
2. Rechteckige Tränkgefäße	25
III. Patronentraggefäße	27
IV. Vorteile der Tränkweise in ortsfesten Tränkstationen	28
C. Sprengluftpatronen	29
I. Allgemeines.	29
II. Der Sauerstoffgehalt.	31
III. Der Kohlenstoffträger	32
1. Allgemeines	32
2. Arbeitsleistung	33
a) Spezifische Energie (f)	34
b) Ladedichte (d).	34
c) Detonationsgeschwindigkeit (V)	35
d) Brisanzwert (B)	36
3. Abmessungen der Patronen	37
a) Länge der Patronen	37
b) Durchmesser der Patronen	37
4. Patronenhülsen.	39
5. Tränken der Patronen	40
6. Schwadenbildung	40
D. Bohrlöcher	43
I. Allgemeines.	43
1. Länge der Bohrlöcher.	44
2. Durchmesser der Bohrlöcher.	45
II. Laden	45
1. Reinigen des Bohrlochs	46
2. Durchmesser der Patronen	46
III. Besetzen	48

Inhaltsverzeichnis.

VII

	Seite
E. Zündung der Patronen	50
I. Anordnung des Zündmittels im Bohrloch	50
II. Anordnung des Zündmittels in der Patrone	52
III. Sprengkapseln.	53
IV. Zündschnurzündung	55
1. Schüsse mit weicher Wirkung	56
2. Schüsse mit brisanter Wirkung	57
V. Elektrische Zündung	57
1. Einzelzündung	57
2. Massenzündung.	58
α) Momentzündung	58
β) Zeitzündung	59
a) Luftzeitzünder (<i>E</i>) ohne Zündschnur	59
b) Luftzeitzünder (<i>Z</i>) mit Zündschnur	60
VI. Schaltung	62
a) Hintereinanderschaltung	62
b) Parallelschaltung	63
c) Gruppenschaltung.	63
VII. Leitung	64
VIII. Stromquellen	65
IX. Prüfung	69
X. Versager	71
XI. Ausbläser.	72
F. Die Unfallgefahr bei handfertigen Sprengstoffen und bei Sprengluft	72
I. Unfälle bei der Fabrikation	72
II. Unfälle bei der Lagerung und beim Transport	73
III. Unfälle bei der Verwendung (Schießarbeit)	73
G. Die Wirtschaftlichkeit des Sprengluftverfahrens	76
I. Anschaffung, Verzinsung und Tilgung der Anlagenkosten einschl. Transport- und Tränkgefäße	76
1. Sprengluftanlagen.	76
2. Sprengluftgefäße	77
II. Erzeugungskosten der für 1 kg Sprengluft benötigten Menge an flüssigem Sauerstoff	78
1. Stromkosten	78
a) Wasserkraftanlage	78
b) Dampfanlage mit Abdampfverwertung	78
c) Elektrische Zentrale	79
2. Betriebskosten	79
3. Gesamtbetriebskosten	80
III. Kosten der für die wirkungsgleiche Menge von 1 kg handfertigem Sprengstoff erforderlichen Sprengluftpatronen	81
IV. Zündmittel	81
V. Gesamtkosten bezogen auf 1 kg wirkungsgleicher Menge hand- fertigen Sprengstoffes	81
VI. Überwachung des Sprengluftbetriebes.	83
Literaturverzeichnis	104
Sachverzeichnis	108

Allgemeines.

Vor 25 Jahren hat Prof. Dr. Carl von Linde den Grundgedanken zum heutigen Sprengluftverfahren gelegt, indem er als erster aussprach, daß ein mit flüssiger Luft getränkter Kohlenstoffträger als Sprengstoff wirken kann (D. R. P. 100 146, 14. August 1897). Das Verfahren kam aber über Versuche, die wegen ihrer Neuheit Aufsehen erregten, nicht hinaus¹⁾. Es gelang in der Regel nur, einige wenige Schüsse abzutun, die den Laien begeisterten, den Fachmann aber nicht befriedigten.

Die Gründe, welche die Einführung des Lindeschen Gedankens in die Praxis bei dem damaligen Stande der Technik noch nicht möglich machten, waren im wesentlichen folgende:

1. Die beim Abtun der Schüsse erzielte Krafftentwicklung war eine nur geringe, da in erster Linie der geringe Sauerstoffgehalt der flüssigen Luft, wie unten weiter ausgeführt, bei 50 vH Sauerstoff-Gehalt gegenüber dem heute verwandten 95 proz. flüssigen Sauerstoff nur etwa ein Fünftel der Krafftentwicklung ermöglichte.

2. Das Fehlen einer für den rauhen Sprengbetrieb geeigneten Flasche zum Transport der flüssigen Luft aus Metall an Stelle der leicht zerbrechlichen Glas- oder Porzellengefäße.

3. Die nicht genügende Kenntnis der für das Sprengen mit flüssigem Sauerstoff notwendigen Eigenschaften der verschiedenen Kohlenstoffträger und der Mittel, neben der Erzielung einer ausreichenden Ladedichte eine lange Lebensdauer und glatt verlaufende chemische Reaktion bei den verschiedenen Brisanz zu erzielen.

4. Die mangelnde Kenntnis der Einwirkung der tiefen Temperatur auf die bisher bekannten Zündmittel und die Ausschaltung von Fehlerquellen, insbesondere bei Massenzündungen.

Eine Reihe von Jahren hindurch wurde unter Heranziehung aller Mittel, welche Technik, Physik, Chemie und Bergbaukunde zur Verfügung stellen konnten, die genannten Probleme weiter verfolgt, bis es gelang, aus den anfänglichen, wenig aussichtsreichen Versuchen ein brauchbares Ergebnis zu fördern. Das Verdienst, eine praktisch brauchbare Lösung gefunden und das Verfahren auf den heutigen Stand der Technik gebracht zu haben, gebührt der Sprengluft-Gesellschaft Berlin, die aus der „Marsit-“ und „Flüssige-Luft-Verwertungs-Gesellschaft“ hervorgegangen ist.

¹⁾ Dr. Sieder: Z. f. Schieß- u. Sprengstoffwesen 1906.

Das „Sprengluftverfahren“¹⁾ ist gekennzeichnet durch den Gedanken, Kohlenstoffträger von verschieden großer molekularer Spannung, hoher Aufsaugefähigkeit und Verbrennungswärme mit flüssigem Sauerstoff so innig zu tränken, daß diese Mischung durch Initiierung mit einer besonderen Sprengkapsel im Bruchteil einer Sekunde in Gas von sehr hoher Spannkraft übergeführt wird, wodurch eine hohe, leicht regelbare Sprengkraft zur Auswirkung kommt.

Der flüssige Sauerstoff, „Sprengluft“ genannt, wird hierbei von der Erzeugungsstelle (Sprengluftanlage) in Metallflaschen zu dem Sprengort gebracht. Der Kohlenstoffträger wird in Patronenhülsen von durchlässigem Fließpapier kurz vor der Sprengung in flüssigen Sauerstoff getaucht und in getränktem Zustande in das Bohrloch, in gleicher Weise wie bei handfertigen Sprengstoffen, eingeführt.

¹⁾ Pabst: Flüssiger Sauerstoff und seine Verwendung als Sprengstoff im Bergbau. München: Oldenbourg 1917. — Ferner Martin: Über das Sprengluftverfahren. Z. f. Schieß- u. Sprengstoffwesen 1916, Nr. 14, S. 233. — Ferner Lisse: Das Sprengluftverfahren. Z. V. d. I. 1919, S. 741.

A. Sprengluftanlagen.

Der für das Sprengen erforderliche flüssige Sauerstoff von etwa 95 vH Reinheit wird in Maschineneinheiten von $7\frac{1}{2}$, 15, 30, 60 und 100 kg stündlicher Leistung erzeugt.

I. Allgemeines.

Die Verflüssigung der Luft ist, nachdem die bekannten Physiker Cailletet (1879), später Olszewski, Wroblewski, Dewar und Onnes erfolgreiche Versuche unternommen hatten, durch die Arbeiten und Erfindungen (D. R. P. Nr. 88 824) des Geh.-Rats Prof. Dr. C. v. Linde im Jahre 1895 zum erstenmal praktisch brauchbar gestaltet worden¹⁾. Im Jahre 1902 ermöglichte dann die Anwendung des Rektifikationsgrundsatzes (D. R. P. Nr. 173 620) die Gewinnung des für das Sprengluftverfahren notwendigen fast reinen flüssigen Sauerstoffes auf wirtschaftliche Weise im Großbetriebe.

Während dieser Fortschritt hauptsächlich auf den Vorarbeiten Lindes beruht, haben sich späterhin auch Heylandt und Messer zum Teil in Anlehnung an die Bauart der Gesellschaft für Lindes Eismaschinen mit der Verflüssigung der Luft befaßt und auf zum Teil verschiedenen Wegen den Erfordernissen hoher Wirtschaftlichkeit und technischer Vollendung bei der Erzeugung flüssigen Sauerstoffes für das Sprengluftverfahren gerecht zu werden gewußt.

Die atmosphärische Luft hat ein Gewicht von 1,293 kg je Kubikmeter und eine kritische Temperatur von -141° ; ihre Zusammensetzung zeigt Zahlentafel 1.

Zahlentafel 1²⁾.

	Gewichtsteile	Raumteile
Sauerstoff O ₂ . .	0,231	0,2090
Stickstoff N ₂ . . .	0,7555	0,7813
Argon A	0,013	0,0094
Kohlensäure CO ₂	0,0005	0,0003

Die Verflüssigung der atmosphärischen Luft beruht im wesentlichen auf der Abkühlung, welche sie bei der plötzlichen Ausdehnung von einem höheren auf einen niedrigeren Druck infolge der Leistung innerer Arbeit, bei der

¹⁾ Linde, C. v.: Technik der tiefen Temperaturen. München: R. Oldenbourg 1913. — Kausch, O.: Die Herstellung, Verwendung und Aufbewahrung von flüssiger Luft. — Landschütz: Herstellung von flüssiger Luft usw. Z. Berg-, Hütten-, Sal.-Wes. 1919, S. 283.

²⁾ Hütte Bd. 1, S. 482. 1911.

Wärme verbraucht wird, erleidet. Diese Abkühlung beträgt nach Beobachtungen von Joule und Thomson bei einfacher Abdrosselung der Luft $\frac{1}{4}^{\circ}$ je 1 at Druckunterschied vor und hinter der Drosselstelle. Man erzielt also bei einer Druckdifferenz von 200 at nur 50 Grade Temperaturabfall, also zu wenig, um schon bei einmaliger Expansion eine Verflüssigung herbeizuführen. Diese kann bekanntlich erst unterhalb -141° , der kritischen Temperatur der Luft, eintreten, unter atmosphärischem Druck aber erst bei -191° , dem Siedepunkt der flüssigen Luft. Es wird deshalb die Wirkung einer Reihe von Ausströmungen der Luft durch Anwendung des Gegenstromprinzips in der Weise gesteigert, daß die vorher entspannte (ausgeströmte) Luft zur tieferen Abkühlung der nachfolgenden dient. Die Temperaturen vor und nach der Entspannung wer-

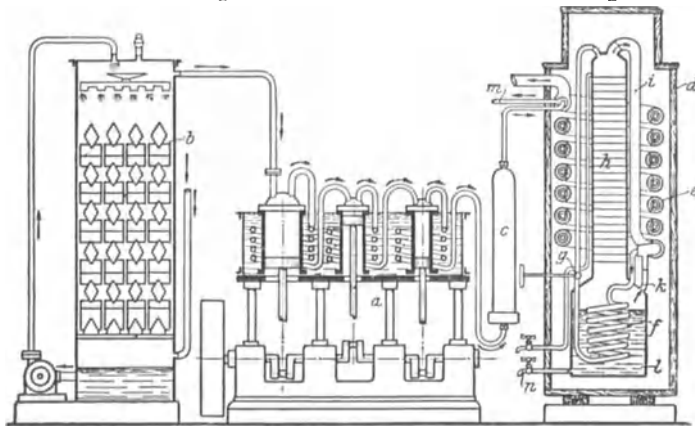


Abb. 1. Schematische Darstellung der Luftverflüssigungsanlage¹⁾.

a Luftkompressor; *b* Luftreinigung; *c* Absorptionsgefäß zur Trocknung der Luft mit Chlorcalcium; *d* Luftverflüssigungseinrichtung; *e* Wärmeaustauscher; *f* Rohrschlange; *h* Rektifikationskolonne; *n* Ablasshahn.

den fortwährend niedriger, bis die Verflüssigungstemperatur erreicht ist und ein Teil der ausströmenden Luft sich in flüssigem Zustande in dem am unteren Ende des Gegenstromapparates angebrachten Gefäß sammelt (Abb. 1).

Die Abkühlung beim Entspannen von höherem auf niedrigeren Druck ist aber außer von den Drücken vor und nach der Ausströmung noch in erheblichem Maße abhängig von der Temperatur, mit der die Luft in den Verflüssigungsapparat eintritt; je niedriger diese Eintrittstemperatur ist, um so rascher erfolgt die Abkühlung der Luft auf ihre kritische Temperatur²⁾.

In der von R. Linde aufgestellten Zahlentafel 2 und 3 ist die erreichbare Kälteleistung, bezogen auf 100 cbm Luft von 15° und 760 mm Q.-S., für die verschiedenen Fälle angegeben, und zwar in

¹⁾ Mit Genehmigung des V. d. I.-Verlages. Aus V. d. I. Bd. 65, Nr. 52, S. 1359.

²⁾ Mitteilungen über Forschungsarbeiten, Heft 108, 109, 184. — Z. V. d. I. Bd. 65, Nr. 52, S. 1356.

Zahlentafel 2 bei Abdrosselung von 200 at auf die Atmosphärenspannung und bei verschiedenen Temperaturen t_1 der in die Trennvorrichtung ein tretenden Luft, in Zahlentafel 3 bei Anordnung des Hochdruckkreislaufes (und zwar für 100 cbm von 50 at auf die Atmosphärenspannung), ebenfalls bei verschiedenen Eintrittstemperaturen.

Zahlentafel 2.

Kältemenge und Erzeugung flüssiger Luft bei einfacher Entspannung von 100 m³ Luft von 200 at auf Atmosphärenspannung (Arbeitsverbrauch 33 PSst.).

Luft eintritts- temperatur t_1	Kältemenge			Erzeugte flüssige Luft	Arbeits- verbrauch für 1 kg flüss. Luft einschließlich Kältemaschine
	theoretisch	bei 85 vH Wirkungsgrad	erforderlich für 1 kg flüssiger Luft		
°C	kcal	kcal	kcal	kg	PSst
15	1100	935	98	9,5	3,45
0	1250	1060	94,4	11,2	3,00
-15	1400	1190	90,8	13,1	2,60
-30	1560	1325	87,2	15,2	2,27
-45	1740	1480	83,6	17,6	2,00

Zahlentafel 3.

Kältemenge und Erzeugung flüssiger bei einfacher Entspannung von 100 m³ Luft von 200 at auf 50 at und von 20 m³ von 50 at auf Atmosphärenspannung (Arbeitsverbrauch 14 PSst).

Luft eintritts- temperatur t_1	Kältemenge			Erzeugte flüssige Luft	Arbeits- verbrauch für 1 kg flüss. Luft einschließlich Kältemaschine
	theoretisch	bei 85 vH Wirkungsgrad	erforderlich für 1 kg flüssiger Luft		
°C	kcal	kcal	kcal	kg	PSst
15	830	706	98	7,20	1,95
0	930	790	94,4	8,36	1,73
-15	1040	880	90,8	9,70	1,55
-30	1160	990	87,2	11,35	1,36
-45	1290	1100	83,6	13,17	1,21

Den großen Wert des Hochdruckkreislaufes erkennt man aus der letzten Spalte der Zahlentafel 3. Für den Arbeitsverbrauch ist in den letzten Spalten auch die für die Kältemaschine aufgewandte Arbeit mit eingerechnet. Dabei sind auch für die tiefen Vorkühltemperaturen von -45° Ammoniak-Verbundkompressoren angenommen, die sich auch hierfür im Betriebe sehr gut bewährt haben.

Es läßt sich also eine wesentliche Steigerung der Ausbeute an flüssigem Sauerstoff durch Vorkühlung der Hochdruckluft vor Eintritt in den Verflüssigungsapparat erzielen, da die Kälteleistung um so größer ist, mit je tieferer Temperatur die Luft in den Trennapparat eintritt. Aus diesem Grunde haben viele Sprengluftanlagen zur Vorkühlung der stark verdichteten Luft vor ihrem Eintritt in den Trennapparat eine besondere Kältemaschine.

II. Arbeitsvorgänge bei der Verflüssigung der Luft.

Bei der Verflüssigung der Luft sind mehrere Arbeitsvorgänge zu unterscheiden.

Die Luft wird zunächst (vgl. Abb. 1) angesaugt, dann von den darin enthaltenen staubförmigen Verunreinigungen und der Kohlensäure befreit (Luftreinigung *b*), verdichtet (Luftkompressor *a*), getrocknet (Trocknung *c*) und zuletzt gegebenenfalls nach Vorkühlung verflüssigt (Luftverflüssigungseinrichtung *d*).

Die Anlage zur Verflüssigung der Luft setzt sich daher im allgemeinen aus folgenden Teilen zusammen:

1. Luftreinigung,
2. Luftkompressor,
3. Trocknung,
4. Luftverflüssigungseinrichtung,
5. Vorkühlung (nicht in jedem Falle erforderlich).

1. Die Luftreinigung.

Die Luftreinigung soll die durch das Ansaugerohr einziehende Luft von den mitgerissenen staubförmigen Verunreinigungen befreien und die in der atmosphärischen Luft enthaltene Kohlensäure, die etwa 0,0005 Gew.-Teile beträgt, entfernen. Geschieht dies nicht in gründlicher Weise, so verstopfen die bei der tiefen Temperatur sich bildenden Kohlensäurekristalle die engen Hochdruckrohre, so daß die Leistung der Anlage nachläßt. Staubbörmige Verunreinigungen, wie solche in der Nähe von Zement- und Kalkstickstoffabriken häufig sind, werden durch Zellen-Luftfilter zurückgehalten.

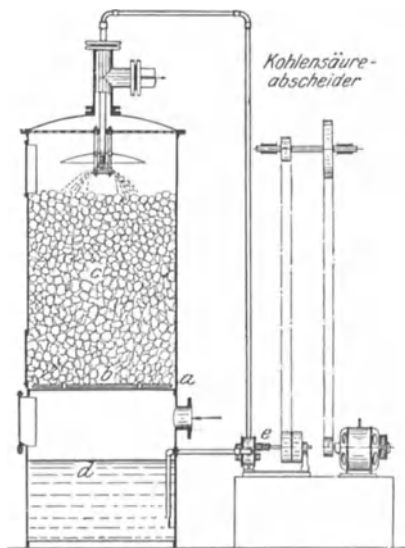
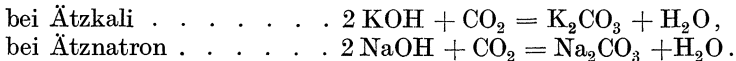


Abb. 2. Luftreinigungsapparat.

sonst aber auch Hüttenkoks so aufgeschichtet ist, daß die angesaugte Luft hindurchstreichen kann. Einmal im Jahre sind die Blechringe zum Zwecke der Reinigung aus dem Luftreinigungsapparat zu entfernen und mit warmem Wasser zu waschen. Die Verwendung von Koks statt der Blechringe ist weniger gut, weil Koks zu leicht verschmutzt. Es soll in solchen Fällen nur Hüttenkoks in nuß- bis faustgroßen Stücken verwendet werden. Verschmutzter Koks ist vor

dem Füllen durch gründliches Ausspülen mit warmem weichen Wasser zu reinigen. Während des Betriebes ist jährlich einmal ein gründliches Reinigen des Blechzylinders, des Tragrostes und des Kokeses oder der Blechringe erforderlich.

Der Teil des Luftreinigungsapparates unterhalb des Rostes (*d* in Abb. 2) ist mit Lauge (Ätzkali- oder Ätznatronlauge) gefüllt, die durch eine Pumpe (*e* in Abb. 2) in ständigem Umlauf gehalten wird. In die Druckleitung dieser Laugepumpe schaltet man zweckmäßig ein Niederdruckmanometer ein, um dauernd das richtige Arbeiten der Pumpe beobachten zu können (1 m Druckhöhe = $\frac{1}{10}$ at). An Stelle eines Kohlensäureturmes verwendet man bei großen Anlagen ein Doppelaggregat von zwei Kohlensäuretürmen, die hintereinandergeschaltet arbeiten. Bei Anlagen von 30 kg Leistung und darüber wird die Reinigung gern unter höherem Druck nach der zweiten oder dritten Kompressionsstufe in einem druckfesten Eisenbehälter („Bullertopf“) vorgenommen. Die chemische Reaktion der Kohlensäureentziehung verläuft unter Bildung von Pottasche (K_2CO_3) oder Soda (Na_2CO_3) wie folgt:



100 m³ Ansaugluft enthalten 65 g Kohlensäure, zu deren Entfernung bei 90 vH Reinheit der Ätzkalien und 80 vH Ausnutzung

entweder 231 g KOH oder 165 g NaOH nötig sind.

Die Abscheidung der Kohlensäure kann beispielsweise durch eine etwa 12proz. Natronlauge von 17° Bé, spez. Gew. 1,135 erfolgen, wobei man mit 2 g Ätznatronverbrauch je Kubikmeter Luft rechnet. In der Regel wird nur Ätzkali benutzt, und zwar sowohl in dem Luftreinigungsapparat als auch in den noch später erwähnten Trockenflaschen. Ätzkali wird bezogen in nicht größeren und nicht kleineren als walnußgroßen Stücken und in einer Reinheit von 80 bis 90 vH. Ätznatron bezieht man in faustgroßen Stücken von 90 bis 92 vH Reinheit.

Der von oben über das Füllmaterial herunterrieselnden, fein verteilten Lauge wird die angesaugte Außenluft, welche unten in den Apparat eintritt, entgegengeführt. Hierbei nimmt die Lauge nach obiger Reaktionsgleichung die Kohlensäure auf unter Bildung von Kalium- oder Natriumkarbonat. Nach Maßgabe der aufgenommenen Kohlensäuremenge ist die teilweise verbrauchte Lauge rechtzeitig durch Zusatz neu angesetzter Lauge aufzufrischen und zu erneuern. Die Ätzalkalien müssen vollkommen trocken sein und dürfen nicht von Kohlensäure gesättigt zur Verwendung gelangen. Auf die vorerwähnte Walnußgröße der Stücke ist besonders zu achten, weil größere Stücke wegen der zu geringen Oberfläche die Kohlensäure nicht genügend aufnehmen und kleinere Stücke zusammensintern, wodurch der Luftdurchgang versperrt wird. In beiden Fällen würde eine ungenügende Luftreinigung stattfinden. Das Ätzkali und das Ätznatron soll daher in luftdichten Eisenfässern oder mit Blech ausgeschlagenen Holzbehältern aufbewahrt werden; tritt bei langer Lagerung Luft hinzu, so wird das Ätzkali und das Ätznatron unbrauchbar; es zerfließt bei

Aufnahme von Feuchtigkeit, und es bildet sich infolge der Aufnahme von Kohlensäure eine weiße Kruste von Pottasche (K_2CO_3). Bevor der Turm mit frischer Lauge gefüllt wird, spült man ihn etwa 2 Stunden lang mit reinem Wasser durch, um die sich am Füllmaterial absetzenden Kristalle zu entfernen. Das hierfür verwendete Wasser darf nicht zu hart sein, da sich sonst feste und schwer entfernbare Krusten von Magnesium- und Kalziumkarbonat absetzen.

Aus dem Luftreinigungsapparat gelangt die Luft zunächst in einen Laugenabscheider, um etwa mitgerissene Laugeteilchen zurückzuhalten.

2. Der Luftkompressor.

Die so mechanisch von Staub gereinigte und von Kohlensäure befreite Luft wird durch einen mehrstufigen Hochdruckkompressor auf etwa 200 at gepreßt. Für bestimmte Leistungen werden die Sprengluftanlagen mit doppeltem Kreislauf gebaut. Dabei ist nach R. Linde nur etwa ein Viertel derjenigen Arbeit erforderlich, die bei der Verdichtung des gleichen Luftgewichtes von Atmosphärenspannung auf 200 at nötig ist. Die Kälteleistung ist aber annähernd zwei Drittel derjenigen, die durch unmitttelbare Entspannung von 200 at auf 1 at erreicht wird.

Wollte man die Luft von atmosphärischer Spannung auf 200 at in einem einzigen Arbeitsgang verdichten, so würde, abgesehen von einer den Wirkungsgrad des Kompressors beeinträchtigenden Erhitzung der Luft, der Kompressor selbst stark erhitzt werden, so daß ein ungehinderter Gang durch die bekannten Schmiermittel nicht mehr gesichert wäre. Gleichzeitig würden durch Verdampfung des verwendeten Schmieröles Öl-Luftgemische entstehen, die zur Explosion im Kompressorzylinder oder in den anschließenden Leitungen führen könnten¹).

Man sieht daher eine Wasserkühlung des Kompressors vor, und zwar in Form von Zylindermantel- und Zylinderdeckelkühlung sowie von Zwischenkühlern. Die Kühlwassermenge soll so bemessen sein, daß die der nächsten Druckstufe zuströmende Luft möglichst annähernd auf Kühlwassertemperatur (10—15°) heruntergekühlt wird. Der Kompressor wird zu diesem Zwecke in mehrere Kompressionsstufen unterteilt, beispielsweise mit folgenden Enddrücken:

1. Stufe	2,3 at
2. „	12,0 „
3. „	48,0 „
4. „	200,0 „

Eine gute Kühlung ist außerordentlich wichtig für eine gute Ausbeute an flüssigem Sauerstoff. Die Förderleistung des Kompressors, bemessen am Luftgewicht, geht nämlich zurück, wenn die Kühlung ungenügend ist. Da kalte Luft dichter ist als warme Luft, ist das vom Kompressor geförderte Luftvolumen also um so schwerer, je vollkommener die Kühlung des Kompressors erfolgt. Auf das Gewicht der in der letzten Druckstufe des Kompressors geförderten Luftmenge aber kommt es für die Leistung der Luftverflüssigungsanlage insofern

¹) Pollitzer, F.: Z. angew. Chem. Jg. 36, Nr. 39/40, S. 262.

ausschließlich an, als bezweckt wird, eine möglichst große Gewichtsmenge flüssiger Luft zu erzeugen. Da das geförderte Luftvolumen durch die Abmessungen des Kompressors festgelegt ist, kann man beim Betriebe die Erreichung dieses Zweckes nur dadurch fördern, daß man besonders auf ausreichende Kühlung des Kompressors (Temperaturmessung des abfließenden Kühlwassers) achtet. Beispielsweise war ein Kompressor eingestellt auf eine Kühlwassertemperatur von $+12^{\circ}\text{C}$. Es stellte sich heraus, daß die Leistung der Luftverflüssigungsanlage, zu der er gehörte, um 1 vH zurückging je Grad höherer Kühlwassertemperatur, also etwa bei $+25^{\circ}\text{C}$ Kühlwassertemperatur um 13 vH.

Um in größeren Höhenlagen und bei höheren mittleren Ortstemperaturen die gewünschte Leistung der Luftverflüssigungsanlage an flüssigem Sauerstoff in der Zeiteinheit zu erzielen, ist es erforderlich, das Ansaugvolumen des Hochdruck-Luftkompressors größer zu wählen als unter normalen Verhältnissen ($10\text{--}15^{\circ}\text{C}$, 760 mm Q.-S.). Das Maß der erforderlichen Vergrößerung zeigt Zahlentafel 4.

Die in der Tabelle zu ermittelnde Ziffer bedeutet den Multiplikator, mit dem die normale Ziffer der Ansaugleistung (cbm/st) des Kompressors bei 0 über NN und 10°C versehen werden muß, um die erforderliche Ansaugleistung zu errechnen. Beispiel: Normalansaugleistung $100\text{ m}^3/\text{st}$. Erforderliche Ansaugleistung in 4000 m Höhe über NN bei 20° Außentemperatur $100 \times 1,65 = 165\text{ m}^3/\text{st}$.

Zahlentafel 4.

Ermittlung der erforderlichen Vergrößerung der Ansaugleistung des Hochdruck-Luftkompressors für eine Sprengluftanlage unter Annahme eines Standpunktes in größerer Seehöhe als 0 über NN und einer höheren Außentemperatur als 10°C .

Höhe in m über NN	Außentemperatur					
	$+10^{\circ}\text{C}$	$+15^{\circ}\text{C}$	$+20^{\circ}\text{C}$	$+25^{\circ}\text{C}$	$+30^{\circ}\text{C}$	$+35^{\circ}\text{C}$
0	1,00	1,02	1,04	1,05	1,07	1,08
500	1,06	1,08	1,10	1,11	1,14	1,15
1000	1,12	1,15	1,17	1,18	1,20	1,21
1500	1,20	1,23	1,25	1,26	1,29	1,30
2000	1,27	1,30	1,32	1,33	1,36	1,38
2500	1,32	1,35	1,38	1,39	1,41	1,43
3000	1,39	1,42	1,45	1,46	1,49	1,50
3500	1,48	1,51	1,54	1,56	1,58	1,60
4000	1,58	1,62	1,65	1,66	1,70	1,71
4500	1,69	1,73	1,76	1,78	1,81	1,83

Um ein Überschreiten des für jede Druckstufe bedingten Enddruckes zu verhindern, ist jede dieser Kompressionsstufen mit einem Sicherheitsventil versehen. Größere Abweichungen in den Kompressionsdrücken lassen auf ein nicht einwandfreies Arbeiten des Kompressors schließen, insbesondere wenn das eine Manometer den Normaldruck übersteigt, während das andere unter dem Normaldruck bleibt. Die Störungsursachen können Klemmungen oder Undichtigkeiten der Saug- oder Druckventile sein.

Eine Minderleistung des Kompressors kann aber auch durch Verstopfung der Luftdurchlässe im Luftreinigungsapparat verursacht werden, was an dem Zeiger des Niveaubarometers ermittelt werden kann.

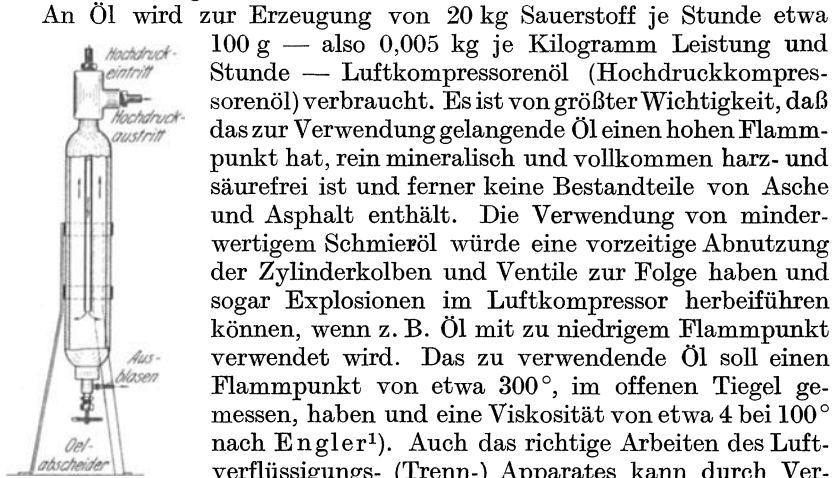


Abb. 3.
Ölabscheider.

An Öl wird zur Erzeugung von 20 kg Sauerstoff je Stunde etwa 100 g — also 0,005 kg je Kilogramm Leistung und Stunde — Luftkompressorenöl (Hochdruckkompressorenöl) verbraucht. Es ist von größter Wichtigkeit, daß das zur Verwendung gelangende Öl einen hohen Flammpunkt hat, rein mineralisch und vollkommen harz- und säurefrei ist und ferner keine Bestandteile von Asche und Asphalt enthält. Die Verwendung von minderwertigem Schmieröl würde eine vorzeitige Abnutzung der Zylinderkolben und Ventile zur Folge haben und sogar Explosionen im Luftkompressor herbeiführen können, wenn z. B. Öl mit zu niedrigem Flammpunkt verwendet wird. Das zu verwendende Öl soll einen Flammpunkt von etwa 300°, im offenen Tiegel gemessen, haben und eine Viskosität von etwa 4 bei 100° nach Engler¹⁾. Auch das richtige Arbeiten des Luftverflüssigungs- (Trenn-) Apparates kann durch Verwendung schlechten Öles beeinflusst werden, wenn während der Kompression Öldämpfe frei werden, die, von dem Luftstrom mitgerissen, in den Trennungsapparat gelangen; hier kondensieren sie dann durch die dort herrschende tiefe Temperatur wieder und verursachen Verstopfungen der Rohrleitungen, die erst durch „Auftauen“ (siehe Seite 12) des Trennapparates beseitigt werden können. Einwandfreies Öl darf nicht emulsieren, denn bei der Emulsion werden Öldämpfe frei. Nachdem die komprimierte Luft den hinter den Kompressor geschalteten Öl- bzw. Wasserabscheider (Abb. 3) verlassen hat, gelangt sie in die Trockenbatterie.

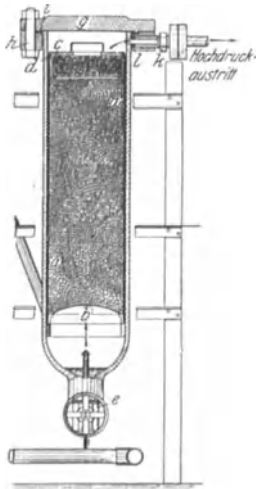


Abb. 4. Trockenflasche.

3. Trocknung.

Die Trocknung geschieht in mehreren hintereinandergeschalteten Hochdruckzylindern mit abschraubbaren Deckeln, in welchen der hochkomprimierten Luft die Feuchtigkeit auf chemischem Wege (durch Absorption mittels Ätzkali, Chlorkalzium o. dgl. Chemikalien) entzogen wird (Abb. 4).

Die Stahlzylinder tragen zur Aufnahme der Chemikalien im Innern meist einen Einsatzkorb *a*, der im oberen Teil gegen die Wandung durch einen mit Watte gefüllten Doppelboden *c*

¹⁾ Prof. Dr. Holde, D.: Untersuchung der Kohlenwasserstofföle und Fette. 5. Aufl. Berlin: Julius Springer 1918.

und unten durch den Siebboden *b* abgeschlossen ist, um ein Mitreißen von Staub zu verhindern. Der Doppelboden *c* ist gegen die Wandung der Stahlflasche durch eine Ringpackung *d* abgedichtet, damit nicht zwischen Rohrwandung und Einsatzzylinder Hochdruckluft entweicht. Die Stahlflaschen tragen einen Deckel *g*, der durch kräftige Schrauben *h* unter Verwendung einer Packung *i* eine gute Abdichtung gewährleistet.

Am unteren Teile der Trockenzyylinder ist eine Abblasevorrichtung *e* angebracht, durch die halbstündlich die dort angesammelte Flüssigkeit bzw. die flüssig gewordene Chemikalienlauge abblasen werden kann, um ein Mitreißen der Lauge in die zur Luftverflüssigungseinrichtung führende Leitung zu vermeiden. Hinter den Trockenflaschen ist zur Sicherheit noch eine leere Abscheideflasche, ähnlich Abb. 3, eingebaut.

Verwendet man Chlorkalzium zur Füllung der Trockenflaschen, so kann man seine Güte in einfacher Weise wie folgt feststellen:

Man wiegt 250 g Chlorkalzium rasch ab und wirft es in 500 ccm Wasser. Nachdem alles gelöst ist, mißt man mit dem Aräometer das spezifische Gewicht, welches bei wasserfreiem (kalziniertem) Chlorkalzium 1,226 entsprechend 26,5° Bé sein soll. Die Lösung wird um so dichter, je wasserhaltiger das zu prüfende Chlorkalzium ist.

4. Luftverflüssigung.

Der Luftverflüssigungs- oder Trennapparat (Abb. 5) besteht im wesentlichen aus:

a) einem Gegenstromkühler (*e*), in dem die komprimierte Luft durch abziehende Stickstoffgase vorgekühlt wird. Zur Erzielung großer Kühlflächen und einer guten Kälteübertragung wird die Luft dabei durch ein Bündel von mehreren dünnen Röhren geleitet, die ihrerseits wieder von einem Rohr umschlossen sind;

b) einer Hochdruckspirale (*f*), die in einem Flüssigkeitsbad (*l*) liegt und die komprimierte Luft weiter unterkühlt;

c) einer Entspannungsvorrichtung (*g*), welche die hochkomprimierte und tief vorgekühlte Luft von etwa 200 at auf 0,3—0,6 at Überdruck entspannt und dadurch (innere Arbeitsleistung mit Wärmeverbrauch) die für die Verflüssigung der atmosphärischen Luft notwendige Kälte erzeugt;

d) einer Rektifikationskolonne (*h*), in der die flüssige Luft (Siedepunkt unter 760 mm Q.-S. je nach dem Gehalt an Sauerstoff um -180°C) herunterrieselt, wobei ihr die Stickstoffdämpfe entgegengeführt werden; da diese Stickstoffdämpfe erst bei 760 mm Druck um -196°C flüssig werden, so bleibt die zur Verflüssigung des Sauerstoffes notwendige

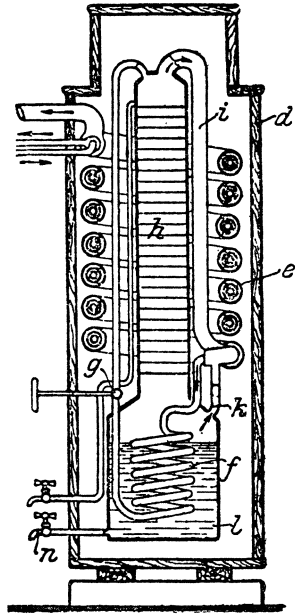


Abb. 5. Luftverflüssigungs- oder Trennapparat.

Temperatur (etwa -183°) erhalten. Wenn die Dämpfe aus nahezu reinem Sauerstoff bestehen, findet eine weitere Rektifikation dadurch statt, daß die wärmeren Sauerstoffgase sich an der kälteren Flüssigkeit niederschlagen und dabei gleichzeitig eine entsprechende Menge Stickstoff aus der Flüssigkeit zum Verdampfen bringen. Dieser Vorgang setzt sich so lange fort, bis zwischen der herabrieselnden flüssigen Luft und den Sauerstoffdämpfen Gleichgewichtszustand herrscht.

Das Innere des Verflüssigers hat eine Temperatur von ungefähr -181° , ist also um rund 200° kälter als die umgebende Luft ($+20^{\circ}$). Es ist daher ein sorgfältiger Wärmeschutz (Isolationsmittel wie Schlackenwolle u. ä.) vorgesehen, um ein schnelles Verdampfen des flüssigen Sauerstoffes zu verhindern. Die äußere Ansicht der Luftverflüssigungseinrichtung (auch Rektifikationskolonne oder Trennapparat genannt) zeigt Abb. 6.

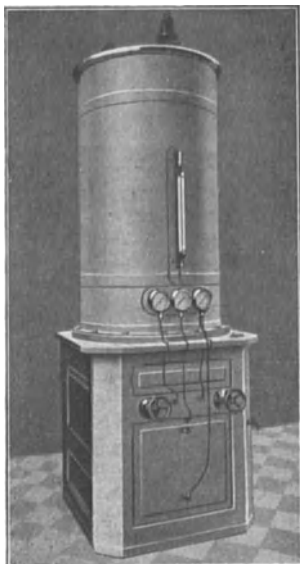


Abb. 6. Außenansicht des Trennapparates.

Die zur Verflüssigung der Luft erforderliche tiefe Temperatur von -181° wird allerdings bei jeder Inbetriebsetzung der Anlage erst, je nach dem Grade der in der Betriebspause eingetretenen Erwärmung des Apparates und seiner Bauart (ob mit oder ohne Vorkühlung), nach $1-1\frac{1}{2}$ Stunden (Anfahrzeit) erreicht. In dieser Zeit arbeitet die Anlage, da sie von der Normaltemperatur auf die tiefe Temperatur gebracht werden muß, unproduktiv. Es empfiehlt sich daher, wenn nicht besondere Umstände dagegensprechen, die Anlage ununterbrochen im Betrieb zu halten und nur am Ende jeder Woche stillzusetzen, um sie reinigen und auftauen zu können.

Die Reinigung bezweckt die Beseitigung von Kohlensäure- und Feuchtigkeitsteilchen, deren Eintreten in den Trennapparat nicht ganz vermieden werden kann. Diese Teilchen gefrieren in den engen Röhrchen und am Entspannungsventil, was sich durch Sinken der Leistung und Schwanken im Entspannungsdruck bemerkbar macht.

Das Auftauen geschieht in der Weise, daß man mit einem Überdruck von 1 at die durch den Lufttrockner geleitete, also vom Wassergehalt befreite Luft durch eine Rohrspirale (Abb. 7) leitet, die in einem Wasserbade liegt, welches durch Dampf oder durch einen elektrischen Heizwiderstand erwärmt wird. Die trockene Luft gelangt mit $60-80^{\circ}$ C durch die Rohrleitungen des Trennapparates und verdampft die dort etwa abgelagerten festen Kohlensäure- oder Eisteilchen.

Ist ein Reserveapparat vorhanden, so sendet man zweckmäßigerweise den aus dem im Betrieb befindlichen Apparat abströmenden trockenen Stickstoff über die Auftauvorrichtung durch den Reserve-

apparat. Der erwärmte trockene Stickstoff nimmt die in dem Apparat aufgetauten (zerfließenden) Eispartikel auf, so daß dieser sehr leicht und gründlich in kurzer Zeit gereinigt werden kann;

e) einem Flüssigluft- bzw. Flüssigsauerstoffbehälter (l in Abb. 5), aus dem schließlich der darin angesammelte flüssige Sauerstoff abgezapft wird.

Um auch die Kontrolle über den Prozentgehalt an Sauerstoff laufend leicht ausführen zu können, werden besondere Meßapparate verwendet (Abb. 8). Hierbei wird ein mit dem Ableseinstrument durch ein kurzes Kabel verbundener Stab (Meß-

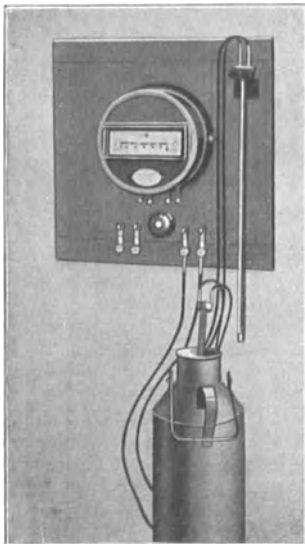


Abb. 8. Sauerstoffmeßgerät.

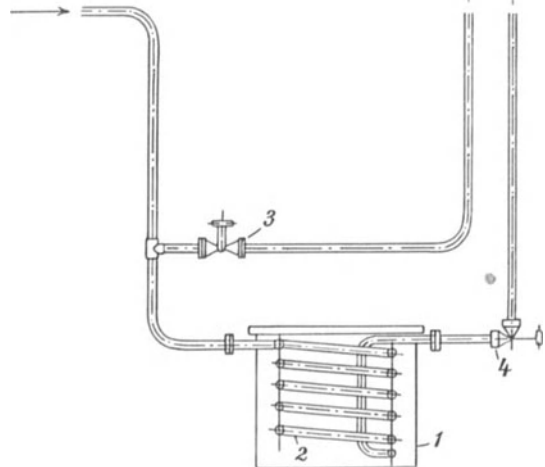
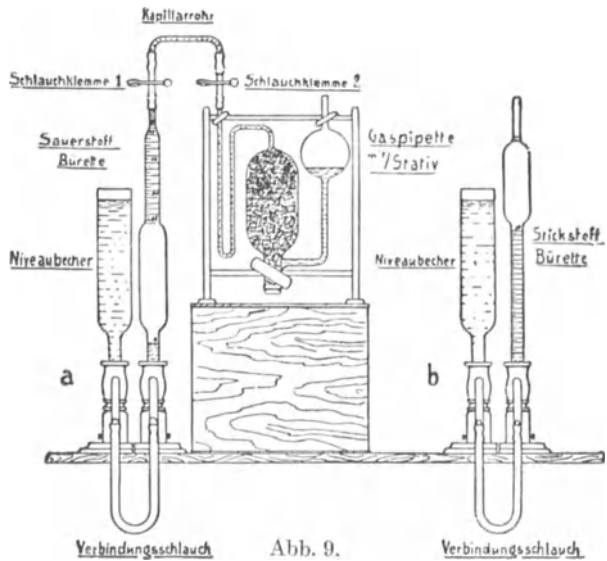


Abb. 7. Auftauvorrichtung. 1 Wasserbehälter, heizbar durch daruntergestellte Gas- oder Ölflamme oder durch eingesetzte Heizdrahtspulen und Heizdampfschlangen; 2 Rohrschlangen für Luft; 3 Absperrventil; 4 Ventil in der Leitung für erwärmte Luft.

scheide) von ungefähr 13 mm Durchmesser entweder direkt in den Abfluß des Sammelbeckens für flüssigen Sauerstoff eingeführt oder es

wird die Meßscheide unmittelbar in das Transportgefäß eingeführt (Abb. 8). Der Apparat gestattet, den Sauerstoffgehalt in flüssiger Luft in Prozenten unmittelbar abzulesen (vgl. Zahlentafel 5).

Den Prozentgehalt an Sauerstoff in der flüssigen Luft kann man auch mit der bekannten Meßvorrichtung von Hempel [Abb. 9¹⁾] ermitteln²⁾.

Zahlentafel 5
[ermittelt vom Berggewerkschaftlichen Laboratorium (Bochum)].

Sauerstoffgehalt der flüssigen Luft (durch Analyse festgestellt)	Zeit	Ablesen mit Meßapparat Sauerstoffgehalt
73,0 vH 0	0 Min.	72,9 vH 0
	7 „	73,6 vH 0
	15 „	74,2 vH 0
	22 „	74,2 vH 0
79,5 vH 0	0 „	79,7 vH 0
	8 „	80,4 vH 0
	15 „	80,9 vH 0
	26 „ (nach Rühren)	79,8 vH 0
	31 „	80,0 vH 0
85,8 vH 0	0 „	86,5 vH 0
	2 „	86,5 vH 0
	9 „	86,8 vH 0
	15 „	87,4 vH 0
	16 „ (nach Rühren)	87,0 vH 0
95,0 vH 0	3 „	95,0 vH 0
	9 „	95,0 vH 0
	15 „	95,0 vH 0
	16 „ (nach Rühren)	95,0 vH 0

¹⁾ Hempel: Gasanalytische Methoden. Braunschweig 1913.

²⁾ Zur Durchführung einer Messung mit dem Hempelschen Apparat wird das zylindrische Gefäß der Absorptionspipette durch den Entleerungsstutzen mit Kupferdrehspänen möglichst dicht gefüllt. Mit einer Vorratslösung [1 l 25 proz. Ammoniak (Salmiakgeist), 1 l Wasser (destilliert), 750 g Ammoniumchlorid (Salmiak) gepulvert] füllt man die Pipette so, daß das zylindrische Gefäß ganz voll Flüssigkeit ist, während das kugelförmige Gefäß leer bleibt. Die Sauerstoffbürette hat man gleichzeitig, nachdem man sie an der Verbindungsstelle (Gummischlauch) von der Apparatur gelöst hat, mit Sauerstoffgas gefüllt (durch Senken des mit Wasser gefüllten Niveaubechers, indem man die Stelle bei Klemme 1 mit einem Gummischlauch und einem Stück Metallrohr verbindet und das Metallrohr in ein Gefäß mit flüssiger Luft taucht), und zwar so, daß man den Rauminhalt der eingeschlossenen Sauerstoffgasmenge an der Gradeinteilung ablesen kann. Nachdem man dann die Sauerstoffbürette mittels Gummischlauches wieder mit dem Apparat in Verbindung gebracht hat, drückt man nach Öffnung der Quetschhähne durch Anheben des Niveaubechers das abgemessene Gasvolumen (zweckmäßigerweise 100 ccm) in das zylindrische Gefäß. Hier wird durch kräftiges Schütteln nach wenigen Minuten der Sauerstoff vom Kupfer absorbiert. Bei Senkung des Niveaubechers nach der Absorption des Sauerstoffes in die Ausgangsstellung kann man durch Ablesung an der Gradeinteilung der Sauerstoffbürette feststellen, wieviel Teile der abgemessenen Gasmenge nicht aus Sauerstoff bestanden haben, also als Verunreinigungen des Sauerstoffes zu betrachten sind.

5. Vorkühlung.

Wie schon eingangs erwähnt, ist es unter Umständen zweckmäßig, die Luft vor dem Eintritt in den Verflüssigungsapparat schon vorzukühlen (vgl. Zahlentafel 2 und 3).

Die Vorkühlung kann nach drei verschiedenen Systemen erfolgen:

a) System Linde.

Die Vorteile der Bauart Linde sind die folgenden:

1. Die Abkühlperiode (Anfahrzeit) der Anlage wird abgekürzt.
2. Der Luftkompressor kann im Beharrungszustande mit niedrigerem Druck arbeiten. Hierdurch wird an Energie gespart, da der Energieverbrauch der Kältemaschine selbst gering ist.
3. Es wird eine wirksame Trocknung der Luft erzielt.

Linde kühlt die Luft in einer besonderen Vorkühlanlage mit nachfolgender Tiefkühlung in einer Kältemaschine vor, deren Kühltemperatur bei großen Anlagen bis auf etwa -45° geht (s. Zahlentafel 2 u. 3).

Die Luft wird zu diesem Zwecke aus dem Kompressor zunächst durch einen Gegenstrom-Vorkühler geleitet, bestehend aus einem Doppelröhrensystem, dessen inneren Rohre die aus dem Verflüssigungsapparat entweichenden kalten Stickstoffgase aufnehmen, welche im Gegenstrom die im äußeren Rohre zirkulierende Preßluft vorkühlen. Durch diese Vorkühlung werden vor allem die in der Preßluft etwa noch vorhandenen Wasserdämpfe flüssig abgeschieden. Die so getrocknete Luft gelangt dann zunächst in die Trockenflaschen zur nochmaligen Reinigung von Kohlensäure- und Feuchtigkeitsresten und dann zur Tiefkühlung in die Kältemaschine.

Die Kältemaschine besteht (s. Abb. 10) aus Ammoniakkom-

pressor, Verdichter, Regler und Verdampfer, in letzterem wird das durch den Regler auf niedrigen Druck entspannte und im Verdichter verflüssigte Ammoniak durch die warme Luft verdampft. Die komprimierte Luft wird auf diese Weise bis etwa auf -20 bis -30° abgekühlt.

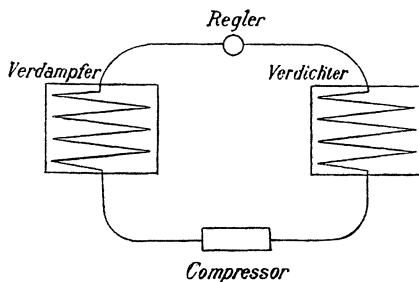


Abb. 10.

Schematische Anordnung der Teile einer Kältemaschine für Tiefkühlung.

b) System Claude.

Claude benutzt die Tatsache, daß man bei einer adiabatischen Dehnung der Luft unter Leistung äußerer Arbeit ein Vielfaches derjenigen Abkühlung erhält, welche bei einfacher Abdrosselung zu erzielen ist. Zahlenmäßig ergibt sich z. B. nach R. Linde, a. a. O., für eine Entspannung von 150 at auf 10 at bei $+18^{\circ}$ Anfangstemperatur eine Abkühlung um 120° , während bei einfacher Abdrosselung nur eine solche von 28° erzielt wird.

Bei den nach Claude gebauten Anlagen werden Drücke von etwa 50 at angewandt, wobei etwa 20 vH der Luft durch Abdrosselung und

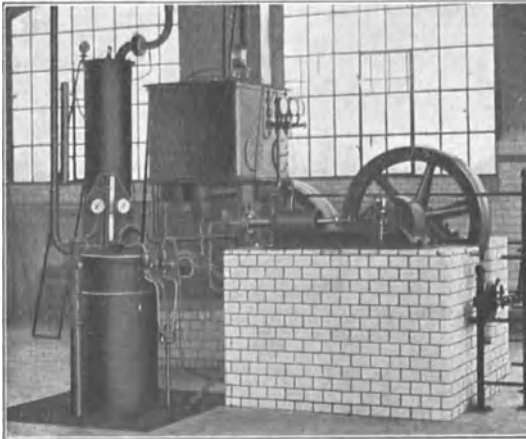


Abb. 11. Entspannungsmaschine Heylandt.

80 vH unter Leistung äußerer Arbeit in einer Expansionsmaschine entspannt werden¹⁾. Die Temperatur der in den Verflüssiger eintretenden Luft ist dabei etwa -100°C .

Heylandt hat das Claudesche Verfahren abgeändert. Die Luft tritt bei den Anlagen von Heylandt mit 200 at und Kühlwassertemperatur in die Entspannungsmaschine ein (Abb. 11) und erleidet hierbei eine Abkühlung

von etwa 150° . Bei der Bauart Heylandt gehen etwa 60 vH der Hochdruckluft durch die Expansionsmaschine.

Nach Bernstein²⁾ sind hierbei zur Erzeugung von 1 kg flüssiger Luft von etwa 80 vH Sauerstoffgehalt ungefähr 4 m^3 atmosphärischer Luft auf 200 at zu verdichten, was ungefähr bei einer 32-kg-Anlage $1,91\text{ PSSt} = 1,41\text{ kWst}$ an der Kompressorwelle gemessen für 1 kg flüssiger Luft (nicht Sauerstoff) entspricht.

Claude, Heylandt und Linde erzielen also mit ungefähr dem gleichen Arbeitsverbrauch die gleiche Leistung.

c) System Messer.

Messer benutzt die Kälte und absolute Trockenheit der aus dem Verflüssigungsapparat entweichenden Stickstoffgase, um die aus den Trockenflaschen kommende Preßluft vorzukühlen. Die hochgespannte (200 at) und in den Trockenflaschen gereinigte Luft wird zu diesem Zwecke in ein Röhrenbündel geleitet, das in einem besonderen, gut isolierten doppelwandigen Kühlzylinder *D* (Abb. 12) eingebaut ist. Um diese Kühlung in sehr einfacher Weise zu erreichen, läßt man den ab

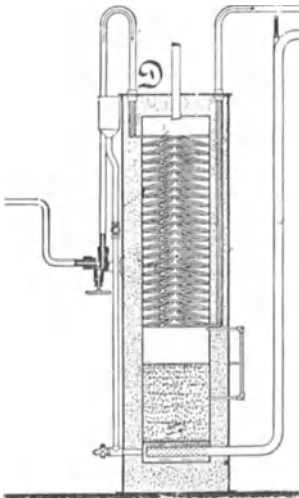


Abb. 12. Vorkühler Messer.

¹⁾ Claude, Georg: Air Liquide, Oxygene, Azote. Vgl. Z. V. d. I. 1921, S. 535.

²⁾ Bernstein: Die Anlage zur Erzeugung flüssiger Luft für Sprengzwecke auf der Gottessegengrube; Glückauf 1915, H. 51, S. 1235. Ferner Papst: Flüssiger Sauerstoff und seine Verwendung als Sprengstoff im Bergbau, München 1917.

solot trocken aus dem Trennapparat kommenden Stickstoff, der sich von -191 auf etwa -8° erwärmt hat und daher eine große Menge Feuchtigkeit aufzunehmen in der Lage ist, durch eine Brause im Wasserbad ausströmen; dem Wasser ist etwa 10 vH Chlorkalzium zugesetzt, damit es nicht gefriert. Die verdunstete Wassermenge ist täglich zu ersetzen. Hierbei nimmt der Stickstoff Feuchtigkeit auf, wobei unter gleichzeitiger Kältewirkung Wasser verdampft.

Mit dieser Temperatur wird die ankommende Hochdruckluft auf etwa $\pm 0^{\circ}$ vorgekühlt, während der Stickstoff, entsprechend erwärmt, ins Freie tritt.

III. Sammelbehälter.

Sind Anlagen größerer Leistung vorhanden, so kann man beispielsweise die Leistung von 10 Stunden à 100 kg = 1000 kg in einen besonderen

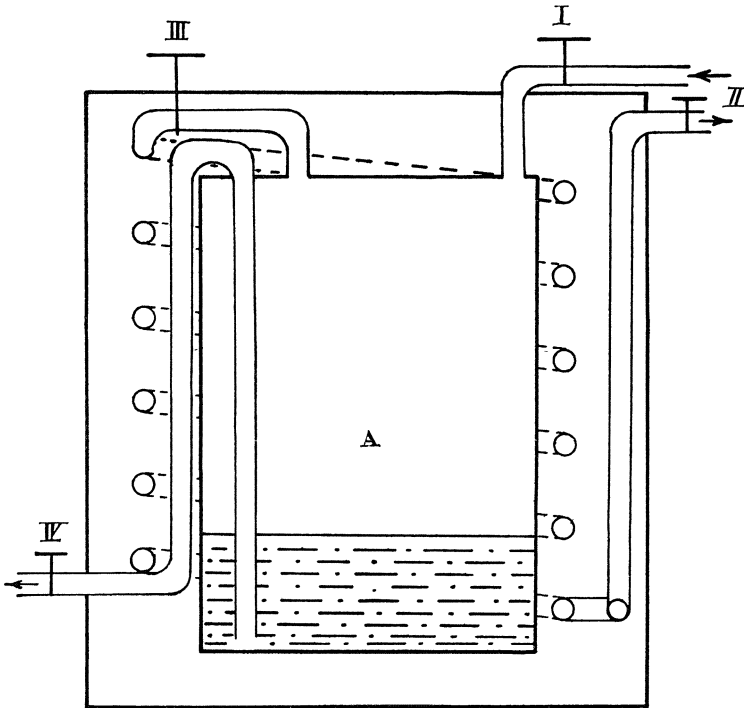


Abb. 13. Sammelbehälter.

Sammelbehälter von 1000 kg Fassungsvermögen leiten, aus dem der flüssige Sauerstoff dann zu Beginn jeder Schicht in die Transportflaschen abgefüllt werden kann. Abb. 13 zeigt eine schematische Skizze eines derartigen Sammelbehälters. Der flüssige Sauerstoff wird durch das Ventil I eingeführt und sammelt sich in dem Gefäß A an; die jeweilige Standhöhe kann an dem Flüssigkeitsanzeiger abgelesen werden. Naturgemäß muß der Apparat bei der erstmaligen Füllung zunächst abgekühlt wer-

den, wozu etwa 50 kg Sauerstoff erforderlich sind. Auch nach der Abkühlung entwickeln sich auf der Oberfläche zwar ständig Sauerstoffgase, die aber bei dem 1000-kg-Tank nur etwa 100 g Flüssigkeitsverlust stündlich ausmachen. Dieser entweicht durch das Ventil II und die Rohrschlange D.

Um flüssigen Sauerstoff abzuleiten, schließt man die Ventile I, II, III und kann die Flüssigkeit dann vermittels des Ventiles IV entnehmen. Gegen Überdruck im Innengefäß schützt ein Sicherheitsventil, welches so eingestellt ist, daß es bei 0,5 at Überdruck bereits abbläst. Das Manometer zeigt den im Innern des Gefäßes jeweilig herrschenden Überdruck an.

Dieser Sammelbehälter kann auch unter Flur angeordnet werden, so daß nur Abblästutzen und Ventile über Flur liegen.

IV. Größe der Sprengluftanlagen.

Die Sprengluftanlagen werden in verschiedenen Größen hergestellt, wie sie nachstehende Zahlentafel 6 zeigt.

Zahlentafel 6.
Sprengluftanlagen verschiedener Leistung.

Größe der Anlage stündlich kg O ₂	Energiebedarf in kW		Kühlwasser-verbrauch in m ³ stündlich	Chemikal-verbrauch in g je Stunde	Raumbedarf in m ³	Fundamentgröße in m ³
	stündlich	je kg O ₂				
7,5	25	3,4	2,0	125	14 × 8 × 5	11,3
15,0	40	2,7	2,8	270	14 × 8 × 5	14,2
30,0	77	2,6	4,5	540	15 × 8 × 5	16,2
60,0	150	2,5	10,0	1080	19 × 11 × 5	32,8
100,0	240	2,4	15,0	1800	19 × 12 × 6	50,0

Der Kraftbedarf, Kühlwasser- und Chemikalienverbrauch je Kilogramm flüssigen Sauerstoffs fällt hiernach mit steigender Größe der Anlage.

Beim Abfüllen des flüssigen Sauerstoffes in die Transportflaschen ist es zweckmäßig, die Gefäße erst durch eine geringe Menge flüssigen Sauerstoffes vorzukühlen, um unnötige Verdampfungsverluste zu vermeiden; in Sonderfällen leitet man auch die beim Füllen entweichenden kalten Sauerstoff-Gase in die zweite zu füllende Flasche, um diese vorzukühlen (Abb. 14). Man spart auf diese Weise fast 4 vH der im anderen Falle (vgl. Zahlentafel 7) erforderlichen Menge Sauerstoff (Abb. 16).

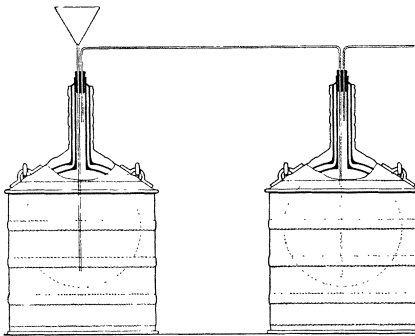


Abb. 14. Vorkühlung von Transportgefäßen.

Es empfiehlt sich, derartige Transportflaschen in solcher Anzahl in den Betrieb einzustellen,

daß je nachdem, ob der Betrieb eine oder zwei Schichten täglich umgeht, die 2—3fache Menge des in einer 8stündigen Schicht erzeugten flüssigen Sauerstoffes aufgespeichert werden kann. Der für den Betrieb erforderliche Gefäßpark läuft dann um:

- a) beim Abfüllen an der Anlage,
- b) auf dem Transport zur Grube,
- c) in der Grube.

Diese Arbeitsweise gibt gleichzeitig eine beachtenswerte Beweglichkeit zwischen Erzeugung und Verbrauch. Eine Störung an der Erzeugungsanlage bleibt in diesem Falle, sofern sie nicht länger als eine oder zwei Schichten andauert, für die Sprengarbeit ohne nachteiligen Einfluß.

V. Gasförmiger Sauerstoff.

Die Luftverflüssigungsanlage läßt sich mit geringen Unkosten gleichzeitig auch zur Erzeugung gasförmigen Sauerstoffes, den der Betrieb für Schneid- und Schweißzwecke benötigt, verwerten. Saugt man nämlich aus einem Transportgefäß A in Verbindung mit einem Verdampfer C oder aus einem Sammelbehälter nach Abb. 13 Sauerstoff mittels des Sauerstoffkompressors D an, so wird mit einem Druck von 125 bis 160 at der gasförmige Sauerstoff in die gebräuchlichen Gasflaschen E abgefüllt (Abb. 15).

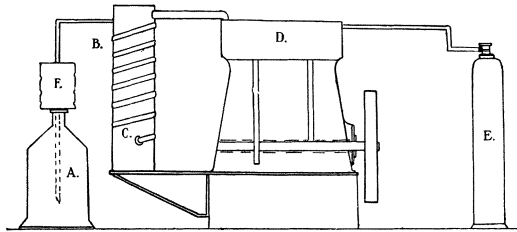


Abb. 15.

Gewinnung gasförmigen Sauerstoffes für Schneid- und Schweißzwecke aus flüssigem Sauerstoff.

Die Vorrichtung (für eine Leistung von 5 und 9 m³ Gassauerstoff stündlich) ist sehr einfach und wird vielen Werken willkommen sein. Der Wirtschaftlichkeitsgrad der Luftverflüssigungsanlage wird durch diese Möglichkeit, den gasförmigen Sauerstoff auf dem Werk selbst zu erzeugen und in Stahlflaschen zu füllen, erheblich gesteigert.

VI. Kennzeichnung der Rohrleitungen.

Es hat sich für den Betrieb als zweckmäßig erwiesen, bei Sprengluftanlagen die Rohrleitungen äußerlich mit Kennzeichen zu versehen, und zwar unterschieden entsprechend der Verschiedenheit der Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten, die durch sie hindurchgeleitet werden. In Anlehnung an die in der Industrie üblichen Einheitsfarben¹⁾ verwendet man für Sprengluftanlagen folgende Kennzeichnung:

- Kühlwasser: grün.
- Lauge: violett.
- Konzentrierte Lauge: violett mit rotem Ring.
- Gebälseluft, Ansaugluft: blau ohne Ring.

¹⁾ Schuchardt & Schütte: Technisches Hilfsbuch. 6. Aufl. Berlin: Julius Springer 1923. Z. V. d. I. 1911, Nr. 48; Z. V. d. I. 1913, Nr. 12.

Preßluft bis 10 at Überdruck: blau mit einem roten Ring.
 „ über 10—100 at „ blau mit zwei roten Ringen.
 „ über 100 at „ blau mit drei roten Ringen.
 Dampf bis 2 at Überdruck (Heizdampf): weiß.
 „ über 2 at „ weiß mit einem roten Ring.
 Öl: braun.

Als zweckmäßige Art der Anbringung der Farbenbezeichnung im Betriebe wird die Benutzung von Blechbändern von 10—15 cm Breite empfohlen, die in den betreffenden Farben emailliert oder lackiert sind und an den Kreuzungspunkten der Rohrleitungen oder an anderen wichtigen Stellen an die Rohre gelegt werden.

B. Gefäße¹⁾.

Um das Sprengluftverfahren mit wirtschaftlichem Vorteil und technisch ohne Betriebsstörungen anwenden zu können, muß vor allem der

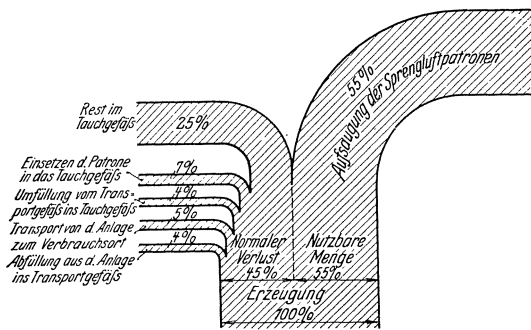


Abb. 16. Verdampfungsverluste.

Transport des flüssigen Sauerstoffes von der Sprengluftanlage bis zur Verbrauchsstelle, das Tränken der Patronen in den Tränkgefäßen und der Transport der getränkten Patronen bis vor Ort in einfacher betriebssicherer Weise so geschehen, daß möglichst wenig flüssiger Sauerstoff ungenutzt verlorengeht²⁾.

Die bisher hierbei entstandenen Verluste, die einen Ausnutzungsfaktor von etwa 55 vH der von der Sprengluftanlage erzeugten Menge flüssigen Sauerstoffes ergeben, können, wie im nachstehenden erläutert wird, noch wesentlich herabgemindert werden.

Die Verluste setzen sich nach der Zahlentafel 7 in Verbindung mit Abb. 16 wie folgt zusammen:

Zahlentafel 7.

Sauerstoff-Verluste von der Sprengluftanlage bis zum Bohrloch.

1. Abkühlung der Transportflasche an der Anlage	4 vH
2. Transport von der Anlage zum Verbrauchsort	5 vH
3. Abkühlung des Tränkgefäßes	4 vH
4. Abkühlung der Sprengluftpatrone	7 vH
5. Rest in dem Tränkgefäß	25 vH
Gesamtverlust	45 vH

¹⁾ D. R. P. Nr. 250 263, 294 141, 315 353, 315 660, 326 385, 353 856, 362 881, 370 381, 372 562, 378 357, 385 061.

²⁾ Wachlowski: Erfahrungen mit Gefäßen für flüssigen Sauerstoff. Glückauf 1918, Nr. 26, S. 406.

I. Transportgefäße.

Die gebräuchlichsten Größen von Sprengluft-Transportgefäßen zeigt Abb. 17 in Verbindung mit nachstehender Zahlentafel 8.



Abb. 17. Sprengluft-Transportgefäße.

Zahlentafel 8.

Abmessungen der gebräuchlichsten Sprengluft-Transportgefäße.

Größe Liter	Fassungs- vermögen an O ₂ kg	Durchmesser mm	Höhe mm	Leergewicht kg
5	5,65	285	550	7
15	16,95	380	610	15
25	28,25	455	800	22

Die zum Transport des flüssigen Sauerstoffes dienenden Flaschen aus hochwertigem Metall (Neusilber und Messing) haben Kugelform und sind zum Schutz gegen mechanische Beschädigungen in ein stark verzinktes Gefäß aus Stahlblech eingebaut (Abb. 18). Für die Flasche selbst ist die Kugelform gewählt, weil diese bei größtem Inhalt die kleinste Oberfläche hat. Der lange Hals¹⁾ der Flasche ist ständig mit kaltem Sauerstoffgas gefüllt, wodurch der Zutritt der warmen Außenluft zu dem flüssigen Sauerstoff in der Flasche verhindert wird.

Um Erschütterungen z. B. bei Entnahme aus dem Förderwagen und hartem Aufsetzen, von der kugelförmigen Flasche möglichst fernzuhalten, ist diese auf einer Spiralfeder in dem Schutzgehäuse verlagert²⁾.

Abb. 19 stellt ein derartiges Gefäß dar. Die kugelförmige Flasche hat am Halse einen Verstärkungsring, mit dem sie auf einer langen Spiralfeder verlagert ist; auf diese Weise wird jeder Stoß leicht abgefedert, da die kugelförmige Flasche im Schutzgehäuse leicht auf und nieder schwingen kann. Durch diese vorteilhafte Anordnung wird sowohl eine Verletzung des Gefäßhalses auf dem Transport als auch die Übertragung etwaiger Stöße auf die Kugel wirksam verhindert. Die Verdampfung beim Transport derartiger Gefäße auf Last- oder in Grubenwagen wird hierdurch

¹⁾ D. R. P. 250 263.

²⁾ D. R. P. Nr. 315 353.

sehr erheblich herabgemindert. Eingehende Versuche, die in der Weise gemacht wurden, daß eine Anzahl von Sprengluftgefäßen auf Lastkraftwagen längere Zeit auf schlechten Wegen transportiert wurden, zeigten, daß die neue Bauart gegenüber der früheren mit festem Einbau eine wesentlich geringere Verdampfungsziffer gewährleistet.

Durch diesen Fortschritt im Bau der Sprengluftgefäße ist eine weitere Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Sprengluftverfahrens erreicht wor-



Abb. 18. Sprengluft-Transportgefäß
(Mantel aufgeschnitten).

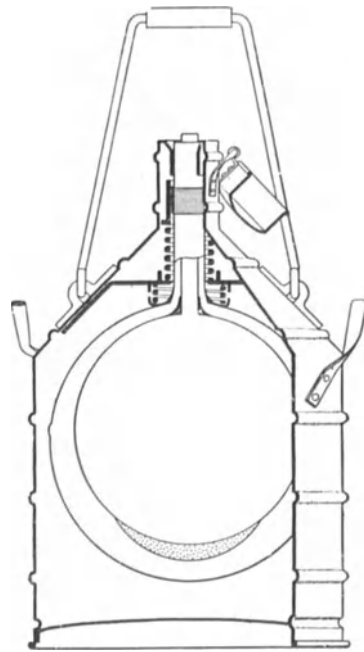


Abb. 19. Sprengluft-Transportgefäß
(im Schnitt).



Abb. 20.

den, da es nunmehr möglich ist, auf weite Entfernungen den flüssigen Sauerstoff zu versenden¹⁾.

Um das Gefäß zu entleeren, soll es zunächst horizontal gehalten werden (Abb. 20); zum gänzlichen Entleeren ist eine etwas weitere Neigung erforderlich, weil die normale Entleerung nur dadurch zustande kommen kann, daß sich die innere Kugel an die äußere anlehnt²⁾ (Abb. 21 a u. b). Nur in dieser Stellung kann eine Wärmeübertragung zwischen der inneren und äußeren Kugel eintreten, die den zum leicht-

¹⁾ So wurde im Sommer 1923 für Versuche in Sardinien flüssiger Sauerstoff in Transportflaschen von 15 Liter Inhalt von Tivoli bei Rom mit der Eisenbahn über Rom (44 km) nach Civitavecchia (140 km), von da mit dem Dampfschiff bei bewegter See nach Cagliari und dann noch mit der Bahn nach Iglesias (etwa 100 km) geschafft mit einem Verdampfungsverlust in den 78 Stunden Transportzeit von nur 25 vH des Inhalts.

²⁾ D. R. P. 250 263.

ten Ausgießen notwendigen Gasdruck über dem Flüssigkeitsspiegel sofort herbeiführt. Dagegen ist es durchaus falsch, die Flasche beim Ausgießen auf den Kopf zu stellen. Denn so erzielt man unter Umständen das Gegenteil des Erstrebten, da die Berührung der beiden Kugeln wieder aufgehoben und die Gasbildung oder der Druck ausgeschaltet oder verringert wird. Versuche, durch Aufstoßen der Flasche mit dem Halsende auf das Tränkgefäß zum schnelleren Entleeren zu bringen, sind zwecklos, ganz abgesehen davon, daß hierbei in der Regel der Hals oder die innere Kugel der Flasche oder der Oberrand des Tränkgefäßes beschädigt wird.

Mit den gebräuchlichsten Sprengluft-Transportgefäßen, 5 und 15 l flüssigen Sauerstoff fassend (auch 25 l werden noch vereinzelt verwendet), kann man 1, 2 oder 3 Tränkgefäße gleichzeitig oder hintereinander zur jeweiligen Schußzeit füllen. Neuerdings verwendet man immer mehr die 15-l-Flasche, die sowohl in Querschlägen und Strecken als auch in Tränkstationen, besonders wegen ihres mittleren Gewichtes, gut zu handhaben ist; fast 90 vH der z. Zt. in Betrieb befindlichen 50 000 Gefäße entfallen auf diese

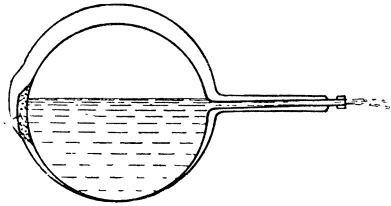


Abb. 21 a.
Kugelgefäß (liegend).

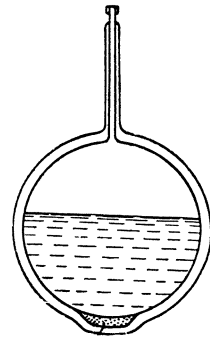


Abb. 21 b.
Kugelgefäß (stehend).

Größe. Außerdem hat man in den Betrieben die Erfahrung gemacht, daß die leichteren Gefäße schonender behandelt werden als die schweren und daß bei den leichten Gefäßen seltener Beschädigungen auftreten, weil naturgemäß der Arbeiter ein leichtes Gefäß stoßfreier aufsetzen kann als ein schwereres.

Der Verlust an flüssigem Sauerstoff ist, solange dieser im Transportgefäß aufbewahrt wird, sehr gering. Es verdampfen nach Zahlentafel 9 aus einem Transportgefäß:

Zahlentafel 9.
Verdampfungsverluste der Sprengluftgefäße.

Inhalt		Verdampfung			Außenmaße in mm	
		je Stunde		in 24 Stunden		
Liter	kg	g	vH	vH	Ø	Höhe
5	5,65	40	0,71	17	285	550
15	16,95	70	0,41	9	380	610
25	28,25	80	0,28	7	455	800

Wird flüssiger Sauerstoff aus den Tränkgefäßen in die Transportflaschen zurückgegossen, so verwendet man zum Zurückhalten etwaiger

mechanischer Verunreinigungen einen mit Sieb versehenen Trichter, auf den man noch ein Stückchen Stoff legt.

Sprengluft-Transportgefäße werden zweckmäßig, besonders wenn Sauerstoffreste aus den Tränkgefäßen zurückgegossen werden, von Zeit zu Zeit mit Tetrachlorkohlenstoff oder Benzin gereinigt. Man muß sie dann gründlich nachspülen, z. B. mit Kali- oder Natronlauge, und gut trocknen lassen.

II. Tränkgefäße.

1. Zylindrische Form.

Die gebräuchlichsten Größen von Sprengluft-Tränkgefäßen zeigt nachstehende Zahlentafel 10 in Verbindung mit Abb. 22.

Zahlentafel 10.

Abmessungen zylindrischer Tränkgefäße, Tauchtiefe 340 mm, Außenhöhe 800 mm.

Innen- durchmesser mm	Inhalt flüssiger Sauerstoff kg	Gewicht der leeren Gefäße kg	Patronenfassungsvermögen in Stück			
			Patronendurchmesser in mm			
			30	32	35	38
100	2,93	4,5	6	5	4	4
150	6,78	7,5	15	14	11	9
200	10,17	12,0	26	24	20	18
250	18,75	17,0	40	38	30	27
300	24,0	20,0	70	65	55	47
350	33,0	23,0	96	82	70	60
400	43,0	27,0	120	105	87	70
500	67,0	35,0	200	166	135	116



Abb. 22. Sprengluft-Tränkgefäß.

Wenn das Tränkgefäß nicht schon durch Reste von flüssigem Sauerstoff vom vorhergehenden Tränken oder durch getränkte Patronen abgekühlt ist, muß es beim Füllen mit flüssigem Sauerstoff zunächst gut vorgekühlt werden. Füllt man das warme Tränkgefäß mit flüssigem Sauerstoff, damit sich Hochvakuum einstellt, gleich voll, so verdampft der Sauerstoff sehr stark, was sich durch Brodeln und Aufspritzen bemerkbar macht. Die hierbei entstehenden Verluste (vgl. Abb. 16 und Zahlentafel 7) betragen etwa 4 vH der ab Sprengluftanlage für 1 kg Sprengstoff erforderlichen Menge an flüssigem Sauerstoff. Diese Verdampfungsverluste werden vermieden und die aufsteigenden kalten Gase gleichzeitig zum Vorkühlen der Patronen ausgenutzt, wenn man eine Anzahl Patronen in das Tränkgefäß stellt

und dann zunächst eine kleinere Menge Sauerstoff, etwa ein Viertel des Fassungsvermögens des Tränkgefäßes, eingießt. Bringt man die Patronen in ein schon gefülltes Tränkgefäß, so braucht man beispielsweise für jede Patrone 50 g flüssigen Sauerstoff mehr, als wenn man die Patronen zuerst in das leere Tränkgefäß stellt und dann erst den flüssigen Sauerstoff allmählich hinzugießt.

Sehr oft werden bei diesem unsachgemäßen Tränken die Patronen auch gewaltsam in das Tränkgefäß hineingedrückt, was unbedingt zu vermeiden ist. Solange nämlich die Patronen noch aus der Flüssigkeit herausragen, enthalten sie atmosphärische Luft, die erst in dem Maße austritt, wie flüssiger Sauerstoff in die Patronen eindringt. Die atmosphärische Luft entweicht beim Tiefsinken der Patrone allmählich (10 Minuten) durch den oberen Teil der Patrone in die freie Luft. Taucht man dagegen die Patrone gewaltsam unter, so wird die Luft unter Druck seitlich aus der Patrone herausgetrieben, Luftblasen steigen hoch und werfen flüssigen Sauerstoff empor, der durch Verdampfung ungenutzt verlorengeht. Die genügende Tränkung der Patronen erkennt man daran, daß die Patronen völlig untertauchen und das Brodeln des flüssigen Sauerstoffs aufhört, d. h. daß keine Luftblasen mehr aus den Patronen entweichen und aufsteigen.

Die getränkten Patronen werden in der Praxis im allgemeinen mit den Fingern aus den Tränkgefäßen entnommen (Verwendung von Handschuhen würde zu Verbrennungen der Haut führen). Man kann sich hierzu aber auch Holz- zangen bedienen oder sogenannter „Patronenheber“ (Abb. 23), die vor dem Einsetzen der Sprengluftpatronen in das Tränkgefäß gestellt werden.

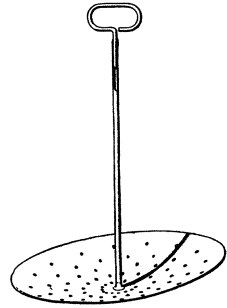


Abb. 23.
Patronenheber.

Der das Gefäß abschließende Deckel dient nicht nur zum Schutze gegen das Hineinfallen schädlicher Gegenstände, er soll auch verhindern, daß ein über das Tränkgefäß streifender warmer Luftzug die über der Flüssigkeit lagernde kalte Gasschicht fortführt, welche den flüssigen Sauerstoff vor dem Zutritt der warmen Außenluft schützt. Man muß daher das Tränkgefäß durch den Deckel schließen, sobald die Patronen völlig untergetaucht sind.

Um ein einfaches und wirtschaftliches Laden der Bohrlöcher zu ermöglichen, wählt man zur Beförderung der getränkten Sprengluftpatronen bis vor Ort, sofern der Transport von fertig getränkten Patronen in Patronen-Traggefäßen (s. Abb. 25) nicht möglich ist, Tränkgefäße, deren Größe der Anzahl der durchschnittlich für einen Beschuß zu verwendenden Patronen angepaßt ist (vgl. Zahlentafel 10).

2. Rechteckige Tränkgefäße.

Zum gleichzeitigen Tränken von 30 und mehr Sprengluftpatronen sind rechteckige Tränkgefäße empfehlenswert, insbesondere wenn sie in ortsfesten Tränkstellen verwendet werden.

Diese Tränkgefäße werden, wie aus untenstehender Zahlentafel 11 ersichtlich, bis zu einem Fassungsvermögen von 130 Patronen $30 \text{ } \varnothing \times 300 \text{ mm}$ gebaut.

Zahlentafel 11.
Abmessungen rechteckiger Tränkgefäße.

Inhalt kg	Tiefe mm	Breite mm	Länge mm	Patronendurchmesser in mm		
				30	35	38
				Stückzahl		
12,870	250	200	325	48	35	30
32,670	400	300	330	130	88	70

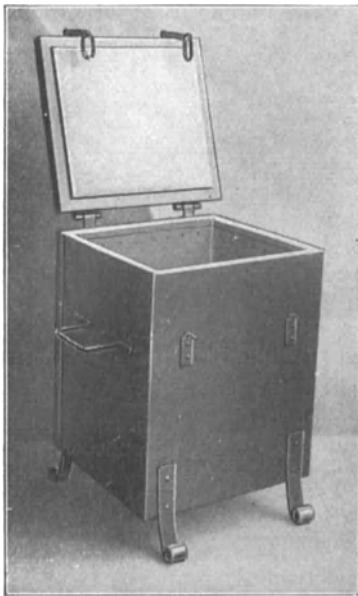


Abb. 24. Rechteckiges Tränkgefäß.

Zu dem Bau eines Tränkgefäßes von rechteckiger Form mit muldenförmigem Boden (Abb. 24) hat die Tatsache geführt, daß der im zylindrischen Gefäß zum Tränken der Patrone in senkrechter Anordnung zur Verfügung stehende Raum oft nicht ganz ausgenutzt wird. In Fällen, wo z. B. für einen Abschuß 45 Patronen benötigt werden, zu welchen bisher zwei zylindrische Tränkgefäße von je 30 Patronen Fassungsvermögen verwendet wurden, wird das zweite Tränkgefäß mit nur 15 Patronen gefüllt. Der flüssige Sauerstoff kann also nur etwa mit 50 vH ausgenutzt werden, da das Gefäß trotzdem bis an den oberen Rand gefüllt sein muß; es bleibt daher ein ungewöhnlich großer Rest — 8,3 kg — an flüssigem Sauerstoff zurück, der in der Regel nicht wieder verwendet oder gar ausgegossen wird und daher ungenützt verlorenght. Diese Verluste

beziiffern sich auf 25 vH des für den Gesamtbetrieb an der Sprengluftanlage entnommenen Sauerstoffes (vgl. Zahlentafel 7 in Verbindung mit Abb. 16). Es kann also durch entsprechende Organisation ganz bedeutend an flüssigem Sauerstoff gespart werden. Beispielsweise benötigt man für 70 Patronen $35 \text{ } \varnothing \times 300 \text{ mm}$ bei dem rechteckigen Tränkgefäß nur 32,70 kg flüssigen Sauerstoff gegen 43 kg bei dem zylindrischen Gefäß; die Ersparnis, 10 kg, beträgt also etwa 25 vH.

Die rechteckige Form eines Tränkgefäßes von genügender Größe, um Patronen liegend tränken zu können, ist daher zur wirtschaftlichen Ausnutzung der Sprengluft in vielen Fällen vorteilhaft. Diese Form hat ferner noch den Vorteil, daß bei Entnahme der ersten Patrone die nächstfolgenden immer noch ganz in flüssigem Sauerstoff verbleiben, bis die

letzte Patrone dem Gefäß entnommen ist, während bei der zylindrischen Form des Tränkgefäßes bei der Entnahme der ersten Patrone der Flüssigkeitsspiegel sinkt, die Köpfe sämtlicher Patronen freilegt und allmählich abdampfen läßt. Bisweilen wird sogar vorschriftswidrigerweise schon beim Transport zum Sprengort ein Teil der Sprengluft abgegossen.

Die Verdampfung der flüssigen Luft ist ferner abhängig von der Höhe der Gasschicht, die sich über der Flüssigkeit befindet; da nun in den vier-eckigen Tränkgefäßen der Flüssigkeitsspiegel etwa 50 mm unterhalb der Oberkante sich befindet (bei Tränkung einer geringeren Anzahl Patronen noch tiefer), so schützt diese Gasschicht die flüssige Luft vor der Erwärmung durch die atmosphärische Luft. Bei den zylindrischen Gefäßen muß dagegen das Tränkgefäß immer bis oben gefüllt werden, gleichgültig ob viel oder wenig Patronen getränkt werden sollen. Hierbei befindet sich aber, wenn man das Gefäß nicht unhandlich hoch machen will, über dem flüssigen Sauerstoff nur eine Gasschicht von wenigen Millimetern, die von dem leisesten Lufthauch fortgetragen wird und der warmen (+20°) Außenluft ungehinderten Zutritt zu dem (-180°) kalten, flüssigen Sauerstoff gewährt. Die Folge hiervon ist eine höhere Verdampfung.

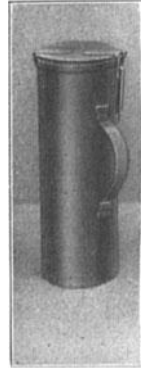


Abb. 25.
Patronen-Traggefäß.

III. Patronen-Traggefäß.

Müssen wegen schwer zugänglicher Betriebspunkte oder können infolge zentral gelegener Abbaupunkte ortsfeste Tränkstationen eingerichtet werden, so verwendet man die Patronen-Traggefäße (D. R. P.). An bestimmten Tränkstationen werden dann die Sprengluftpatronen in einem größeren, in der Regel rechteckigen Gefäße getränkt und den Bergarbeitern die getränkten, also sprengfertigen Patronen in einem besonderen Patronen-Transportgefäß vor Ort gebracht (Abb. 25). Hierdurch spart man zunächst die Luftmenge (4 vH), die man beim Einzeltränkverfahren vor der Gebrauchsstelle zum Kühlen jedes einzelnen warmen Tränkgefäßes aufwenden muß, und ferner die sehr beachtenswerten Sauerstoffreste im Tränkgefäß (25 vH), weil diese zum Tränken der nächsten Patronen verwendet werden können. Es wird daher an flüssigem Sauerstoff ganz erheblich (bis 30 vH) gespart. Die besondere Bauart dieser Patronen-Traggefäße vereinigt geringes Gewicht mit guter Isolation, so daß die getränkten Patronen etwa 1/2 Stunde aufbewahrt oder befördert werden können, ohne an Sprengkraft einzubüßen.

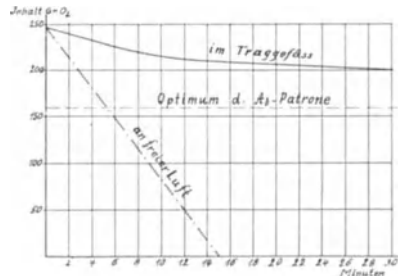


Abb. 26.
Verdampfungsverlust von Sprengluftpatronen im Patronen-Traggefäß.

Wie aus der Kurve (Abb. 26) ersichtlich, verdampft eine Patrone in dem Patronen-Traggefäß in 30 Minuten so wenig, daß sie nach

dieser Zeit noch genügend Sauerstoff besitzt, um einwandfrei zu detonieren, während diese Grenze (Optimum) an freier Luft schon nach $5\frac{1}{2}$ Minuten erreicht ist. Man kann auf diese Weise mit großem wirtschaftlichen Vorteil und gleichzeitig in technisch einwandfreier Weise an zentraler Stelle die Patronen tränken und in den Traggefäßen vor Ort bringen. Das Patronen-Traggefäß erleichtert daher wesentlich die Verwendung des Sprengluftverfahrens an schwer zugänglichen Betriebspunkten. (Vgl. Anhang: Traggefäße im Steinbruch.)

Die Patronen-Traggefäße haben einen besonders isolierten Abschlußdeckel und werden in folgenden in Zahlentafel 12 angegebenen Größen hergestellt.

Zahlentafel 12.
Abmessungen des Patronen-Traggefäßes.

Durchmesser mm	Patronen-Durchmesser in mm			
	30	32	35	38
	Stückzahl			
100	6	5	4	4
125	14	11	10	8
150	15	14	11	9

In Tagebauen, Steinbrüchen oder dergleichen Betrieben kann der flüssige Sauerstoff aus einer größeren (50- oder 100-kg-Flasche) unmittelbar in die transportablen Tränkgefäße abgefüllt werden; zum Nachgießen wird dann eine kleinere Transportflasche (z. B. 5 kg) mitgeführt. Man bedient sich zum Entleeren des 50- oder 100-kg-Transportgefäßes in solchen Fällen auch eines Syphons (Abb. 27).

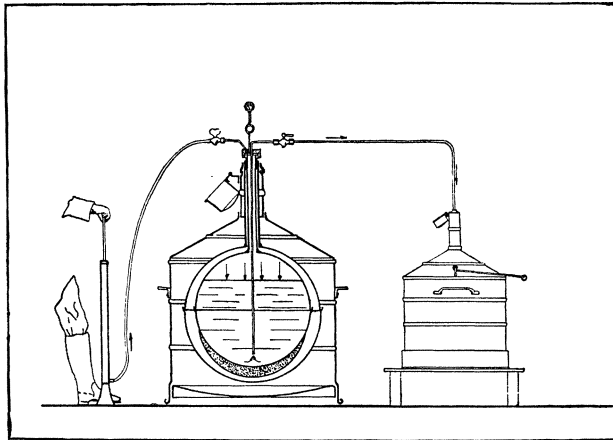


Abb. 27. Umfüllvorrichtung.

IV. Vorteile der Tränkweise in ortsfesten Tränkstationen.

1. Bessere (restlose) Ausnutzung der in den Transportflaschen vorhandenen Sprengluft.

2. Leichter Transport der Sprengluft in Förderwagen von der Sprengluftanlage bis zur Tränkstation. (Die Flaschen sind in den Transportgefäßen gut abgedeutert, so daß die Verdampfungsverluste gering sind.)

3. Nur einmalige Abkühlung der Tränkgefäße, für die im anderen Falle 4 vH der gesamten Sprengluftherzeugung verlorengeht.

4. Gutes Tränken der Patronen von geübter Hand bei guter (gegebenenfalls elektrischer) Beleuchtung; in der Station kann gleichzeitig das Patronenlager sein, so daß eine besondere Ausgabe der Patronen nicht erforderlich ist.

5. Vermeidung der großen Verluste, die dadurch entstehen, daß beim Tränken in einzelnen Tauchgefäßen nach Entnahme der Patronen 25 vH des an der Sprengluftanlage erzeugten flüssigen Sauerstoffes zurückbleibt, der ungenutzt verdampft, während er in der Tränkstation zum Tränken der nächsten Patronen ausgenutzt werden kann.

6. Bequeme Beförderung der Patronen an schwer zugängliche Betriebspunkte in leichten, völlig geschlossenen Patronen-Traggefäßen, so daß ein Verspritzen von Sprengluft ausgeschlossen ist.

C. Sprengluftpatronen ¹⁾.

I. Allgemeines.

Die Wirksamkeit der Sprengluftpatrone beruht auf demselben Vorgange, auf dem die Wirkung fast aller Sprengstoffe beruht; nämlich auf einer sehr schnellen Verbrennung von oxydierbaren Körpern mit Sauerstoff, wobei die molekuläre Spannung und die Korngröße des Kohlenstoffträgers von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Beim Schwarzpulver war seit alters her Salpeter dieser Sauerstoffträger und der Kohlenstoffträger die Kohle. Auch die moderne Sprengstoffindustrie benutzt gleichfalls Salpeter, wenn auch nur mittelbar, als Sauerstoffträger, indem sie mit aus Salpeter hergestellter Salpetersäure (HNO₃) die verschiedenen Kohlenstoffträger, wie z. B. Baumwolle (oder andere Zellulosen), Glycerin, Kohlenwasserstoffe oder ähnliche Körper, nitriert und dadurch zu einem Sprengstoff macht.

Der Unterschied zwischen diesen modernen Sprengstoffen und dem alten Schwarzpulver ist der, daß bei Schwarzpulver die beiden Komponenten, Sauerstoffträger (Salpeter) und Kohlenpulver, auf mechanischem Wege miteinander gemischt werden, während bei den modernen Sprengstoffen die beiden Komponenten auf chemischem Wege miteinander durch die erwähnte Nitrierung in innige Verbindung gebracht werden.

Die beiden Stoffe, Salpeter und Kohle, können beim Schwarzpulver also in fester Form nur unvollkommen miteinander vermischt werden, d. h. bei noch so feiner Mahlung berühren sich die einzelnen Moleküle nur in einzelnen Punkten ihrer Oberfläche. Anders bei dem Sprengluftverfahren: Das Sprengluftverfahren kehrt zu der einfachen Art des

¹⁾ D. R. P. Nr. 287 275, 300 640, 301 800, 306 380, 325 932, 338 951, 347 671, 348 137, 352 838, 352 839, 353 856, 359 765, 366 234, 366 235, 367 333, 370 134, 370 511, 371 457, 372 321, 372 507, 372 558, 372 561, 373 049, 373 097, 373 098, 373 101, 373 899, 374 907, 378 355, 378 356, 380 014, 385 210, 385 281, 385 859.

Mischens zurück, vermeidet aber die Nachteile des alten Verfahrens. Die Sprengluft hat den Vorteil, daß der Sauerstoffträger, flüssiger Sauerstoff (in reiner Form 95—99 vH O_2), den Kohlenstoffträger tränkt, also in die feinsten Poren des staubförmig gepulverten Kohlenstoffträgers einzudringen vermag und damit die gesamte zur Verfügung stehende Oberfläche berührt, so daß im Augenblick der Detonation eine gut und schnell verlaufende Reaktion des Sauerstoffes mit dem Kohlenstoff gewährleistet wird. Hierzu kommt, daß der Sauerstoffträger ohne den Stickstoff- (N_2 -) Ballast fast als reiner Sauerstoff Verwendung findet, was bei festen Sprengstoffen niemals vorkommt.

Das Sprengluftverfahren gibt dem Bergbau den Einheitssprengstoff, dessen Abstufungen nach den erforderlichen Brisanzwerten nur von der Zusammensetzung des Kohlenstoffträgers abhängig ist. Die Hauptkomponente, der flüssige Sauerstoff, bleibt in allen Fällen dieselbe; ihr Gewichtsanteil am Sprengstoff beträgt etwa 75 vH, während der Kohlenstoffträger nur etwa 25 vH ausmacht. Dies ist gegenüber den handfertigen Sprengstoffen, die in einer kaum übersehbaren Anzahl hergestellt werden, eine bemerkenswerte Vereinfachung.

Die nur mit dem Kohlenstoffträger gefüllten Sprengluftpatronen stellen nur einen Teil des zu bildenden Sprengstoffes dar; erst nach der Tränkung mit flüssigem Sauerstoff sind sie explosibel. Lagerung und Transport der Sprengluftpatronen ist daher völlig gefahrlos und wird von den behördlichen Vorschriften des Sprengstoffgesetzes nicht betroffen.

Die Sprengluftpatronen werden in drei Brisanzgrößen hergestellt, die in Anlehnung an die Anfangsbuchstaben der festen Sprengstoffe bezeichnet sind mit:

- Oxyliquit *D* (dynamitähnliche Wirkung),
- Oxyliquit *A* (ammonsalpeterähnliche Wirkung),
- Oxyliquit *P* (pulverähnliche Wirkung).

Bezüglich der Wirkung der Sprengluftpatronen soll auf die bekannte Autorität im Sprengstoffwesen, Stettbacher¹⁾, hingewiesen werden. Stettbacher zählt schon 1917, ohne also die bis 1923 erzielte Vervollkommnung schon würdigen zu können, die Sprengluft zu den „energiegewaltigsten Sprengstoffen, die wir heute (1917) kennen“.

Bezüglich der bei der Explosion frei werdenden Wärmemenge sagt Stettbacher insbesondere folgendes: „1 kg Sprengluft, bestehend aus 257 g Ruß-Rohnaphthalin (75/25) und 743 g flüssiger Luft von 98 vH Sauerstoff, liefert 2180 cal.

1 kg Sprenggelatine (der stärkste, feste Sprengstoff) 1620 cal.

1 kg Trinitrotoluol 730 cal.

Frei aufliegend und in annähernd richtigem Tränkungszeitpunkt elektrisch gezündet erhält man beispielelose Wirkungen. Die Zerstörung übertrifft wirklich alles, was durch andere Sprengstoffe bisher je erreicht worden ist.“

¹⁾ Stettbacher: Das Sprengluftverfahren und seine militärtechnischen Aussichten. Schweizerische Zeitschrift für Artillerie und Genie Nr. 11, November 1917.

II. Der Sauerstoffgehalt.

Die Ausbeute der in den Sprengluftpatronen enthaltenen Energie ist weit größer bei Verwendung reinen Sauerstoffs als bei Gebrauch eines weniger hochprozentigen Sauerstoff-Stickstoffgemisches. Der Stickstoff wird bei der Explosion mit erwärmt, liefert aber keine Reaktionsenergie, so daß seine Erwärmung nur eine Verringerung der Gesamtenergie herbeiführt.

Wie aus der nachstehenden Zahlentafel 13 hervorgeht, ergibt eine Sprengluftpatrone im Trauzl'schen Bleiblock bei 40 vH O₂-Gehalt der flüssigen Luft nur 9 cm³ Ausbauchung gegen 384 cm³ bei 98 vH O₂-Gehalt.

Zahlentafel 13.
Trauzl-Versuche.

O ₂ -Gehalt vH	Wirkung (Bleiblockausbauchung)
35	keine Explosion
40	9 cm ³
50	30 "
55	147 "
98	384 "

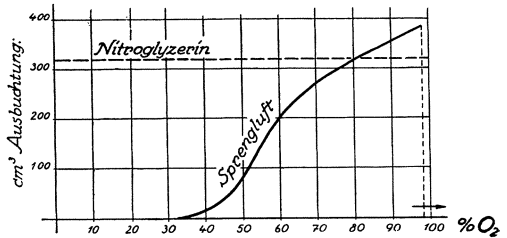


Abb. 28. Trauzl-Versuche. Sprengluft-Versuche mit verschiedenem O₂-Gehalt.

Dieselbe Erscheinung läßt sich auch mit dem Bichelschen Brisanzmesser nachweisen, wie aus Zahlentafel 14 in Verbindung mit Abbildung 29 ersichtlich ist. Für dieselbe Leistung von 40 kg Druck sind entweder 115 g Sprengluft mit einer Sauerstoffreinheit von nur 50 vH erforderlich oder nur 87 g mit einer Sauerstoffreinheit von 80 vH.

Zahlentafel 14.

Unterschied in der Lademenge bei verschiedenem Sauerstoffgehalt, aber derselben Leistung.

Um einen Druck von 40 kg zu erhalten, sind erforderlich:

115 g Sprengluft mit 50 vH O ₂	
oder 103 g	„ „ 60 „ „
oder 96 g	„ „ 70 „ „
oder 87 g	„ „ 80 „ „

Bei der Verbrennung von Kohlenstoff in der atmosphärischen Luft im Vergleich zu reinem Sauerstoff erzielt man nach Kast¹⁾ ähnliche Vergleichswerte.

Kohlenstoff ergibt hiernach (a. a. O.) bei der Verbrennung in atmosphärischer Luft von etwa 21 vH Sauerstoffgehalt nur 2700°, als Verbrennungstemperatur im reinen Sauerstoff dagegen 7800°, wobei eine Wärmemenge von 97,65 cal pro Gramm-Molekül frei wird.

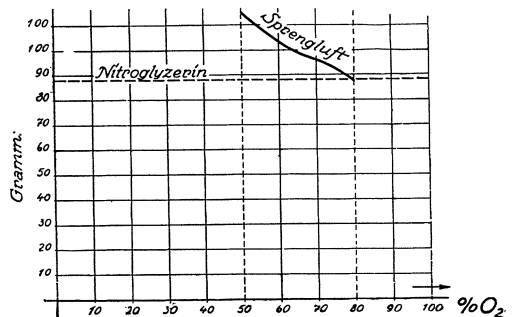


Abb. 29. Bichelsche Brisanz-Ergebnisse.

¹⁾ Z. f. Schieß- u. Sprengstoffwesen 1913, S. 66.

III. Der Kohlenstoffträger.

1. Allgemeines.

Neben der Konzentration des in der flüssigen Luft enthaltenen Sauerstoffs spielt die jeweilige Beschaffenheit des Kohlenstoffträgers eine sehr wichtige, ja in der Regel die ausschlaggebende Rolle.

Da bei ein und derselben Anlage mit einem stets gleichbleibenden Sauerstoffgehalt von etwa 95 vH gerechnet werden kann, so ist für die verschiedene Größe der Brisanz nur die Zusammensetzung und Vorbehandlung des Kohlenstoffträgers ausschlaggebend.

Was zunächst die Beschaffenheit des Kohlenstoffträgers betrifft, so ist zu berücksichtigen, daß die ein einwandfreies Tränken hindernden schädlichen Hohlräume durch entsprechende Behandlung vorher aus dem Kohlenstoffträger entfernt werden müssen. Würde man den Kohlenstoffträger nicht in Pulverform, sondern in gröberer Vermahlung verwenden, so würde nach Untersuchungen von Heiler und Wolf¹⁾ auch bei stöchiometrischem Sauerstoffgehalt eine vollkommene Verbrennung nicht stattfinden, sondern man müßte einen wesentlich höheren Sauerstoffüberschuß anwenden, um eine vollkommene Verbrennung zu erzielen. Der Grund hierfür liegt darin, daß in solchen physikalischen Gemischen der Verbrennungsvorgang lediglich an der Oberfläche verläuft, so daß tiefer liegende Teile zur vollkommenen Umsetzung nicht mehr genug Sauerstoff vorfinden. Gröberes Material hat ferner den Nachteil, daß der von den Hohlräumen kapillar aufgenommene Sauerstoff sowohl bei der Entnahme der Patronen aus dem Tränkgefäß abtropft als auch bei der Einführung dieser ins Bohrloch ungenutzt verlorengeht.

Die bisher verwendeten Kohlenstoffträgermischungen waren im wesentlichen folgende: Sprenglufruß — ein nach einem Sonderverfahren (D. R. P.) hergestellter, sehr leichter Ruß von außerordentlich großer Oberflächenspannung und Aufsaugefähigkeit —, in besonderen Maschinen aufbereitetes, harzfreies Holzschleifmehl und Korkschleifmehl, beide in Puderform, ferner Kohlenwasserstoffverbindungen, Metallverbindungen und einige andere Stoffe. Alle diese Körper sind in den ersten Jahren der seit 1912 einsetzenden ausgedehnten Anwendung des Sprengluftverfahrens verwendet worden und haben das Sprengen mit flüssiger Luft in Kohle, Erz und Kali und im Steinbruch bis zu einem beachtenswerten Umfange ermöglicht.

Die mit diesen Stoffen erzielte Sprengleistung genügte jedoch nicht völlig den höheren Anforderungen, die im Stollen und Querschlagsbetriebe besonders in zähem, verspanntem Material — Granit, Gneis und Hartsalz — an die Sprengluftpatronen gestellt werden.

Eingehende Untersuchungen haben nun in einem Polymerisationsprodukt des Azetylens — dem sogenannten Sprengluftcarben — einen Körper gefunden²⁾, dessen vorteilhafte Eigenschaften in Verbindung mit den bekannten Kohlenstoffträgern die Herstellung einer Sprengluft-

¹⁾ Z. f. angew. Chemie Bd. 36, S. 373.

²⁾ D. R. P. 352 838, 352 839, 371 457. Z. f. anorg. Chemie 7. II. 1923, Nr. 11.

patrone ermöglicht hat, deren Energieinhalt alle bisher bekanntgewordenen Kohlenstoffträger bei weitem überragt. Die Verbrennungswärme des Sprengluftcarbens beträgt je Kilogramm, bezogen auf den wasserfreien Zustand, 9757 Cal; die Verbrennungsprodukte sind gasförmige CO₂ und gasförmiges H₂O. Die Elementaranalyse ergibt in Hundertteilen:

C	= 91,74
H	= 6,68
O ₂ -Differenz zu 100	= 0,80
S	= 0,17
H ₂ O	= 0,12
Asche	= 0,49
	100,00 vH

Das Verhältnis von Kohlenstoff (C) zu Wasserstoff (H) ist etwa 1 : 0,87.

250 g Sprengluftcarben liefern mit 750 g O₂ etwa 2500 Cal. Dieser Sprengstoff übertrifft also an Arbeitsenergie alles bisher Bekannte, insbesondere auch deshalb, weil auch seine Detonationsgeschwindigkeit wesentlich höher liegt als z. B. die des Sprenglufttrübes, dem bisher leistungsfähigsten Sprengluft-Kohlenstoffträger. Durch Zusatz von Carben haben sich auch die bisher bekannten Sprengluftpatronen ganz wesentlich verbessern lassen.

2. Arbeitsleistung.

Die verschiedenartige Wirkung der Sprengluftpatrone wird durch eine verschiedenartige Zusammensetzung der Kohlenstoffträger erzielt. Sie wird bedingt durch die Unterschiede in der spezifischen Energie (*f*) der verschiedenen Mischungen, durch die verschiedenen kubischen Dichten (*d*) und endlich durch die verschiedene Detonationsgeschwindigkeit (*V*). Diese drei Größen liegen in einer von Kast¹⁾ aufgestellten Brisanzformel, wobei die Brisanz als Arbeitsleistung je Volumeneinheit zu definieren ist. Die Explosion vollzieht sich bei konstantem Volumen, es muß also die in der Raumeinheit vorhandene Energie berücksichtigt werden, nicht die Energie der Gewichtseinheit.

Die Brisanz (*B*) errechnet sich nach der Kastschen Formel wie folgt:

$$B = f \cdot d \cdot V,$$

wobei

f = spezifische Energie,

d = kubische Dichte,

V = Detonationsgeschwindigkeit bedeutet.

Für die bekannten festen Sprengstoffe, auf die im nachstehenden des öfteren Bezug genommen werden muß, sind nachstehende Werte für obige Größen von Kast (a. a. O.) ermittelt.

Zahlentafel 15.

Energieinhalt und Arbeitsleistung verschiedener fester Sprengstoffe.

Sprengstoffart	Schwarzpulver	Ammonsalpeter	Ammonperchlorat	Dynamit
Spezifische Energie (<i>f</i>) kg/l	2810	5575	4860	7690
Kubische Dichte (<i>d</i>) . . .	1,2	1,0	1,17	1,68
Detonationsgeschwindigkeit (<i>V</i>) m/sec	400	1920	2500	6650
Brisanzwert (<i>f</i> · <i>d</i> · <i>V</i>) . . .	1350	10704	14216	76000

¹⁾ Z. f. Schieß- u. Sprengstoffwesen 1913, Nr. 8, S. 67.

a) Spezifische Energie (f).

Die Größe der spezifischen Energie ist abhängig von der Explosionswärme, den spezifischen Wärmen der Gase und dem entwickelten Gasvolumen. Die bei der Explosion freiwerdende Wärmemenge (Cal/kg) stellt den eigentlichen Energiegehalt dar; derselbe beträgt beispielsweise bei der hochbrisanten Patrone *Db* 2233 Cal/kg gegen nur 1267 Cal/kg beim Gelatinedynamit. Von dieser Energie wird aber nach Brunswig, a. a. O., praktisch nur ein Drittel in Arbeit umgesetzt, weil die Zeit, in der die Gesamtenergie zur Wirkung gelangt, für den Explosionsvorgang von ausschlaggebender Wirkung ist.

Für die Sprengluftpatronen haben sich folgende Werte ergeben:

Zahlentafel 16.
Energieinhalt und Arbeitsleistung der Sprengluftpatronen.

Brisanzgrößen	<i>P</i>	<i>Pb</i>	<i>A</i>	<i>Ab</i>	<i>D</i>	<i>Db</i>
Explosionswärme in Cal/kg	1725	1680	1724	2009	2014	2233
Gasvolumen in ltr/kg . . .	609	684	697	597	651	641
Spezifische Energie (f) in kg/l	11 228	12 016	12 363	13 283	13 617	14 532

b) Ladedichte (d).

Neben der spezifischen Energie spielt die Energiekonzentration oder Ladedichte (d) eine große Rolle. Man versteht unter dieser Dichte (d), auch kubische Dichte genannt, das Verhältnis des in Gramm ausge-

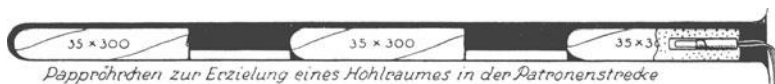


Abb. 30a.

drückten Gewichtes des Sprengstoffes zu dem im Kubikzentimeter ausgedrückten Raum, in welchem die Explosion erfolgt. Das Maximum der Wirkung wird also erzeugt, wenn ein Sprengstoff von hohem spezifischem Gewicht den ihm zugewiesenen Raum vollständig ausfüllt.

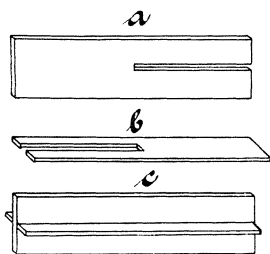


Abb. 30b.
Hohlrumpatrone.

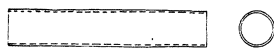


Abb. 30c.
Papprohrchen.

Während aber für die Wahl eines Sprengstoffes für militärische Zwecke eine hohe Ladedichte ausschlaggebend ist, wird bei den für den Bergbau bestimmten Sprengstoffen nur mit wenigen Ausnahmen (z. B. bei Dynamiten für harte Gesteine) keine hohe kubische Dichte verlangt; man geht hierbei von der Erfahrung aus, daß durch eine zu hohe Ladedichte die sichere Detonation des Sprengstoffes bei Initiierung durch eine Sprengkapsel erschwert oder in Frage gestellt wird.

Bei den Sprengluftpatronen wird die praktisch in Frage kommende Ladedichte immer kleiner sein als die des festen Sprengstoffes, weil es bei den Sprengluftpatronen mit Rücksicht auf ihren festen (gefrorenen) Zustand

unmöglich ist, den gegebenen Bohrlochraum durch Zusammenpressen des Sprengstoffes vollständig auszufüllen. Normalerweise bleibt also um jede Sprengluftpatrone ein Hohlraum (Ringraum) von etwa 1—2 mm Wandstärke. Wird beispielsweise eine Patrone von $35 \varnothing \times 300$ in ein Bohrloch von 37 mm Durchmesser gebracht, so kann sie dasselbe nur zu 90 vH ausfüllen. Um diesen Wert verringert sich selbstverständlich auch in der Praxis in der Regel die in Zahlentafel 17 angegebene Ladedichte der Sprengluftpatrone.

Zahlentafel 17.

Kubische Ladedichte (d) der verschiedenen Sprengluftpatronen.

	<i>K</i>	<i>P</i>	<i>Pb</i>	<i>A</i>	<i>Ab</i>	<i>D</i>	<i>Db</i>
Kubische Ladedichte	1,0	0,80	0,86	0,90	1,20	1,30	1,40

Will man, um die Brisanz zu verringern, die kubische Ladedichte praktisch noch weiter herabsetzen, so läßt man zwischen je zwei Patronen einen Hohlraum frei (den man in bequemer Weise durch ein Papprohrchen herstellen kann, Abb. 30a u. 30c). Beispielsweise wird die praktische Ladedichte von 2 Patronen = 2×300 mm Länge, wenn ihre kubische Ladedichte gleich 1 ist, um $\frac{800 - 600}{800} \cdot 100 = 25$ vH herabgesetzt, wenn man ein Papprohr von 200 mm Länge dazwischenschaltet. Da aber die Brisanz proportional der Ladedichte ist, wird auf diese Weise die Brisanz von 1 auf etwa 0,75 ermäßigt.

c) Detonationsgeschwindigkeit (V).

Wie aus obiger Formel $B = f \cdot d \cdot V$ hervorgeht, ist die Brisanz proportional der Geschwindigkeit (V), mit welcher der Sprengstoff detoniert. Die Detonationsgeschwindigkeit (m/sec) ist also ein wichtiger Maßstab für die Kraft eines Sprengstoffes. Je kürzer die Zeit ist, in der ein Sprengstoff in Gase zerfällt, d. h. je mehr (m) Sprengstoffmasse in der gleichen Zeiteinheit (Sekunde) von der Detonationswelle durchlaufen wird, desto mehr Energie wird in derselben Zeiteinheit zur Arbeitsleistung frei.

In der Praxis wird diesem Grundsatz dadurch Rechnung getragen, daß die brisanteste Sprengluftpatrone (Oxyliquit *Db*) die höchste, die am weichsten wirkende (Oxyliquit *K*) die geringste Detonationsgeschwindigkeit (m/sec) hat.

Man kann die Brisanz auch dadurch etwas herabsetzen, daß man nur mit der Stichflamme des elektrischen Zünders (Fulminatzündler) oder der Zündschnur zündet; hierbei wird die volle Detonationsgeschwindigkeit (V) später erreicht als bei Zündung mit der Kapsel.

Die Detonationsgeschwindigkeiten der Sprengluftpatronen liegen unverdämmt zwischen 3000 und 5000 m pro Sekunde; sie liegen damit also (vgl. Zahlentafel 18) zwischen den Chloratsprengstoffen und den Dynamiten, zum Teil sind sie etwas höher als die Ammonsalpeter-

sprengstoffe von gleicher kubischer Dichte. Sie haben sich merkwürdigerweise nach umfangreichen Messungen mit dem Chronographen als unabhängig erwiesen von der Wartezeit, d. h. vom Sauerstoffgehalt der Patrone. Bei Sprengluftcarben wurden¹⁾ bei verschiedenen Zeiten folgende Werte gemessen:

Sauerstoff-Carben-Gemisch nach	3 Minuten	. . . .	4930 m/sec
„ „ „ „	4 „	. . . .	4600 „
„ „ „ „	6 „	. . . .	4670 „
„ „ „ „	6 „	. . . .	4870 „
„ „ „ „	6 „	. . . .	4750 „
„ „ „ „	10 „	. . . .	4780 „

Innerhalb der Versuchsfehler erscheint die Detonationsgeschwindigkeit also als vollkommen konstant.

Die Detonationsgeschwindigkeit der bekannten Sprengstoffe ist in der Zahlentafel 15 enthalten, für die Sprengluftpatronen Oxyliquit *K* bis *Db* wurden im Durchschnitt folgende Werte ermittelt:

Zahlentafel 18.
Detonationsgeschwindigkeit (*V*) der Sprengluftpatronen.

Brisanzwert	<i>K</i>	<i>P</i>	<i>Pb</i>	<i>A</i>	<i>Ab</i>	<i>D</i>	<i>Db</i>
Detonationsgeschwindigkeit (<i>V</i>) in m/sec	2700	3200	3600	3800	4000	4200	5000

d) Brisanzwert (*B*).

Will man also eine möglichst hohe Brisanz erhalten, so muß man diejenigen Patronen auswählen, bei denen die in Frage kommenden Faktoren *f*, *d* und *V* den Maximalwert erreichen.

Zur Erreichung größter Wirkung muß außerdem größtmögliche Ladedichte durch Ausschaltung toter Räume zwischen Patrone und Bohrlochwand angestrebt werden, denn sie beeinträchtigen wesentlich die Auswirkung der Explosionsenergie.

Um einen besseren Vergleich zu erhalten, sollen in der nachstehenden Zahlentafel 19 die wichtigsten Brisanzwerte für Sprengluftpatronen zusammengestellt werden. Gleichzeitig wird Zahlentafel 15 von Seite 23 hier nochmals in sinngemäßer Weise zur Darstellung gebracht.

Zahlentafel 19.
A. Sprengluftpatronen Oxyliquit *K* bis *Db*

Faktoren	<i>K</i>	<i>P</i>	<i>Pb</i>	<i>A</i>	<i>Ab</i>	<i>D</i>	<i>Db</i>
Spezifische Energie (<i>f</i>) kg/1	5600	11 228	12 016	12 363	13 283	13 617	14 532
Kubische Ladedichte (<i>d</i>)	1,0	0,80	0,86	0,90	1,15	1,30	1,40
Detonationsgeschwindigkeit (<i>V</i>) in m/sec	2700	3200	3600	3800	4000	4200	5000
Brisanzwert (<i>f · d · V</i>)	15 120	28 700	39 000	43 000	62 800	72 540	102 000

¹⁾ Chem.-tech. Reichsanstalt.

B. Feste Sprengstoffe.

Faktoren	Sicherheits-Sprengstoff	Pulver	Ammonsalpeter-Sprengstoffe	Dynamit
Spezifische Energie (f) kg/l	5580	280	9855	7690
Kubische Dichte (d) . . .	1,0	1,2	1,14	1,68
Detonationsgeschwindigkeit (V) in m/sec . . .	2720	300	3700	6650
Brisanzwert ($f \cdot d \cdot V$) . . .	15170	1000	41000	76000

Die vielfach für die Bewertung der Arbeitsleistung der Sprengstoffe benutzte Trautzlsche Bleiblockprobe, bei der ein durch die Explosion im Innern des Bleiblocks entstandener Hohlraum gemessen wird, liefert bei Sprengluftpatronen wegen Veränderung der physikalischen Konstanten des Bleies bei den tiefen Temperaturen keine richtigen Werte.

Auch deshalb ist diese Methode für das Sprengluftverfahren nicht recht geeignet, weil die hohe und unregelmäßige Wärmezufuhr im Bleiblock große Verdampfungsverluste für die sehr klein zu bemessenden Patronen verursacht; größere Patronen haben bei den brisanten Zusammensetzungen in der Regel den Bleiblock gesprengt. Durch Versuche wurden folgende Werte bisher ermittelt:

Zahlentafel 20.
Bleiblockergebnisse nach Trauzl.

Brisanzgrößen	K	P	Pb	A	Ab	D	Db
Ausbauchungen in cm^3	nicht ermittelt	410	450	505	510	550	640

3. Abmessungen der Patronen.

Die Wirkung der Sprengluftpatronen ist, abgesehen von der Zusammensetzung des Kohlenstoffträgers, auch noch von der Abmessung der Patronen (Länge und Durchmesser) abhängig.

a) Länge der Patrone.

Als Länge hat sich die 300-mm-Patrone überall in der Praxis bewährt. Bei 300 mm Länge ist das Einführen selbst einer starren Patrone in Bohrlöcher mit einem „Fuchs“ ohne Ladehemmung noch leicht möglich. In vereinzelten Fällen werden auch halbe Patronen (150 mm) verwendet. Die Länge ist zum Teil auch durch die Tauchtiefe der zylindrischen Tränkgefäße gegeben, die in der Regel 320 mm ist und durch die Breite der rechteckigen Tränkgefäße; bei längeren Patronen als 300 mm kann daher der Kopf nicht mehr genügend getränkt werden, während kürzere Patronen, z. B. halbe, ohne weiteres verwendet werden können. Von größerer Bedeutung als die Länge ist aber der Durchmesser.

b) Durchmesser der Patronen.

Patronen unter einem Durchmesser von 30 mm sollten beim Sprengluftverfahren im allgemeinen nicht verwendet werden, ganz abgesehen davon, daß bei geringerem Patronendurchmesser der Wirkungsgrad eines jeden Sprengstoffes nicht voll ausgenutzt wird.

Nach Heise-Herbst¹⁾ soll man auch bei Ammonsalpetersprengstoffen ohne Not nicht unter 30 mm Patronendurchmesser gehen. Das sogenannte Optimum, d. h. die Zeitspanne, innerhalb deren das Verhältnis zwischen Kohlenstoffträger und Sauerstoff das günstigste für die vollkommene Verbrennung ist, erstreckt sich bei in langen Bohrlöchern befindlichen Patronen auf eine längere Zeit, weil die Patronen in den abziehenden kalten Gasen lagern, daher nur noch geringe Mengen

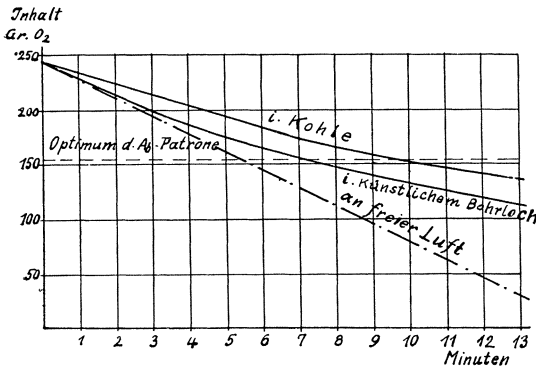


Abb. 31. Verdampfungskurve von Sprengluftpatronen im Bohrloch.

an flüssigem O₂ abgeben. Hierzu kommt, daß das umgebende Gestein nur in den ersten Minuten größere Kältemengen aufzunehmen vermag, während an freier Luft, z. B. bei Plattenschüssen, die Verdampfung größer ist. Die Verdampfungskurve (Abb. 31) verläuft daher nach anfänglichem stärkeren Ansteigen bald sehr flach, was beweist, daß die prozentualen Verdampfungsverluste schon nach

einer bestimmten Anzahl von Minuten geringer werden.

Der Inhalt der zylindrischen Patronen ($r^2 \pi h$) wächst bekanntlich bei gleichbleibender Länge (h) mit dem größer werdenden Radius im quadratischen, die Oberfläche ($2 r \pi h$) dagegen nur im linearen Verhältnis (vgl. Zahlentafel 21).

Bekanntlich wächst aber auch mit größerem Durchmesser die Lebensdauer der Sprengluftpatrone, da in derselben Zeiteinheit bei verhältnismäßig geringer wachsender Oberfläche der Wärmeaustausch und damit der Verlust an O₂ pro Gramm Patroneninhalte geringer wird.

Zahlentafel 21.

Inhalt und Oberflächenverhältnis der Patronen bei verschiedenem Durchmesser.

Ø mm	Oberfläche bei Länge (h) = 1000 mm mm ²	Prozentuale Zunahme der Oberfläche pro 2 mm größeren Ø vH	Kubischer Inhalt bei (h) = 1000 mm mm. ³	Prozentuale Zunahme des Inhalts pro 2 mm größeren Ø vH
30	942,50		706,86	
32	1005,30	6,66	804,25	13,7
34	1068,10	6,20	907,92	12,9
36	1131,00	5,95	1017,88	12,1
38	1193,80	5,50	1134,11	11,4
40	1256,60	5,30	1256,64	10,8

1) Heise-Herbst: Bergbaukunde. Berlin 1921.

Aus der Zahlentafel 21 ergibt sich bei gleicher Steigerung des Durchmessers von 30 zu 40 mm eine Oberflächenvergrößerung von nur 34 vH, während der Inhalt sich um mehr als das Doppelte, d. h. 78 vH, vergrößert. Da bei einer Vergrößerung des Inhalt um 78 vH der Verlust an flüssigem Sauerstoff entsprechend der Oberflächenvergrößerung nur um 34 vH, also nur um etwa 50 vH, zunimmt, so steigt selbstverständlich auch die Lebensdauer der Patrone auf mehr als das Doppelte, wie sich aus Zahlentafel 22 ergibt.

Zahlentafel 22¹⁾.

1. Patronendurchmesser mm	30	35	40	45
2. Patronenlänge mm	300	300	300	300
3. Verdampfungsoberfläche cm ²	282	330	376	424
4. Inhalt der Patrone cm ³	212	290	377	477
5. Trockengewicht g.	57	80	100	129
6. Inhalt der Patrone O ₂ g	177	248	310	400
7. Theoretischer O ₂ -Bedarf in g	114	160	202	260
8. Nutzw. in g	171	240	302	389
9. Überschuß in g	63	88	108	140
10. Überschuß vH	55	55	54	54
11. Lebensdauer in Minuten	6	10	13	18

Der auf diese Weise rechnerisch ermittelte Sauerstoffüberschuß ist aber nicht allein maßgebend für die Lebensdauer der Patrone, er würde vielmehr zu falschen Resultaten führen, wenn man den mit steigendem Durchmesser kleiner werdenden Verdampfungsfaktor (Verhältnis von Patroneninhalt in cm³ zu Patronenoberfläche in cm²) unberücksichtigt lassen würde.

4. Patronenhülsen.

An die Umhüllung der Sprengluftpatronen werden folgende Anforderungen gestellt:

1. Festigkeit in gefrorenem Zustande bei -180° ,
2. gute Durchlässigkeit für flüssigen Sauerstoff,
3. gute Isolierung gegen die Bohrlochwandung.

Nur gewisse langfaserige Papiersorten haben gleichzeitig obige Eigenschaften — Festigkeit und Durchlässigkeit. Die Sprengluft-Gesellschaft erzielt den geforderten Effekt durch Verwendung einer Doppelhülse aus zwei Sorten Papier, von denen die innere, dicke Hülse ein besonders hergestelltes lockeres Gefüge hat und daher gut aufsaugt und isoliert, während die äußere Schutzhülle der Patrone die

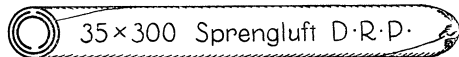


Abb. 32.

nötige Festigkeit verleiht. Diese Patronenhülsen werden auf Spezialmaschinen derart hergestellt, daß nur die äußere Schutzhülle eine Leimung und Lochung erhält (Abb. 32).

¹⁾ Die Angaben beziehen sich auf Sprengluftpatronen Oxyliquit *Ab*.

5. Tränken der Patronen.

Das Tränken der Patronen hat den Zweck, dem in der Papierhülse befindlichen Kohlenstoffträger das Höchstmaß an flüssigem Sauerstoff zuzuführen. Zu diesem Zwecke ist die Papierhülse aus einem Material hergestellt und in einer Weise gewickelt, daß der flüssige Sauerstoff leicht eindringen, der in Puderform befindliche Kohlenstoffträger aber nicht nach außen gelangen kann. Beim Tränken der Patronen steigen die Luftbläschen, welche in den Hohlräumen der Patrone noch vorhanden sind, allmählich heraus, da die spezifisch schwerere flüssige Luft leichter eindringt. Äußerlich ist der getränkte Zustand der Patrone an ihrem Untersinken zu erkennen; es empfiehlt sich aber, noch etwas länger zu tränken, im ganzen etwa 10 Minuten, damit auch alle Luftteilchen, die noch in der Patrone schädliche Räume bilden (vgl. C III, Abschn. 1, S. 32), ausgetrieben werden. Die Tränkdauer wird durch Einsetzen eines fein durchlöcherten Pappröhrchens wesentlich abgekürzt. Es ist aber auch, wie schon erwähnt, falsch, die Patronen in den Tauchgefäßen mit Gewalt unterzutauchen; auch das Anbringen von Löchern in der Patrone mit Haken, Nägeln, Messer o. dgl. ist nicht statthaft; einerseits werden Kohlenstoffträger hierbei verstreut und ins Bohrloch geraten, andererseits wird die Verdampfung unnötig erhöht, weil die Gase zu schnellem Abfluß erhalten (siehe auch Seite 28: „Vorteile der Tränkweise in ortsfesten Tränkstationen“).

6. Schwadenbildung.

Bei den Sprengluftpatronen ist ein starkes Initiierungsmittel (Sprengkapsel) in der Regel nicht erforderlich, da der reine Sauerstoff in Verbindung mit dem Kohlenstoffträger bei entsprechender Temperatur des Zündmittels die Detonation sicher herbeiführt¹⁾.

Beim Sprengen in der Kohle muß man zur Vermeidung der Bildung von CO- und CH₄-Gasen die Explosionstemperatur der normalen Sprengluftpatrone herabsetzen. Dies geschieht durch wärmebindende Zusätze, welche die Explosionstemperatur auf etwa 1900° C herabmindern (Sicherheitssprengstoffe haben bekanntlich ebenfalls 1800—1900° C). Diese Zusätze haben gleichzeitig den Vorteil, Sauerstoff aufzunehmen, ohne ihn selbst zu benötigen. Hierdurch wird in einfacher Weise ein so hoher Sauerstoffüberschuß erzielt, daß diese sogenannten *K*-Patronen praktisch stets mit Sauerstoffüberschuß detonieren und die Bildung von CO-Gasen mit Sicherheit vermieden wird.

Zahlentafel 23a—d zeigt Ergebnisse von Schwadenanalysen²⁾ aus dem Oberschlesischen Bergbau im Vergleich mit den Nachschwadenanalysen eines dort gebrauchten Wettersprengstoffes.

¹⁾ Wird eine Sprengkapsel verwandt, so genügt Größe Nr. 3 oder 6.

²⁾ Nach amtlichen Untersuchungen der Oberschlesischen Zentrale für Grubenrettungswesen, Beuthen (O.-Schl.).

Zahlentafel 23a.

Ergebnis der am 16. August 1923 eingesandten 5 Nachschwadenproben mit Wetter-Bradit W III, entnommen am 14. August 1923 auf Königsgrube.

	Nr. 1 vH	Nr. 2 vH	Nr. 3 vH	Nr. 4 vH	Nr. 5 vH
Sauerstoff	18,58	20,55	19,36	18,63	18,88
Kohlendioxyd	1,10	0,11	0,50	0,91	0,96
Kohlenoxyd	Spur	0	0	0,06	0,06
Methan	0	0	0	0	0
Wasserstoff	—	—	—	—	—
Schwere Wasserstoffe	—	—	—	—	—
Stickstoff	80,32	79,34	80,14	80,40	80,10

Zahlentafel 23b.

Ergebnis der am 17. August 1923 eingesandten 3 Nachschwadenproben, entnommen am 17. August 1923 Marieschacht, Strecke 6l. Königsgrube (Ks-7-Patrone).

	Nr. 1 vH	Nr. 2 vH	Nr. 3 vH
Sauerstoff	19,07	19,14	19,09
Kohlendioxyd	0,66	0,65	0,71
Kohlenoxyd	0	Spur	0
Methan	0	0	0
Wasserstoff	—	—	—
Schwere Wasserstoffe	—	—	—
Stickstoff	80,27	80,21	80,20

Zahlentafel 23c.

Ergebnis der am 18. August 1923 eingesandten 5 Nachschwadenproben, entnommen im Marieschacht der Königsgrube. (Ks-9-Patrone.)

	Nr. 1 vH	Nr. 2 vH	Nr. 3 vH	Nr. 4 vH	Nr. 5 vH
Sauerstoff	20,68	20,69	20,66	20,62	20,64
Kohlendioxyd	0,23	0,21	0,22	0,22	0,21
Kohlenoxyd	0	0	0	Spur	0
Methan	0	0	0	0	0
Wasserstoff	—	—	—	—	—
Schwere Wasserstoffe	—	—	—	—	—
Stickstoff	79,09	79,10	79,12	79,16	79,15

Zahlentafel 23d.

Ergebnis der am 23. August 1923 eingesandten 6 Nachschwadenproben der Kc-9-Patrone.

	Nr. 1 vH	Nr. 2 vH	Nr. 3 vH	Nr. 4 vH	Nr. 5 vH	Nr. 6 vH
Sauerstoff	20,70	20,70	20,71	20,72	20,72	19,35
Kohlendioxyd	0,20	0,12	0,13	0,12	0,20	0,20
Kohlenoxyd	0	0	0	0	0,04	0,05
Methan	0	0	0	0	0	0
Wasserstoff	—	—	—	—	—	—
Schwere Wasserstoffe	—	—	—	—	—	—
Stickstoff	79,10	79,18	79,16	79,16	79,04	79,80

Nachstehende Zahlentafel 24 gibt nach Heise - Herbst: „Bergbaukunde“, die Erzeugnisse der Explosion von 1 kg verschiedener Sprengstoffe wieder; hieraus ist ersichtlich, daß die Nachschwaden z. B. beim Schwarzpulver, abgesehen von den festen Rückständen (564 g) mindestens 87 ltr CO-Gase enthalten, beim Kohlenkarbonit ergeben sich sogar 211 ltr CO je Kilogramm Sprengstoff.

Zahlentafel 24.

Schwadenanalyse bei festen Sprengstoffen, nach Heise.

Sprengstoff	1 kg liefert bei der Explosion an Gasen (ltr)							festen Rückstand (Rauch) g
	insgesamt	CO ₂	H ₂ O	CO	N	O ₂	H ₂	
Schwarzpulver 75 vH . .	296	122	—	87	87	—	—	564
Gelatine-Dynamit . . .	640	248	234	—	135	23	—	166
Kohlenkarbonit	805	149	148	211	79	—	218	245

Zahlentafel 25.

Ergebnis von Nachschwadenanalysen, die auf der Paulusgrube am 13. März 1918 beim Beschuß mit Sprengluftpatronen Oxyliquit K. entnommen wurden¹⁾.

	Nr. 1 cm ³	Nr. 2 cm ³	Nr. 3 cm ³	Nr. 4 cm ³	Nr. 5 cm ³	Nr. 6 cm ³	Nr. 7 cm ³	Nr. 8 cm ³	Nr. 9 cm ³
Kohlendioxyd .	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,6	0,3
Schwere Kohlenwasserstoffe .	0,4	0,0	0,1	0,2	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3
Sauerstoff . . .	20,4	20,3	20,3	20,0	20,0	20,0	20,2	19,9	20,0
Stickstoff . . .	79,0	79,6	79,2	79,0	78,9	79,1	78,9	79,2	79,4
Kohlenoxyd . . .	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Methan	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Wasserstoff . . .	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Besondere Vorteile der Sprengluftpatronen sind mithin nach vorstehendem:

1. gute Lagerfähigkeit, daher Möglichkeit, große Vorräte zu stapeln, um von Störungen im Transportwesen, Streiks usw. unabhängig zu sein;

¹⁾ Beuthen (O.-S.), den 18. III. 1918. Laboratorium der oberschles. Zentralstelle für Gruben-Rettungswesen und Versuchsstrecke. gez. Dr. L. Wein. Hier heißt es unter Bemerkungen: Die „schweren Kohlenwasserstoffe“ wurden durch Absorption mittels rauchender Schwefelsäure bestimmt. Der Nachweis der brennbaren Gase (Kohlenoxyd, Methan und Wasserstoff) wurde durch die bei der Verbrennung stattfindende Kontraktion und nachherige Bestimmung des bei der Verbrennung sich bildenden Kohlendioxyds versucht. Er fiel bei allen Proben negativ aus. Außerdem wurde der qualitative Nachweis von Kohlenoxyd nach dem 1., 2. und 4. Schuß auch an Ort und Stelle, dann nochmals bei allen Proben im Laboratorium mittels Paladiumammoniumchlorür versucht, jedoch jedesmal mit negativem Erfolg.

2. völlige Ungefährlichkeit der Lagerung der Patronen in den Magazinen, ohne besondere behördliche Einschränkungen;

3. Zündungsmöglichkeit bei Oxyliquitpatronen P u. Pb. ohne Sprengkapsel, lediglich mit der durch die Sauerstoffgase erhöhten Temperatur der Zündschnur oder der Fulminatfüllung des elektrischen Zünders;

4. gute Übertragungsfähigkeit von Patrone zu Patrone, ohne Verwendung einer zweiten Kapsel;

5. lange Lebensdauer bei entsprechendem Durchmesser;

6. Unmöglichkeit verbrecherischer Akte durch Diebstahl von Patronen, da dieselben ohne flüssigen Sauerstoff nicht sprengfähig sind.

D. Bohrlöcher.

Eine Grundbedingung für jedes erfolgreiche Sprengen ist in erster Linie das richtige Abbohren der Ortsbrust¹⁾. Hierunter ist zu verstehen:

das richtige Ansetzen der Bohrlöcher, sowohl in bezug auf das Einfallen der Schichten als auch in bezug auf den Winkel, den die Achse des Bohrloches mit der Ortsbrust bildet;

die richtige Länge und ein entsprechender Durchmesser des Bohrloches; und

die zweckmäßige Anzahl der Bohrlöcher.

Genaue Anweisungen, die für alle Fälle gelten, lassen sich bei der Verschiedenheit der örtlichen Verhältnisse, wie Härte, Zähigkeit, Verspannung des Gesteins, Querschnitt des Stollens und Einfallen der Schichten, nicht geben; es ist auch zu beachten, daß bei diesen Fragen ausschlaggebend ist, ob es in erster Linie auf unmittelbare Geld- oder auf Zeitersparnis ankommt. Es sollen daher hier nur einige Winke gegeben werden, die für die Praxis des Sprengluftverfahrens beachtenswert sind. Im übrigen kann auch hier auf die Bergbaukunde, Heise-Herbst, IV. Auflage, S. 270ff., verwiesen werden.

I. Allgemeines.

Der günstigste Sprengkegel, d. h. derjenige mit möglichst großem Ausbruchinhalt, wird erzielt, wenn die kürzeste Widerstandslinie, d. h. die kürzeste Verbindungslinie zwischen Sprengladungsschwerpunkt und freier Abschlagfläche, die sog. Vorgabe „*w*“ gleich dem Halbmesser „*r*“ der Grundfläche des Kegels ist, bei dem die Mantellinien des Kegels unter 45° zur freien Fläche (Ortsbrust) stehen (Abb. 33—35).

Wird die Vorgabe zu klein bemessen, d. h. ist der oben gekennzeichnete Winkel kleiner als 45° , so äußert sich die Wirkung im wesentlichen dahin, daß der Ausbruch vollkommen zu kleinen und kleinsten Teilen zerschlagen und mit großer Gewalt (Luftdruck) fortgeschleudert wird;

¹⁾ Heise-Herbst; Glückauf 1900, Nr. 44, S. 909. — Wolski: Über einige neuere Bohrsysteme.

hierbei wird die in der Sprengstoffmenge vorhandene Energie nicht voll in Zertrümmerungsarbeit umgesetzt. Wird die Vorgabe zu groß, ist

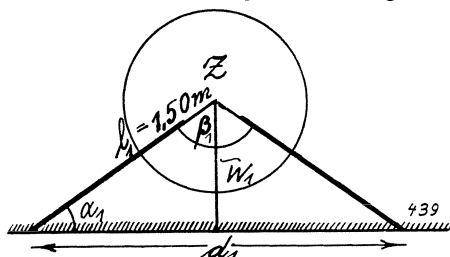


Abb. 33. $\alpha_1 = 35^\circ$, $w_1 = 0,86$ m,
 $\beta_1 = 110^\circ$, $d_1 = 2,44$ m.
 Es ist also $w_1 < 0,7 l_1$. In diesem Falle
 ist die Vorgabe zu gering, demnach die
 Sprengstoffausnutzung schlecht.

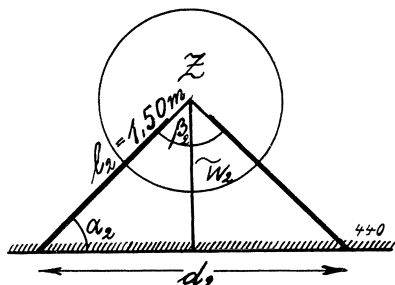


Abb. 34. $\alpha_2 = 45^\circ$, $w_2 = 1,00$ m,
 $\beta_2 = 90^\circ$, $d_2 = 2,00$ m.
 Es ist also $w_2 = 0,7 l_2$; dieses ist der
 theoretisch günstigste Fall, der jedoch
 im Streckenbetrieb mit 4 m Breite
 kaum anwendbar ist, weil es an Platz
 mangelt, die Bohrer so anzusetzen,
 wie es nötig wäre.

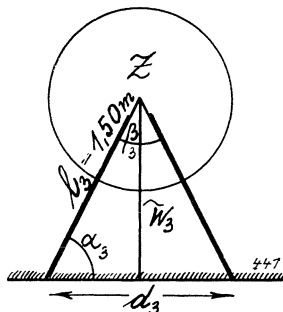


Abb. 35. $\alpha_3 = 55^\circ$, $w_3 = 1,22$ m,
 $\beta_3 = 70^\circ$, $d_3 = 1,72$ m.
 Es ist also $w_3 > 0,8 l_3$. In diesem
 Falle ist die Vorgabe zu groß und
 daher der Sprengerfolg fraglich.

also der Winkel zwischen Mantellinie und Ortsbrust größer als etwa 55° , so kann der Sprengstoff den Einbruch nicht vollständig herausbringen; es bilden sich Lochpfeifen oder Büchsen.

Gibt die Geldersparnis bei der Wahl der Abschußart den Ausschlag, so sollte man stets den Einbruch gesondert von den Kranzschüssen abtun; kann man auf diese Weise dann die Kranzschüsse nach der mehr oder minder guten Wirkung des Einbruches ansetzen und laden, so läßt sich in der Regel an Sprengstoffen nicht unerheblich sparen.

1. Länge der Bohrlöcher.

Die große wirtschaftliche Bedeutung, die Bohrlöcher entsprechend lang herzustellen, liegt darin, daß in längeren Bohrlöchern die erforderliche Sprengstoffmenge so gelagert werden kann, daß sie voll ausgenutzt wird. Bei den Sprengluftpatronen wird gleichzeitig eine bessere Ausnutzung der vorhandenen Energie erreicht. Bei Schüssen, die brisant wirken müssen, soll bekanntlich der Sprengstoff nicht mehr als ein Drittel des Bohrloches in Anspruch nehmen, während der Rest durch den Besatz ausgefüllt wird.

Die Bohrlochlänge richtet sich aber in erster Linie nach der Beschaffenheit des zu sprengenden Materials (Härte, Zähigkeit, Verspannung), der Größe des Streckenquerschnittes, der Anzahl und Leistungsfähigkeit der zur Verfügung stehenden Bohrbehelfe und der Art des anzuwendenden Sprengstoffes. In der Regel kommen daher lange Bohrlöcher (bis 4,5 m) nur in

mittelhartem Gestein (Kali, Minette und Kohle) vor. Begrenzt wird die Bohrlochlänge in erster Linie durch die Leistungsfähigkeit der Bohrmaschinen und bei sehr hartem Gestein durch die Abnutzung der Bohrschneiden. Während der Bohrzeit nützt sich an hartem Gestein die Bohrschneide allmählich ab, so daß kein zylindrisches, sondern ein konisch verlaufendes Bohrloch entsteht. In diesen Fällen sind die Bohrlöcher selten länger als 1,5 m. Sind derartige Bohrlöcher in sehr hartem Gestein herzustellen, so muß bekanntlich der Anfangsdurchmesser des Bohrers schon bedeutend größer sein, als für den Enddurchmesser im Bohrlochtiefsten erforderlich ist. Die Abstufung der einzelnen Bohrschneiden richtet sich also nach der Härte des abzubohrenden Gesteins oder nach dem Verschleiß des Bohrstahts. Scharfe Absätze sollen hierbei vermieden werden, um ein ungehindertes Einführen der Sprengluftpatronen zu gewährleisten.

2. Durchmesser der Bohrlöcher.

Aber nicht nur die richtige Länge des Bohrlochs ist wichtig für den erstrebten Sprengzweck; ebenso wichtig ist ein genügender Durchmesser. Bei zu geringem Durchmesser wird die Ladung zu sehr gestreckt, da in solchen Fällen die Ladung mehr als ein Drittel der ganzen Bohrlochlänge einnimmt, die Sprengkraft also nicht voll ausgenutzt werden kann, was Ausbläser oder Büchsen zur Folge hat und zu gleichem Fortschritt mehr Sprengstoff und Bohrarbeit erfordert.

Da bei Einbruchlöchern in der Regel die doppelte Arbeitsleistung erforderlich ist gegenüber den Schüssen im Kranz (also bei freier Vorgabe), so empfiehlt es sich (besonders bei hohen Sprengstoffpreisen) sogar, die Schüsse im Einbruch mit möglichst großem Durchmesser anzusetzen.

Dort, wo mit großem Bohrlochdurchmesser gearbeitet wird, ist bekanntlich der Sprengstoffverbrauch je Kubikmeter Gestein und die Bohrlochlänge für den laufenden Meter Vortrieb am geringsten¹⁾. Dieser Grundsatz hat bei den bekanntesten Tunnelbauten des In- und Auslandes seine Bestätigung gefunden. Auch in Deutschland sind in verschiedenen Bergbaubetrieben ähnliche Feststellungen gemacht worden²⁾.

Die heutige Bohrtechnik [Demag³⁾, Flottmann²⁾, Ingersoll⁴⁾] hat sowohl bezüglich des Bohrrapparates als auch bezüglich des Bohrstahts wesentliche Fortschritte gemacht, so daß die Möglichkeit besteht, in größerem Ausmaße als bisher üblich, den Vorteil größerer Bohrlochdurchmesser auszunutzen.

II. Laden.

Abgesehen von diesen Voraussetzungen, die für alle Sprengstoffe gelten, sind beim Sprengen mit flüssigem Sauerstoff noch zwei Punkte besonders zu beachten, nämlich das Laden und das Besetzen.

¹⁾ The Explosives Engineer, Wilmington Del. Mai 1923.

²⁾ Bohrrhammer: August 1922, S. 101.

³⁾ Preßluft für Steinbruch und Tiefbau, Demag-Taschenbuch 1920.

⁴⁾ Siehe Veröffentlichungen im Compressed Air Magazine. New York, London, Paris.

Um ein leichtes Laden der Bohrlöcher zu erzielen, muß das Bohrloch:

1. möglichst glatt und vom Bohrmehl gut gereinigt sein, und
2. einen um mindestens 2 mm größeren Durchmesser haben als die Patrone.

1. Reinigen des Bohrloches.

Das gute Reinigen des Bohrloches ist eine wesentliche Vorbedingung für den glatten Verlauf der Ladung. Im Bohrloch zurückgebliebener Bohrstaub wird von den abziehenden Gasen, wenn nicht vorschriftsmäßig geladen, d. h. zunächst nur eine Patrone eingeführt wird, sehr leicht zwischen Patrone und Bohrlochwandung getrieben, so daß hier, besonders wenn das Bohrmehl feucht ist, ein hermetischer Gasabschluß erfolgt, da das Bohrmehl zwischen Patronenhülle und Bohrlochwandung festfriert.

In Betrieben, wo Preßluft zur Verfügung steht, ist das Ausblasen der Bohrlöcher in einfacher Weise dadurch zu bewerkstelligen, daß man ein an die Preßluftleitung angeschlossenes Rohr bis auf die Sohle des Bohrloches führt; hierbei wird sowohl der feine Bohrstaub als auch gröberes Material restlos aus dem Bohrloch getrieben.

Beim Sprengen in der Kohle empfiehlt es sich, den Kohlenstaub, der im Bohrloch verblieben ist, unschädlich zu machen. Dies geschieht in sehr einfacher Weise dadurch, daß man zuerst einen feuchten Lehmpropfen von der Bohrlochmündung aus durch die gesamte Länge des Bohrloches schiebt. Hierbei wird der etwa im Bohrloch befindliche Kohlenstaub bis ins Tiefste des Bohrloches gebracht, wo er durch den Lehmpropfen ans Bohrlochende gedrückt und von der Sprengladung getrennt wird.

2. Durchmesser der Patronen.

Wird die zweite Vorbedingung (Durchmesser) nicht erfüllt, so kann sich, besonders wenn das Bohrloch im Tiefsten stark keilförmig zusammenläuft, eine Kammer bilden, in der sich ebenso wie beim mit Bohrstaub gefüllten Bohrloch durch den verdampfenden Sauerstoff ein Gasdruck entwickelt, der die Patronen aus dem Bohrloch herauswirft; das Gas muß also neben den Patronen entweichen können. Man muß daher bei wechselnder Breite der Bohrschneiden, also besonders in hartem Gestein, vor dem Einbringen der Patronen sich mit einem Ladestock oder mit einem Bohrer, der einen um 2 mm größeren Durchmesser als die Patrone hat, die ins Bohrlochtiefe gelangen soll, überzeugen, ob das Tiefste des Bohrloches einen genügenden Durchmesser hat.

Soll die Sprengluftpatrone keine brisante, sondern nur eine pulverähnliche — schiebende — Wirkung auslösen, d. h. nur die Kohäsionskräfte des hereinzugewinnenden Materials überwinden, ohne das Material besonders zu zertrümmern, so genügt in der Regel ein geringerer Durchmesser der Patronen, sofern ihre Wirkung auf eine größere Bohrlochlänge verteilt werden kann; dies geschieht in einfacher Weise da-

durch, daß man möglichst lange Bohrlöcher niederbringt, aber zur Erzielung dieser weicheren Wirkung den gegebenen Laderaum nicht mit Sprengstoff ausfüllt, sondern einen Expansionsraum (Hohlraum) schafft. Diesen Hohlraum kann man beispielsweise zweckmäßig dadurch herstellen, daß man über die normale Differenz zwischen Bohrloch und Patronendurchmesser von 2 mm hinausgeht; beispielsweise werden im Kalibergbau in 42er Bohrlöchern Patronen von 38 mm Durchmesser verwendet. Bei dieser Art des Hohlraumschießens erzielt man gleichzeitig den Vorteil einer flotten Lademöglichkeit. Stehen keine genügend großen Bohrlöcher zur Verfügung, so verwendet man zweckmäßiger, um die Lebensdauer der Patrone nicht unnötig herabzusetzen, Hohlraumpatronen aus kurzen, 200 mm langen Pappröhrchen. Von diesen bringt man zwischen 2 Patronen eine oder mehrere oder verteilt die Pappröhrchen (Abb. 30 b. u. c) auf die ganze Lademenge zwischen je 2 Patronen (Abb. 36). Auf diese Weise wird die Ladedichte künstlich herab-



Abb. 36.

gemindert und gleichzeitig die Wirkung des Sprengstoffes auf eine größere Bohrlöchlänge verteilt; hierdurch wird mit geringerem Sprengstoffaufwand die ganze Vorgabe bis zur Bohrlöchlöffnung hereingebracht und verhindert, daß an der Bohrlöchlöffnung ein Rest (Brille) stehenbleibt.

Die Brisanz (B) ist nach der erwähnten Kastschen Formel

$$B = f \cdot V \cdot d$$

proportional der Ladedichte (d), die durch die Hohlraumbildung wesentlich verkleinert wird; die Wirkung (Brisanz) wird also wesentlich herabgesetzt, d. h. man erhält einen sehr weichen Schuß.

Was nun die besondere Art des Ladens beim Sprengluftverfahren betrifft, so empfiehlt es sich, beim Laden mehrerer Bohrlöcher zunächst sämtliche Bohrlöcher mit je einer oder zwei Patronen zu beschicken, deren abziehende kalte Sauerstoffdämpfe die Bohrlöchlwandung entsprechend vorkühlen. Die nachfolgenden Patronen gelangen auf diese Weise in bereits vorgekühlte Bohrlöcher; hierdurch wird der Verdampfungsverlust der nachfolgenden Patronen herabgemindert und daher die Lebensdauer der gesamten Ladung entsprechend erhöht.

Hierbei sollen, wie oben gesagt, die kürzesten Bohrlöcher (besonders Einbruchlöcher) zuletzt geladen werden. Das vielfach beobachtete Überhasten beim Laden ist gänzlich unnötig, unter Umständen sogar schädlich; Einzelschüsse (4—5) sind in der Regel schon nach 5—6 Minuten sprengfertig, ein Zeitpunkt, wo also noch ein sehr großer Sauerstoffüberschuß vorhanden ist. Für Massenzündungen und überall dort, wo mehrere Patronen in einem Bohrlöchl sich befinden, oder bei größerem

Durchmesser der Patronen, genügen Zeiten bis zum Abtun der Schüsse von etwa 10—15 Minuten nach Entnahme der ersten Patrone aus dem Tränkgefäß, die bei entsprechender Arbeitsteilung zwischen Laden, Einführen der Schlagpatrone und des Besatzes leicht einzuhalten sind.

III. Besetzen.

Jedes Bohrloch muß bekanntlich, wenn die Zündung vom Bohrlochmunde aus erfolgt, ganz gleichgültig, ob es mit Dynamit, Ammonsalpeter oder Pulver geladen ist, besetzt werden. Die Meinung, daß man z. B. Dynamitschüsse nicht zu besetzen brauche, ist irrig.

Beim Sprengluftverfahren kann insofern eine Einschränkung gemacht werden, als man im Kalibergbau bei Schüssen, die vom Bohrlochtiefsten aus gezündet werden, auch ohne Besatz auskommt, da hier der Sprengstoff selbst und die neben oder auf ihm liegende Luftschicht in gewisser Beziehung einen Besatz darstellt.

Den längsten und besten Besatz benötigen selbstverständlich die Patronen mit der geringsten Detonationsgeschwindigkeit. Pulver, bei dem die Detonationswelle nur 400 m in der Sekunde durchläuft, benötigt daher einen besseren Besatz als Dynamit mit 6000 m/sec. Da sämtliche Sprengluftpatronen eine Detonationsgeschwindigkeit von etwa 3000 bis 5000 m/sec haben, gilt sinngemäß bezüglich der Länge des Besatzes dieselbe Grundbedingung. Je höher die Detonationsgeschwindigkeit, desto kürzer kann der Besatz sein.

Es muß aber hervorgehoben werden, daß beim Sprengluftverfahren grundsätzlich nur durchlässiger Besatz verwendet werden soll, da sich bei gasdichtem Abschluß des Bohrloches zwischen Besatz und Patrone leicht ein Gasdruck bildet, der den Besatz aus dem Bohrloch schieben kann.

Beim Sprengluftverfahren spielt aber auch die Art der Verdämmung noch eine besondere Rolle, und zwar 1. wegen des verdampfenden Sauerstoffes und 2. wegen der Abschußzeit.

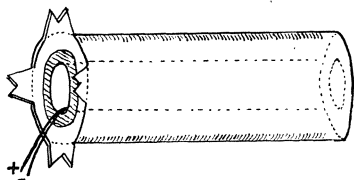


Abb. 37. Holzrolle mit Sperrfeder.

Zunächst soll der Besatz erst auf die Ladung gebracht werden, nachdem alle Bohrlöcher mit Patronen beschickt sind. Dies hat den Zweck, den beim Laden infolge des Wärmeaustausches plötzlich auftretenden Gasdruck sich entspannen zu lassen. Bei sofortigem Besetzen kann sonst leicht der Besatz — wenn er das Bohrloch gasdicht abschließt — von den Gasen herausgedrückt werden.

Es empfiehlt sich daher, in festem, nicht durchlässigem Gestein den sich entwickelnden Sauerstoffdämpfen einen solch dauernden Abfluß zu ermöglichen, daß ein Gasdruck, der den Besatz zurückschieben kann, nicht entsteht. Dies ist besonders wichtig, wenn es sich, wie beim Einbruchschießen, zur Erzielung einer hochbrisanten Wirkung, darum handelt, den Besatz möglichst fest aufzubringen. Ob man in solchen Fällen und beim Schießen in der Kohle nach Kowastsch (D. R. P. 244036; siehe a. Diederichs: Stahl u. Eisen 1915, Nr. 46) ein Papprohr als

Entlüftungsrrohr anwendet oder bei plastischem Besatz mittels einer Räumnadel im Besatz selbst einen Entgasungskanal herstellt, oder einen entsprechenden grobkörnigen und daher durchlässigen Besatz



Abb. 38. Bohrloch mit Holzkeilverschluß.

(am besten grobes, trockenes Material) oder, was sehr empfehlenswert ist, eine Holzrolle mit Messingsperrfeder (Abb. 37) benutzt, müssen die örtlichen Verhältnisse entscheiden. Als Entlüftungsrrohr kann man auch ein aus Messingblech hergestelltes Rohr von etwa 5—10 mm Durchmesser verwenden, das beim Herausziehen einen Kanal bildet, der die Gase während des Besetzens entweichen läßt.

Bisweilen schiebt man auch auf die Ladung zunächst eine Hohlrumpatrone (Papprohr) und dann erst den Besatz. In dem durch das Papprohr gebildeten Hohlraum können die Sauerstoffgase sich dann genügend entspannen, ohne den Besatz zurückzuschieben.

Auf einigen Bergwerken, besonders Kalibergwerken, hat sich bei langen Bohrlöchern, insbesondere beim Zünden vom Bohrlochtiefsten, der Holzkeilverschluß bewährt (Abb. 38). Der Holzkeil paßt sich im mittleren Durchmesser dem des Bohrloches an und hat seitliche Nuten, durch welche man die Zündschnur oder die Zünderdrähte nach außen führt und den Gasüberdruck entweichen lassen kann. Der Holzkeilverschluß begünstigt ferner die Wirkung der Sprengladung auf die gesamte Bohrlochlänge, da die Sauerstoffgase den Raum zwischen Patronen und Keilverschluß ausfüllen und im Augenblick der Explosion an der Umsetzung der Patronen teilnehmen. Außerdem verhindert der Holzkeil ein Herausreißen der Zünder (elektrisch oder Zündschnur) durch die Detonation eines danebenliegenden Schusses.

Bei senkrecht nach abwärts geführten Bohrlöchern, die in Steinbrüchen oft angewandt werden, bedient man sich zweckmäßig einfacher Besatzkannen, aus denen man das Besatzmaterial (am besten abgeseibten, nicht zu feinen, sondern möglichst groben und trockenen Sand) in die vorher mit Patronen besetzten Bohrlöcher eingießt. Als Besatzkannen genügen hierbei einfache Blechkannen mit Ausgießtülle (Abb. 39). Natürlich genügt es auch, wenn man auf die Ladung Papierpatronen mit Besatzfüllung bringt.

Zum Einführen der Patrone und des Besatzes (nicht feststampfen) verwendet man die bekannten hölzernen (nicht eisernen) Ladestöcke.

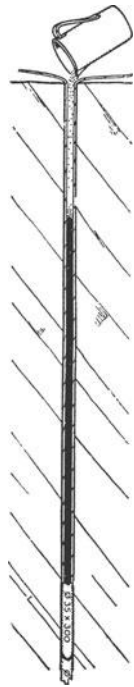


Abb. 39.

E. Zündung der Sprengluftpatronen¹⁾.

I. Anordnung des Zündmittels im Bohrloch.

Bekanntlich ist es bei festen Sprengstoffen, besonders bei solchen, die nur schwer zur Detonation zu bringen sind, nicht gleichgültig, ob eine Sprengladung vom Bohrlochmunde aus initiiert wird oder vom Bohrlochtiefsten, weil die Richtung der Detonationswelle, die vom Initiierungsmittel zum Ende der Patrone fortschreitet, maßgebend für die Wirkung ist. Bei einer Kugel wird die von der Mitte der Kugel ausgehende Initiierung sich gleichmäßig schnell bis in die letzten Teile des

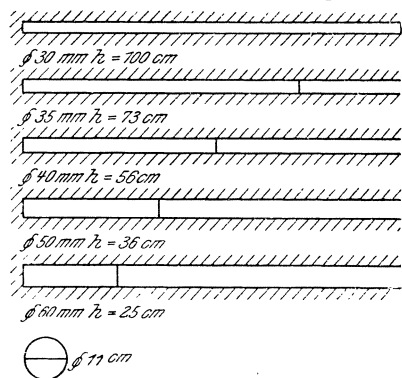


Abb. 40.

Ladelänge und Bohrlochdurchmesser.

Bei den Sprengluftpatronen haben diese Vorgänge nicht den Einfluß wie bei den bekanntesten handfertigen Sprengstoffen, wie z. B. bei Ammonsalpeter, weil die Geschwindigkeit, mit der die explosiven Vorgänge ausgelöst werden, von der Größenordnung der brisantesten Sprengstoffe, nämlich 4000—6000 m/sec ist gegen 2900 m/sec beim Ammonsalpeter; bei diesen hohen Detonations-Geschwindigkeiten spielt aber die Länge der Ladung nur eine untergeordnete Rolle.

Es bleibt nur noch zu erörtern, welcher Unterschied in der Wirkung besteht, wenn man die Zündung vom Bohrlochtiefsten aus bewirkt,



Abb. 41. Elektrische Zündung vom Bohrlochmunde.

Zündung deswegen wirkungsvoller, weil sowohl die allgemeine Erfahrung der Sprengtechnik wie auch experimentelle Untersuchungen kaum einen Zweifel darüber lassen, daß Druckzunahme auf die Geschwindigkeit der Auslösung explosiver Vorgänge beschleunigend wirkt. Ferner ist nach Kast²⁾ die Stauchwirkung, also der Maximaldruck, wesent-

gegenüber der Zündung vom Bohrlochmunde aus. Vom Bohrlochmunde aus (Abb. 41) ist die

¹⁾ D. R. P. Nr. 282 780, 303 523, 322 532, 339 870, 348 137, 350 479, 357 812, 362 350, 370 833, 372 558, 372 559, 378 353, 379 940, 380 012, 380 122, 383 748, 385 027, 385 210.

²⁾ Kast: Anleitung zur chemischen und physikalischen Untersuchung der Spreng- und Zündstoffe. Braunschweig 1909. Sonderabdruck aus Posts „Chemisch-technischer Analyse“. Braunschweig 1909. Bd. II.

lich intensiver, wenn die Sprengkapsel vom Bohrlochmunde aus den Sprengstoff initiiert, als wenn sie vom Bohrlochtiefsten aus wirken muß. Bei einer besonderen Versuchsanordnung (Abb. 42 a—b) ist (von Kast) die Stauchung zu 2,83 mm vom Bohrlochmunde aus gegen 1,71 mm vom Bohrlochtiefsten aus gemessen worden.

Die vom Bohrlochmunde aus eingeleitete Initiierung bewirkt eine Kompression der Sprenggase in Richtung auf das Bohrlochtiefste hin, und da im Bohrlochtiefsten die größte Arbeit geleistet werden muß, so erzielt man auf diese Weise eine stärkere Wirkung, die beispielsweise bei Einbruchschüssen aus-

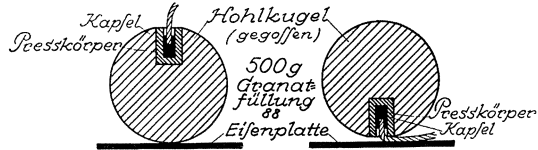
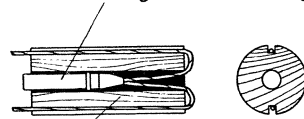


Abb. 42 a. Abb. 42 b.
Versuchsanordnung zur Ermittlung der Stauchwirkung.

Bei Massenzündung hat dagegen die Zündung vom Bohrlochtiefsten aus gewisse Vorzüge, die jedoch wesentlich auf zündtechnischem Gebiete liegen, da man die gesamte Zündanlage fertigstellen kann, ehe überhaupt Sprengstoff in das Bohrloch kommt¹⁾; der Zünder wird hierbei in einer Holzrolle verankert (Abb. 43—44) und vorher in das Bohrlochtiefste gebracht (D. R. P.). Außerdem verhindert die Verlagerung des Zünders im Bohrlochtiefsten das Herausreißen derselben durch einen daneben liegenden, aber vorher detonierenden Schuß. Wenn es also nicht auf eine sehr hochbrisante Wirkung ankommt,

dürfte der zündtechnische Vorteil des vorherigen Einbringens des Zünders ins Bohrlochtiefste dieser Zündmethode bei Massenzündung den Vorrang geben.

Resorcinatzünder in Holzrolle



Holzrolle mit Rillen zum Einlegen der Zünderdrähte

Abb. 43.

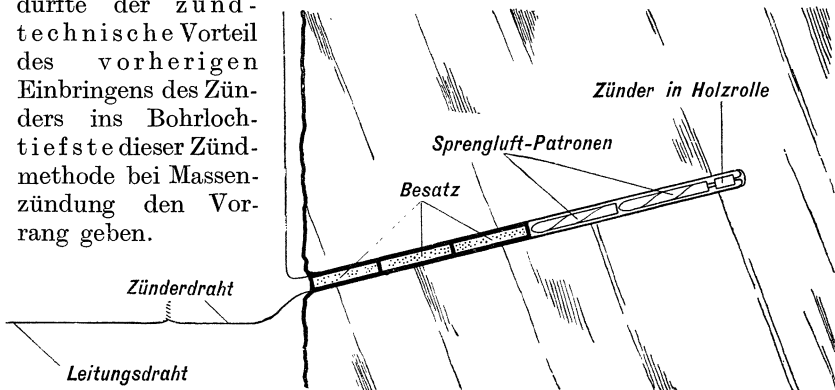


Abb. 44. Lage der Holzrolle mit Zünder beim Schießen vom Bohrlochtiefsten.

¹⁾ Versuche und Verbesserungen. Z. Berg-, Hütten-, Sal.-Wes. 1915, S. 2. — Heberle: Erfahrungen mit dem Sprengstoff „Flüssiger Sauerstoff“ im Kalibergbau. Kali 1916, Nr. 8, S. 113. — Gropp u. Hundt: Das Schießen mit flüssiger Luft im Kalibergbau. Kali 1919, Nr. 6, S. 89 u. f.

Muß aber eine hochbrisante Wirkung (z. B. im Einbruch) erzielt werden, so wird man vom Bohrlochmunde aus zünden, ganz abgesehen davon, daß durch die Anordnung der Holzrolle im Bohrlochtiefsten ein schädlicher Hohlraum geschaffen wird.

II. Anordnung des Zündmittels in der Patrone.

Die Sprengluftpatrone ist nach Entnahme aus dem Tränkgefäß ein fester Körper (fest gefroren), so daß es nicht wie bei handfertigen Sprengstoffen möglich ist, eine entsprechende Öffnung in die Patrone zu bringen, um die Sprengkapsel oder die Zündschnur einzuführen. Man muß also vor dem Tränken einen entsprechenden Kanal in der Sprengluftpatrone herstellen; dies erreicht man am einfachsten mittels eines Rührchens aus Pappe oder Metall. Hierzu schiebt man ein Rührchen von etwa 10 mm

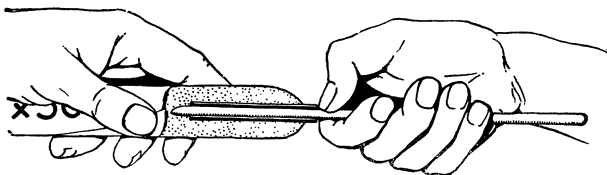


Abb. 45.

Innendurchmesser über einen bleistiftähnlichen, kurz angeschärften Holzdorn und stößt diesen gleichzeitig mit dem Rührchen in die Patrone (Abb. 45) hinein. Wenn man dann mit der einen Hand den Holzdorn herauszieht und mit der anderen das Pappröhrchen festhält, so bleibt

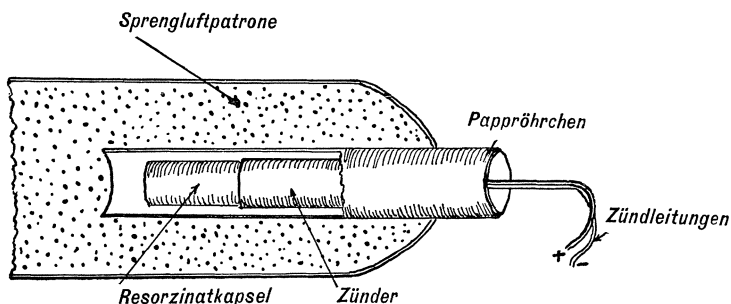


Abb. 46.

das Rührchen in der Patrone sitzen und man erhält eine genügend tiefe und dennoch gleichmäßige Öffnung zur Einführung des Zündmittels.

Bei der elektrischen Zündung wird der elektrische Moment- oder Luftzeitzünder einfach in dieses Pappröhrchen (Abb. 46) der Schlagpatrone kurz vor der Einführung der Schlagpatrone in das Bohrloch hineingesteckt; bei Zündschnurzündung mit Sprengkapseln verfährt man ebenso, während man bei Zündung ohne Sprengkapsel die doppelt gelegte Zündschnur an der Knickstelle mit einem Kerb versehen in

das Pappröhrchen (Abb. 47) hineinführt, welches zu diesem Zwecke einen etwas größeren Durchmesser erhält.

Die Verwendung eines derartigen Pappröhrchens hat besonders bei den kohlenstaubsicheren Sprengluftpatronen Oxyliquit K den großen Vorteil, daß der Zündstrahl unbedingt mitten in den gut getränkten Teil der Patrone gelangt. Es wird hierdurch auch verhindert, daß die Patronen beim Einbringen des Zündmittels verletzt werden und beim Einführen der Patronen ein Teil des Inhaltes auf der Bohrlochsohle verstreut wird.

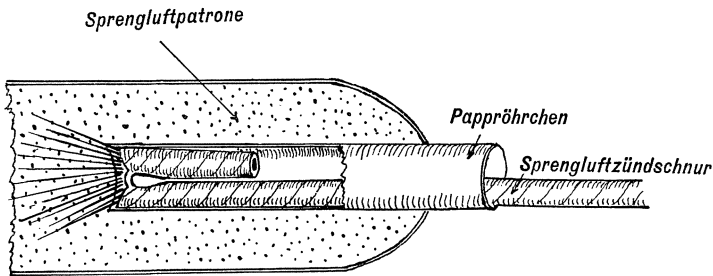


Abb. 47.

Das Pappröhrchen bringt folgende Vorteile:

1. Vermeidung fehlerhafter Anbringung des Zünders außerhalb der Patrone;
2. Vermeidung des Vorflammens (Herauswerfen des Besatzes) mit erst nachfolgender Detonation;
3. Vermeidung von Spätzündungen, wenn durch den schlecht gelagerten Zünder nicht die Patrone, sondern die schlecht entzündliche Patronenhülle oder das Besatzpapier zunächst entflammt wird;
4. richtige Führung der Stichflamme des Fulminatzünders oder der Zündschnur in den Kern der Patrone;
5. leichtes Tränken, besonders bei fein durchlöcherten Pappröhrchen, da atmosphärische Luft schneller entweichen kann;
6. gute Zündung selbst schlecht (d. h. nicht ganz) getränkter Patronen.

III. Sprengkapseln.

Man gebraucht zur Detonation eines Sprengstoffes in der Regel einen Detonator (Sprengkapsel) und einen Zünder (Zündschnur oder elektrischen Zünder), welcher, sobald außerhalb des Bohrlochs die Zündschnur in Brand gesetzt oder von gesichertem Schutzort aus der elektrische Zünder unter Strom gesetzt wird, im gegebenen Augenblick die Sprengkapsel initiiert.

Die Resorzinatkapsel (D. R. P.) in Aluminiumhülle ist die für das Sprengluftverfahren beste Kapsel; sie hat eine besondere, für flüssige Luft geeignete Füllung, die gegen tiefe Temperaturen und Feuchtigkeit unempfindlich ist.

Die bisher verwendeten Knallquecksilberkapseln in Kupferhülsen leiden an dem Übelstand einer außerordentlichen Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeit. Schon ein Gehalt von wenigen Zehntel Prozent reicht hin, um die Wirkung vollends auszuschalten oder wenigstens so weit abzuschwächen, daß eine vollkräftige Zündung der Sprengluftpatrone nicht mehr herbeigeführt wird.

Die Resorzinatkapsel kann im Gegensatz hierzu praktisch als feuchtigkeitsunempfindlich bezeichnet werden, da selbst ein hoher Wassergehalt die Wirkung kaum beeinträchtigt.

Ihre Lagerbeständigkeit bei Feuchtlagerung beträgt nach vorgenommenen amtlichen Versuchen etwa 36 Monate, während die bisher gebräuchlichen Knallquecksilberkapseln bei Feuchtlagerung eine Lebensdauer von nur einem Monat haben. Die Initiierung ist bei den Resorzinatkapseln daher stets eine gleichmäßige und außerdem besser als die



Abb. 48 a.
Aluminiumhülse.
Resorzinat.

Feuchtlagerung
15 Monate.



Abb. 48 b.
Kupferhülse.
Knallquecksilber.

Feuchtlagerung
1 Monat.



Abb. 48 c.
Kupferhülse.
Tetryl + Knall-
quecksilber.

Feuchtlagerung
1 Monat.



Abb. 48 d.
Kupferhülse.
Nitrokörper
+ Knallqueck-
silber.

Feuchtlagerung
1 Monat.

einer normalen Kupferkapsel mit Knallquecksilber- und Trinitrotoluolfüllung. Diese beiden Eigenschaften machen die Resorzinatkapsel nach dem heutigen Stande der Technik zur besten Sprengkapsel für das Sprengluftverfahren. Sie kann natürlich auch für feste Sprengstoffe mit demselben Erfolge verwendet werden. Lagerbeständigkeit und Wirkung der Resorzinatkapsel gegenüber den bisher verwendeten Knallquecksilberkapseln erläutern die Abb. 48a—d.

Zahlentafel 26.

Größe	3	6	8
Länge mm	26	35	45
Durchmesser mm	6,25	6,75	6,90

Diese Resorzinatkapseln werden bei einem Durchmesser von 6—7 mm in den Größen Nr. 3, 6 und 8 geliefert (vgl. Zahlentafel 26); in der Regel genügt die Kapsel Nr. 3 oder 6. Der zur Einführung der Zündschnur erforderliche Raum ist auf mindestens 15 mm Länge bemessen. Diese Sprengkapseln sind naturgemäß hinsichtlich des Transportes und der Lagerung den sonst für feste Sprengstoffe maßgebenden einschränkenden Vorschriften unterworfen.

Die Zündung der Sprengkapsel geschieht entweder mit Zündschnur oder auf elektrischem Wege.

IV. Zündschnurzündung.

Gut gearbeitete Zündschnüre müssen nach Stettbacher¹⁾ folgende Kennzeichen haben:

1. Gute Zündschnüre müssen hart und fest gesponnen sein und dürfen beim Biegen nicht brechen.

2. Beim Drehen an den beiden Enden eines etwa 5 cm langen Stückes soll sich die Schnur in der Spinnung nicht lockern (bei einfachen entgegengesetzt der äußeren Umspinnung, bei doppelter Zündschnur mit der äußeren Umspinnung!).

3. Die Pulverfüllung soll im Querschnitt möglichst rund, nicht sternförmig sein.

4. Die Querschnitte der Schnur sollen gleich starke Pulverfüllung aufweisen.

5. Nur solche Zündschnüre, die vorstehende Bedingungen erfüllen, haben gleichmäßige, ruhige Brenndauer bei kräftiger, schußartiger Zündung und lassen das Feuer nicht seitwärts durchsprühen.

6. Die Zündkraft eines glatt im Querschnitt abgeschnittenen Stückes soll mindestens 5 cm betragen, also auf 5 cm Entfernung vom Zündungsende ein Häufchen (1—2 g) Pulver entzünden.

7. Bei einer zwischen Schraubstockbacken befindlichen, flachgepreßten Zündschnur darf das Feuer in der Schnur nach dem Anzünden nicht erlöschen²⁾.

Die Zündschnurzündung ist bei Sprengluftpatronen nur einwandfrei, wenn die vorgeschriebene Sprengluftzündschnur verwendet und ein druckloser Abfluß der Sauerstoffgase gewährleistet ist.

Unbrauchbar sind Zündschnüre, die zum Schutze gegen Feuchtigkeit z. B. Teer-, Guttapercha- oder ähnliche Imprägnierungen enthalten, da durch die hohe Temperatur der brennenden Pulverseele ein Teil dieser Imprägnation vergast und mit dem abfließenden Sauerstoff ein leicht entzündliches Gasgemisch geben kann. Will dann der Zufall, daß sich im Bohrloch Patronenreste befinden, welche durch gewaltsames Zerstoßen der Patronen beim Laden schlecht gereinigter Bohrlöcher entstanden sind, so kann die ausblasende Stichflamme der Zündschnur, durch den Sauerstoff der Patrone verstärkt, die vorn im Bohrloch zurückbleibenden Patronenreste in Brand setzen. Hierauf sind Vorzündungen bei Zündschnurzündung in schlecht oder gar nicht besetzten Bohrlöchern zurückzuführen. Ein Verletzen der Patronen kann durch das Pappröhrchen verhindert werden.

Wenn durch Vorzündung auf diese Weise des öfteren Kranzschüsse vor den Einbruchschüssen zur Entzündung kommen und daher ausblasen, so ist dies nach dem oben Gesagten erklärlich. Zündschnüre, die gegen die tiefe Unterkühlung (-185°) empfindlich sind, brennen

¹⁾ Escales, Richard und Alfred Stettbacher: Initialexplosivstoffe. Leipzig: Verlag von Veit & Co.

²⁾ Bei allzueft gewickelten Zündschnüren kann der Rückfluß der Gase behindert und die Brenngeschwindigkeit stark gesteigert werden. (Winkhaus: Gefahren der Sicherheitszündung. Glückauf 1896, Nr. 21, S. 409 u. f.)

nicht weiter sobald das Leitfeuer bis an den getränkten Teil der Zündschnur gelangt ist. Derartige Schüsse versagen daher.

Die für das Sprengluftverfahren vorgeschriebene Zündschnur gibt keine brennbaren Gase ab, löscht die entstehenden Funken durch die filterartig wirkende Umspinnung und läßt nur die vollständig verbrannten Pulvergase, und zwar drucklos, entweichen. Die Sprengluftzündschnur enthält drei Umspinnungen mit dünnen Fäden, die abwechselnd links und rechts gewickelt sind; jede Schicht hat eine leimartige Imprägnierung, die mit fortschreitendem Abbrennen der Zündschnur durch die Temperatur der brennenden Pulverseele aufgeweicht wird. Die Pulvergase können daher mit gelindem Druck entweichen, so daß die Brenndauer stets sehr gleichmäßig ist.

Für das Anzünden der Zündschnur sollte man Anzünder verwenden, um zu verhindern, daß die aussprühende Pulverseele mit dem aus dem Bohrloche strömenden Sauerstoff in Berührung kommt und dadurch eine Temperaturerhöhung erfährt, die leicht zur Entzündung der Zündschnurumspinnung führt.

1. Schüsse mit weicher Wirkung.

Ebenso wie das Pulver kann man auch die Sprengluftpatronen Oxyliquit *P* (mit pulverähnlicher Wirkung) ohne Sprengkapsel zur Detonation bringen. Zu diesem Zwecke biegt man die letzten 5 cm der Zündschnur um, schneidet sie an der Knickstelle in der Längsrichtung oder quer ein und führt diese doppelt gelegte Zündschnur in die mit einem Papprohr versehene Schlagpatrone (vgl. Abb. 49).

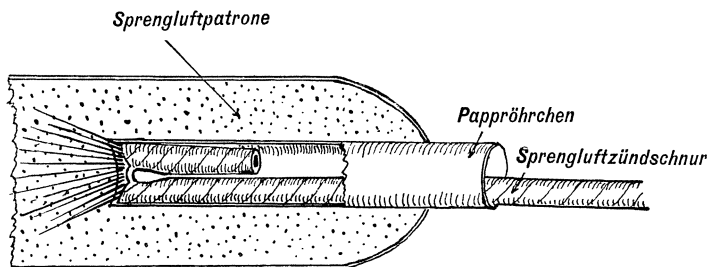


Abb. 49.

Man berücksichtigt hierbei die bekannte Tatsache, daß die Zündschnur nur dann eine gute Stichflamme gibt, wenn sie aus einem Pulvervorrat brennt, wie z. B. beim Anstecken, während sie am Ende nur mit einem sehr schwachen Feuerstrahl auspuffen würde. Auf die oben beschriebene Art werden also die letzten 5 cm Zündschnur an der Knickstelle von neuem angesteckt, so daß die in der Patrone liegende Schleife einen starken, im Sauerstoffstrom bis 40 cm weit reichenden Zündstrahl erzeugt. Der Zündstrahl nimmt, genährt durch den reinen Sauerstoff, der durch das Pappröhrchen aus der Patrone strömt, augenblicklich eine gesteigerte Temperatur an, so daß eine sichere Detonation der Sprengluftpatrone auch ohne Verwendung einer Sprengkapsel erzielt wird.

2. Schüsse mit brisanter Wirkung.

Bei Schüssen mit dynamit- oder ammonsalpeterähnlicher Wirkung (Oxyliquit A , A_s , D , D_s und bei den Sicherheitspatronen K_s) muß man unbedingt eine Sprengkapsel Nr. 3 oder 6 verwenden, die man ebenfalls unter Benutzung eines Pappröhrchens in den Kopf der Patrone steckt, sobald man diese aus dem Tauchgefäß entnommen hat.

Bei den Resorzinatkapseln ist, wie oben erwähnt, das Abkühlen der Kapsel im flüssigen Sauerstoff unbedenklich, da ihre Wirkung unter dem Einfluß der tiefen Temperatur nicht leidet. Immerhin ist ein gutes Abdichten zum Schutze der Zündschnur oder des elektrischen Zünders, besonders in nassen Bohrlöchern, zweckmäßig.

V. Elektrische Zündung.

Von allen Verfahren zur Zündung von Sprengschüssen bietet die elektrische Zündung ohne Zweifel die sicherste Methode, da bei dem elektrischen Zünder alle Erfordernisse der Zündtechnik erfüllt sind, nämlich gleichmäßige Qualität, gute Lagerfähigkeit, leichte Prüfungsmöglichkeit in der Fabrik und kurz vor der Verwendung, ferner beste Moment- und genau bemessene Zeitzündung, Zündung vom gesicherten Schußort und Vermeidung lästiger Rauchschwaden aus den Verbrennungsprodukten der Zündschnur. Besonders bei Einbrüchen oder ähnlichen Verhältnissen kann man mittels der elektrischen Zündung eine beliebig große Anzahl von Schüssen im gleichen Augenblick zur Detonation bringen, was oft eine bessere Gesamtwirkung erzielen läßt.

Der elektrische Zünder (Abb. 50, Zünder mit Metallhülse) besteht in seinen Hauptteilen aus der Zündpille, die in einer besonders gegen die Einwirkungen des flüssigen Sauerstoffes geschützten Art hergestellt ist, dem Glühdraht, der Hülse (Pappe oder Messing) zur Aufnahme der Initiierungsmittel (Fulminatfüllung oder Resorzinatkapsel) und den Zünderdrähten, die je nach der Bohrlochlänge auf 1—2 m Länge und darüber hinaus zu bemessen sind. Der Zünder ist durch eine Schwefelzementgußmasse in die Hülse eingegossen, so daß die Zündpille während der Weiterverarbeitung und auf dem Transport gegen Beschädigungen geschützt ist.

Die Zünder haben bei einem Widerstand des einzelnen Zünders von 0,3—1,2 Ohm einen Stromverbrauch von etwa 0,5—0,8 Ampere. Die Spannung der Zündmaschine soll für jeden Zünder mit etwa 1,5—2 Volt berechnet werden.

1. Einzelzündung.

a) Fulminatzünder.

In gleicher Weise, wie mittels der Zündschnur pulverähnliche Schüsse bei Verwendung von Sprengluftpatronen „Oxyliquit P“ ohne Sprengkapsel und mit der Zündschnur (vgl. S. 56) abgetan werden können, kann auch der Fulminatzünder die Sprengluftpatronen „Oxyliquit K_o , P , P_b “



Abb. 50.
Metall-
zünder.

ohne Sprengkapsel zur Detonation bringen. Er trägt lediglich zur Verstärkung der Zündkraft der Zündpille in der Hülse eine Aufladung, die gegen die flüssige Luft unempfindlich ist (Abb. 51); die so erzeugte Stichflamme gibt im Sauerstoffstrom eine außerordentlich hohe Temperatur.



Abb. 51.
Fulminanz-
zündler.



Abb. 52.
Resor-
zinat-
zündler.

b) Resorzinatzünder und Metallzünder mit Resorzinatkapsel.

Für Sprengungen mit Sprengluftpatronen „Oxyliquit A oder D“ werden Resorzinatzünder verwendet (Abb. 52), an denen die Resorzinatkapsel Nr. 3 oder 6 mit dem elektrischen Zünder so dicht vergossen ist, daß ein Eindringen von flüssigem Sauerstoff oder Wasser in den Raum zwischen Zündsatz und elektrischer Zündpille ausgeschlossen ist. Diese Zünder haben nur die Unbequemlichkeit, daß die an den Zündern befindlichen Sprengkapseln beim Transport gegen Stoß oder Schlag geschützt werden müssen.

Will man die Kapsel — was insbesondere beim Export von Wichtigkeit ist — getrennt vom Zünder transportieren, so verwendet man an Stelle der Resorzinatzünder den Metallzünder. Es handelt sich hier (Abb. 50) um einen Zünder mit fester Pille in einer Messinghülse, in welche die Resorzinatkapsel erst kurz vor dem Gebrauch eingesetzt wird. Der Metallzünder hat dem Resorzinatzünder gegenüber den Vorteil, daß der elektrische Teil selbst vollständig ungefährlich ist bis zu dem Augenblick, wo die Kapsel aufgesetzt wird, was in der Regel erst vor Ort, also kurz vor dem Abtun der Schüsse, notwendig wird.

2. Massenzündung.

Die Zündung von Sprengluftpatronen spielt bei der Massenzündung deshalb eine besondere Rolle, weil in den Fällen, wo der Zünder mit der Patrone getränkt wird, die Zündempfindlichkeit des Zünders ganz erheblich abnimmt und daher höhere Stromstärke verlangt, um auf dieselbe Temperatur zu kommen wie bei $+20^{\circ}$. Durch die Verwendung des Pappröhrchens wird zwar eine gute Isolation gegen die -180° kalte Patrone erzielt, immerhin ist eine gewisse Abkühlung bei Massenzündung in Rechnung zu stellen.

α) Momentzündung.

Sollen mehrere Bohrlöcher (z. B. beim Einbruch) gleichzeitig zur Detonation gebracht werden, so verwendet man mit Vorteil die Resorzinatzünder (Zünder mit anmontierter Resorzinatkapsel) oder den Metallzünder mit kurz vor Ort eingeführter Resorzinatkapsel. Die Handhabung ist wie folgt: Zunächst wird in jedes Bohrloch ein Zünder hineingelegt und die Zünderdrähte vor dem Bohrloch untereinander entsprechend verbunden. Sodann werden

beim Laden eines jeden Schusses die Sprengluftpatronen aus dem Tränkgefäß entnommen und nacheinander, Bohrloch für Bohrloch, der Momentzünder an dem Draht aus dem Bohrloch gezogen und zuletzt in die mit einem Pappröhrchen versehene Schlagpatrone eingesteckt und so mit dieser wieder in das Bohrloch auf die Ladung geschoben.

Die Art der Verlagerung des Zünders, ob an das Ende oder den Anfang der Ladung, muß nach den Gesichtspunkten bestimmt werden, die im I. Teil dieses Abschnittes (S. 50) eingehend erörtert wurden.

β) Zeitzündung.

Die Zeitzündung wird dadurch erreicht, daß man zwischen die Sprengkapsel und den elektrischen Zünder einen Verzögerungssatz schaltet, der bisher aus Zündschnur bestand. Da die Zündschnur bekanntlich an sich schon ein unsicheres und bisher nur wenig vervollkommnetes Glied in der modernen Zündtechnik darstellt, so ist sie erst recht für die elektrische Zeitzündung nicht besonders geeignet, da die elektrische Zeitzündung eine gleichmäßige Brenndauer auch sehr kurzer Zündschnurstücke verlangt. Man hat daher die Zündschnur neuerdings durch einen besonderen Verzögerungssatz ersetzt. Um die Zeitfolge kenntlich zu machen, trägt jeder Draht ein Plättchen mit laufender Nummer entsprechend der Zeitfolge.

a) Luftzeitzünder (*E*) ohne Zündschnur.

Dieser für das Sprengluftverfahren besonders geeignete Luftzeitzünder (Abb. 54) erhält statt der Zündschnur, wie oben gesagt, einen Verzögerungssatz [D. R. P.]. Dieser Verzögerungssatz beansprucht z. B. für 10 Verzögerungen nur etwa 2 cm Länge, für 15 Zeitintervalle entsprechend mehr, so daß diese Zeitzünder außerordentlich kurz gebaut werden können. Ihre einzelnen Längen sind aus der Zahlentafel 27 ersichtlich, in der die Einzellängen des neuen zündschnurlosen Zeitzünders (*E*) und des bisherigen mit Zündschnur (*Z*) angegeben sind.

Zahlentafel 27.

Zeitzünder ohne Zündschnur Luftzeitzünder (<i>E</i>)			Zeitzünder mit Zündschnur Luftzeitzünder (<i>Z</i>)		
Nr.	Zeitfolge sec	Länge mm	Länge mm	Zeitfolge sec	Nr.
1	0	51	50	0	1
2	1	54	70	1	2
3	2	57	90	2	3
4	3	60	110	3	4
5	4	63	130	4	5
6	5	66	150	5	6
7	6	69	170	6	7
8	7	72	190	7	8
9	8	75	210	8	9
10	9	78	230	9	10

Die mit dem Verzögerungssatz versehenen Sprengkapseln werden kurz vor dem Gebrauch in den Zünder eingesetzt und sind entsprechend der Länge ihrer Verzögerungszeit mit Nummern versehen. Diese neuen Zeitzünder detonieren pünktlich in Abständen von 0,5 oder 1,0 Sekunden. Sie stellen einen ganz bedeutenden und lange erstrebten Fortschritt in der Technik der elektrischen Zeitzündung dar. Eine Verlagerung des Zünders in mitten der Patronen ist unzulässig, da der aus der Entgasungsöffnung austretende Feuerstrahl in solchen Fällen die nächstliegende Patrone sofort zünden würde (Momentzündung). Zweckmäßig zum Verhindern einer derartigen unerwünschten Wirkung ist die Verwendung einer Holzrolle (ähnlich wie in Abb. 56).

Die Handhabung ist die gleiche, wie unter a) Momentzündung beschrieben. Der elektrische Luftzeitzünder (E) wird zunächst unter Verwendung eines schützenden Pappröhrchens oder einer Holzrolle ins Bohrloch tiefste gebracht oder in gleicher Weise in die Bohrlochmündung gelegt. Bei Zündung vom Bohrloch tiefsten werden die Patronen nach Entnahme aus dem Tränkgefäß ohne weiteres in das Bohrloch gebracht; bei Zündung vom Bohrlochmunde werden die in einer Holzrolle oder einem Pappröhrchen verlagerten Zünder kurz vor dem Laden eines jeden Bohrloches aus diesem herausgenommen und nach Einbringen der Sprengluftpatronen mit der Schlagpatrone auf die Ladung gebracht.

Die Kupplung der Zünder erfolgt in beiden Fällen vor der Entnahme der Patronen aus dem Tränkgefäß, so daß alle Verluste vermieden werden, die durch ungewollte Pausen bis zum Abtun der Schüsse entstehen könnten, wenn die Kupplung erst nach der Einführung des Zünders erfolgen würde. Die Verlagerung des Zünders in das Bohrloch tiefste oder in den Bohrlochmund richtet sich nach dem im Abschnitt I dieses Teiles Gesagten.

b) Luftzeitzünder (Z) mit Züandschnur.

Bei den Luftzeitzündern mit Züandschnur muß man die im Bohrloch tiefsten liegende Patrone vor einer zu frühen Zündung durch die Züandschnur

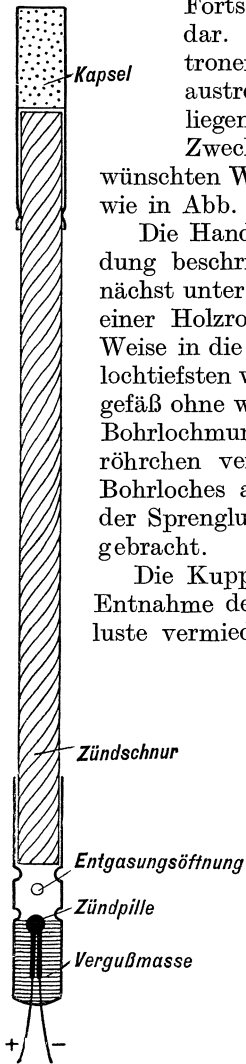


Abb. 53. Luftzeitzünder (Z) Zeitzünder mit Sprengluftzündschnur und Resorzinatkapsel.

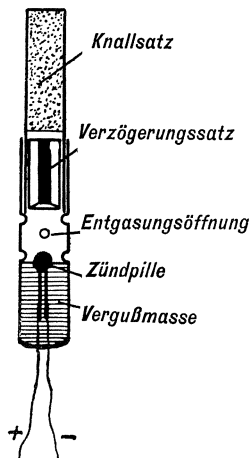


Abb. 54. Züandschnurloser Zeitzünder (E)

schützen; hierzu erhält die Zündschnur für ihre ganze Länge eine schützende Papphülse von etwa 8 mm lichter Weite (Abb. 55). Wird eine Holzrolle benutzt, so muß die Holzrolle eine solche — am besten exzentrische — Bohrung von etwa 9 mm \varnothing (Abb. 56) erhalten, in die die Papphülse fest eingesteckt werden kann.

Wie bei jeder Massenzündung mit Zeitzündern ist zu beachten, daß bei den Zeitzündern mit Zündschnur nie gleichzeitig Moment- und Luftzeitzünder vom Bohrlochmunde aus gezündet werden dürfen, da sonst sehr leicht Versager oder Lochpfeifer entstehen können. Durch die zuerst fallenden Momentschüsse würde nämlich infolge der hohen Umsatzgeschwindigkeit der Sprengkapsel die kaum zur Entflammung gebrachte, noch „fest“ in der Metallhülse sitzende Zündschnur an den Drähten leicht vorn aus ihren Bohrlöchern herausgerissen werden. Erst wenn die Zündschnur aus den Messinghülsen herausgebrannt ist, also 3—4 Sekunden nach Stromgabe, d. h. nach Entzündung der Zündpille, darf der erste Schuß fallen. Auch für die zuerst fallenden Schüsse müssen deshalb immer kurze, 2—3 cm lange Zeitzünder benutzt werden; die einzelnen Verzögerungen

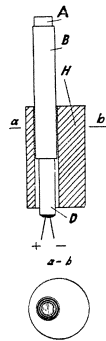
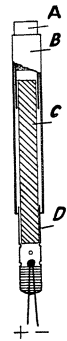


Abb. 55.
Zeitzünder (Z) in Papphülse.
A Sprengkapsel. B Pappschutzhülse.
C Zündschnur.
D elektrischer Zünder.

Abb. 56.
Anbringung des Zeitzünders (Z) mit Pappschutzhülse in einer Holzrolle.
A Sprengkapsel. B Pappschutzhülse.
D elektrischer Zünder.
H Holzrolle.

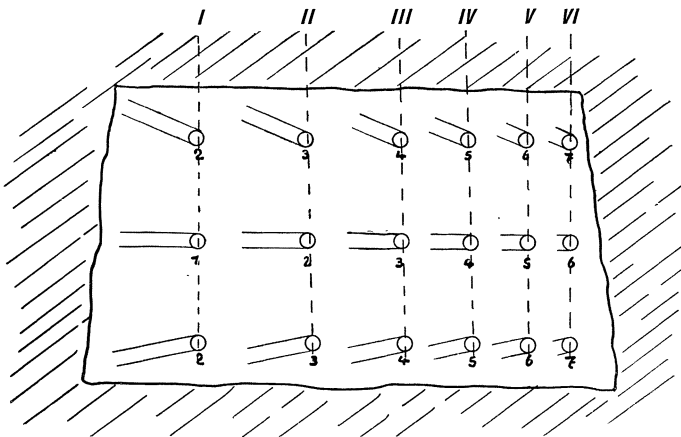


Abb. 57. Abbohrung eines Ortes mit schleppendem Stoß.

sollen durch Zündschnurabschnitte von mindestens $1\frac{1}{2}$ cm herbeigeführt werden (Zahlentafel 27). Die Luftzeitzünder [Z] (Abb. 53) werden in der Regel mit 10—15 cm Zündschnurlänge geliefert. Beim Schießen vom Bohrloch tiefsten, d. h. wenn wenigstens die Zeitzünder im Bohr-

lochtiefsten verlagert sind, verhindert die vor den Zündern liegende Patronenladung das Herausziehen des Zeitzünders durch das von den Drähten überspannte Gestein, wenn dieses von vorher detonierenden Schüssen losgesprengt wird. In diesem Falle reißen bei der Detonation die dünnen, in der Regel nur 0,6 mm starken Drähte, ohne die Zündung zu beeinflussen.

Bei sehr großen Massenzündungen, bei denen man nicht so viele Zeiten verwenden will, kann man mehrere Bohrlöcher, deren gleichzeitige Detonation nicht stört, zusammenfassen. Beispielsweise kann man bei einem Abschlag von 18 Bohrlöchern zu 6 Gängen (Abb. 57) die 7 Verzögerungszeiten verteilen; die arabischen Ziffern in der Abb. 57 geben hierbei die Verzögerungsstufen an.

VI. Schaltung.

a) Hintereinanderschaltung.

Am häufigsten wird die Serien- oder Hintereinanderschaltung, auch Kettenschaltung genannt, angewandt (Abb. 58), da der Bergmann bei dieser Schaltungsart die richtige Verbindung leicht durch fortlaufende Prüfung verfolgen kann. Diese Schaltungsweise ist außerdem die einfachste, da alle Zünder in fortlaufender Kette hintereinander geschaltet werden. Fehler können daher selbst bei schlechter Beleuchtung leicht vermieden werden. Sie hat besonders bei der Massenzündung den Vorzug, daß man vor der Zündung die gesamte Leitung mit dem Minenprüfer untersuchen kann. Wenn

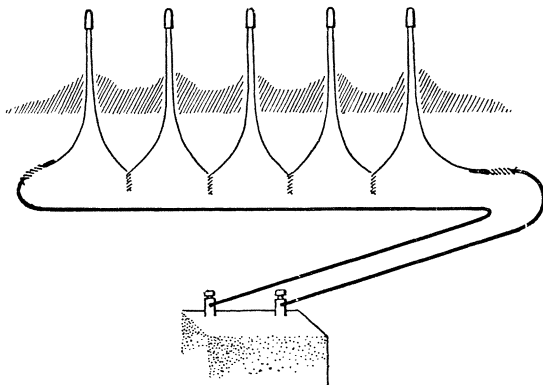


Abb. 58. Kettenschaltung.

man den Widerstand des Zuleitungskabels durch Messung einmal festgestellt hat, so läßt sich leicht der Gesamtwiderstand ermitteln; wenn z. B. 20 Zünder von je 1,5 Ohm zwischen einer Kupfer - Doppelleitung von 1,2 mm Drahtdurchmesser und 200 m Länge¹⁾ (der Widerstand beträgt 3,2 Ohm je 100 m Doppelleitung) liegen, so ergibt sich ein Gesamtwiderstand:

$$\begin{array}{r} \text{Zünderwiderstand von } 20 \times 1,5 \dots\dots\dots = 30 \text{ Ohm} \\ \text{Leitungswiderstand von } 2 \times 3,2 \dots\dots\dots = \underline{6,4 \text{ „}} \\ \hline \text{36,4 Ohm} \end{array}$$

Nach der Formel $J = \frac{E}{W}$ werden bei einer Spannung (E) von etwa 50 Volt und einem Widerstand (W) von 36 Ohm $\frac{50}{36,4} =$ etwa 1,5 Amp. zur Verfügung stehen, was zur Zündung ausreicht.

¹⁾ Vgl. Zahlentafel 28, S. 64.

b) Parallelschaltung.

Bei der Parallelschaltung erhalten sämtliche Zünder in demselben Augenblick den gleichen Stromimpuls. Eine etwaige Verschiedenheit der Widerstände hat daher bei Zündern mit geringer Umsetzungsgeschwindigkeit keinen schädlichen Einfluß auf die Gesamtwirkung, da bei genügend starker Stromquelle, sofern sie eine Zeitlang gleichmäßig fließt (Licht- oder Bohrstrom), auch bei nicht zu sehr verschiedenen Widerständen jeder Zünder detoniert.

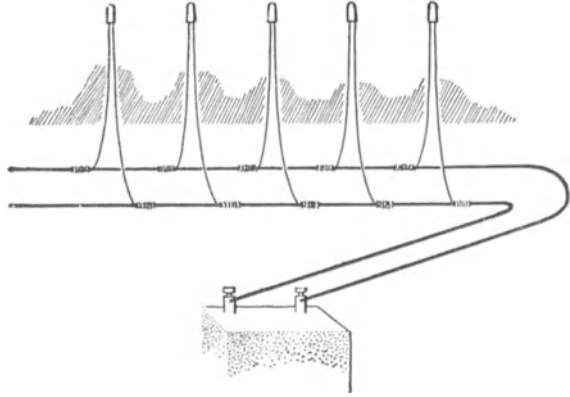


Abb. 59. Parallelschaltung.

Wie Abb. 59 zeigt, geht von jedem der beiden Zuleitungsdrähte je ein Zünderdraht zum Zünder. Der Stromverbrauch wächst daher proportional mit der Anzahl der angeschlossenen Zünder, so daß man derartige Schaltungen nur bei sehr großen Stromquellen oder einer geringeren Anzahl von Schüssen anwenden kann. Auch müssen die örtlichen Verhältnisse dazu geeignet sein.

Starke Stromquellen stehen z. B. im Grubenbetriebe oft bei Licht- oder Bohrkabeln von 100—200 Volt zur Verfügung. Nähere Einzelheiten sollen unter Abschnitt VIII S. 65 „Stromquellen“ erörtert werden.

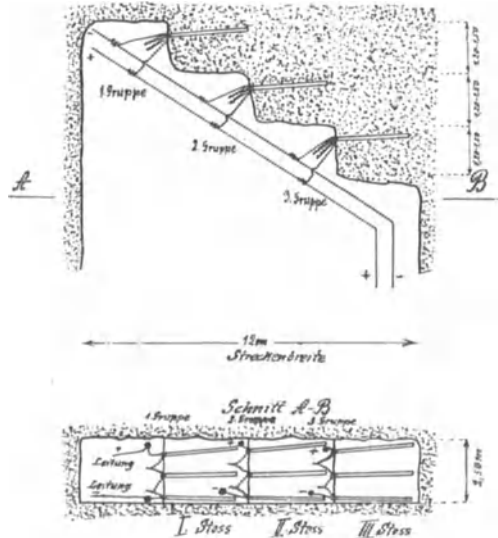


Abb. 60. Gruppenschaltung.

c) Gruppenschaltung.

Da, wie oben erwähnt, bei der Parallelschaltung sehr große Stromstärken erforderlich sind, wird des öfteren auch eine Kombination zwischen Hintereinander- und Parallelschaltung, die Gruppenschaltung, verwendet (Abb. 60). Besonders im Kalibergbau, wo bei abgesetzten Stößen in 12—20 m breiten Strecken gleichzeitig 12—21 Schüsse abgetan werden und die Gruppenschaltung leicht

anzuwenden ist, hat sich diese Schaltungsweise gut bewährt. Sie beschränkt die Nachteile eines etwaigen Versagers auf eine einzelne Gruppe und erhöht dadurch die Züandsicherheit.

Im nachstehenden soll der Stromverbrauch der verschiedenen Schaltungsarten vergleichsweise aufgeführt werden.

Es würde beispielsweise der Stromverbrauch, wenn man je Zünder 0,5 Ampere in Rechnung stellt und 21 Zünder angeschlossen sind, betragen:

a) Hintereinanderschaltung:

21 Zünder je 0,5 Ampere = Stromverbrauch etwa 0,5 Ampere bei entsprechender Spannung.

b) Parallelschaltung:

21 Zünder je 0,5 Ampere = Stromverbrauch etwa 10,5 Ampere.

c) Gruppenschaltung:

7 Gruppenzünder, in 3 Serien geschaltet, $\frac{21}{3} = 7$ Gruppen je 0,5 Amp. = 3,5 Amp.

VII. Leitung.

Man hat zu unterscheiden: Zünderdrähte, an denen der eigentliche Zünder oder Zünderkopf befestigt ist, die also mit *in* das Bohrloch eingeführt werden, und Zuleitungsdrähte, die den Strom von der Zündmaschine bis an das Ende der *aus* dem Bohrloch herausragenden Zünderdrähte führen. Beide Arten von Leitungen können aus Eisen- oder Kupferdrähten bestehen. Die Zünderdrähte müssen immer gut isoliert sein, weil sie im Bohrloch sowohl der Feuchtigkeit als auch der mechanischen Beanspruchung während des Ladens ausgesetzt sind.

Es empfiehlt sich bei Verwendung von Kupferkabeln, diese in der Nähe des Sprengortes durch eine Rohrleitung zu ziehen, um sie vor Sprengstücken zu schützen, oder, bei eisernen Leitungsdrähten, diesen wegen des geringeren elektrischen Leistungsvermögens einen entsprechend größeren Durchmesser zu geben.

Im allgemeinen werden für große Schußserien zwei Einzelleitungen aus isoliertem Kupferdraht von 1,2 mm Kupferdurchmesser verwendet.

Um für die Praxis einen Überblick über die in den Leitungen auftretenden Widerstände zu gewinnen, sind in der Zahlentafel 28 die Widerstände der gebräuchlichen Kupfer- und Eisendrähte verschiedener Stärke für Hin- und Rückleitung von je 100 m Länge, also für 100 m Entfernung vom Schußorte, angeführt.

Zahlentafel 28.
Leitungswiderstände je 100 m Länge.

Drahtstärke	Kupfer	Eisen
1,2 mm Durchmesser	3,2 Ohm	21 Ohm
1,5 „ „	2,0 „	13 „
2,0 „ „	1,2 „	8 „

Man kann hiernach auch bei Eisendrähten zu brauchbaren Leitungswiderständen gelangen, wenn man genügend dicke Drähte oder aus mehreren dünnen Drähten geflochtene Drahtlitzen verwendet. Diese haben gegenüber einem einzelnen Draht den Vorteil größerer Biegsamkeit. Dicke Drähte und Drahtlitzen haben neben dem Vorzug der besseren Leitungsfähigkeit noch den der größeren Dauerhaftigkeit.



Abb. 61.
Leitungsdraht mit blanker Rückleitung.

Zwillingskabel, bei denen Hin- und Rückleitung in einem Kabel vereinigt sind, sollten in Betrieben, wo Verletzungen durch Sprengstücke immer möglich sind, besser vermieden werden. Verletzte Zwillingskabel geben leicht zu Kurzschlüssen Veranlassung, und das Auffinden der Fehlerstelle ist infolge der verdeckenden Isolation erschwert und zeitraubend. Will man trotzdem Zwillingskabel verwenden, dann ist es bei geringerer Schußzahl einfacher und richtiger, sie derart herzustellen (Abb. 61), daß man um einen gut isolierten und umflochtenen Draht einen blanken Draht als Rückleitung wickelt, da bei solchen Kabeln etwaige Fehler leichter gefunden werden können. Auch bei einzeln verlegten Leitungen besteht vielfach nur die Zuleitung aus isoliertem Draht, während blanker Draht die Rückleitung bildet.

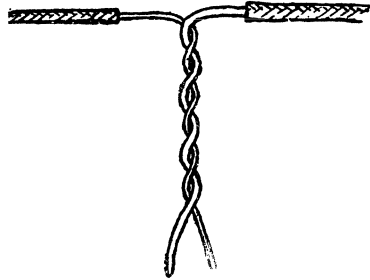


Abb. 62. Richtige Drahtverbindung.

Die Verbindung der Leitungsenden untereinander und der Leitungen mit der Zündmaschine und den Zünderdrähten muß um so sorgfältiger geschehen, je dünner die Drähte und je geringer die Spannung der Stromquelle ist. Tragen die Drähte eine Oxydationsschicht, so sind sie vorher durch Schaben o. dgl. davon zu befreien. Die Drähte sind miteinander stets fest zu verdrehen, also nicht ineinander zu haken.

Die Abb. 62 zeigt die richtige, Abb. 63 die falsche Verbindung.



Abb. 63. Fehlerhafte Drahtverbindung.

Die Leitungen sind ferner nicht auf die Streckensohle zu legen, da einerseits hier wegen der Feuchtigkeit, Schienen, Eisenplatten o. dgl. die Kurzschlußgefahr am größten ist, andererseits bei dieser Lage am leichtesten Verletzungen durch fortgeschleudertes Gestein hervorgerufen werden können. Am besten werden die Leitungen in der Nähe der Firste untergebracht.

VIII. Stromquellen.

Als Stromquelle verwendet man am besten dynamoelektrische Zündmaschinen (Abb. 64—65), bei denen im Augenblick der Höchstleistung

durch einen besonderen Kontakt der innere Stromkreis geöffnet und nunmehr der ganze verfügbare Strom auf die Zündleitung geschaltet wird. Derartige Zündmaschinen können je nach der Anzahl und Schaltung der gleichzeitig zu entzündenden Zünder 3—30 Zünder zur Detonation bringen.

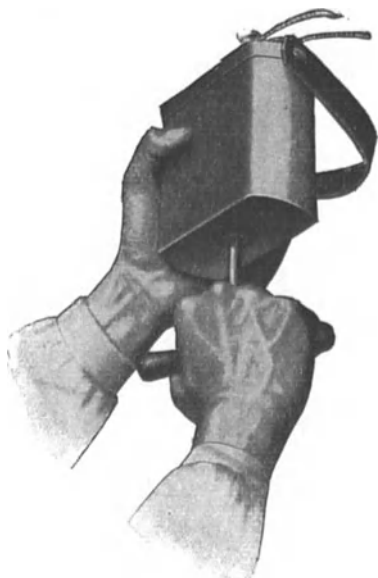


Abb. 64. Zündmaschine Duplex mit Endkontakt.

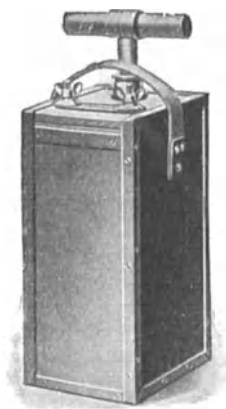


Abb. 65. Zündmaschine Prometheus mit Endkontakt.

Zündmaschinen, die in vorstehend beschriebener Weise den Zündstrom erst in dem Augenblick in die Zündleitung geben, wo das Höchstmaß erreicht ist, geben deshalb vor anderen Systemen eine sichere Zündung, weil der in die Zündleitung gegebene Strom außer der Verstärkung durch den Extrastrom eine gewisse konstante Höhe erreicht, die unbedingt erforderlich ist, wenn sämtliche in einer Leitung hintereinandergeschalteten Zünder gleichmäßig erwärmt werden sollen; im anderen Falle erhält man nämlich einen schnell abfallenden Strom, bei dem oft nur die Zünder mit dem höchsten Widerstande so viel Watt erhalten, daß sie zünden können. Diese Verhältnisse sind in den beiden Oszillogrammen Abb. 66 und 67 deutlich zum Ausdruck gekommen; Abb. 66 zeigt die Strom- und Spannungsverhältnisse einer Zündmaschine mit Endkontakt, während Abb. 67 die Strom- und Spannungsverhältnisse von Zündmaschinen ohne Endkontakt wiedergibt.

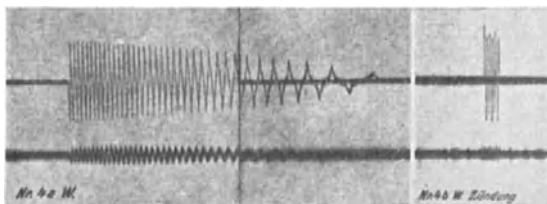


Abb. 66. Oszillogramm der Zündmaschine mit Endkontakt. Oben: Spannungskurve. Unten: Stromstärkekurve.

anderen Falle erhält man nämlich einen schnell abfallenden Strom, bei dem oft nur die Zünder mit dem höchsten Widerstande so viel Watt erhalten, daß sie zünden können. Diese Verhältnisse sind in den beiden Oszillogrammen Abb. 66 und 67 deutlich zum Ausdruck gekommen; Abb. 66 zeigt die Strom- und Spannungsverhältnisse einer Zündmaschine mit Endkontakt, während Abb. 67 die Strom- und Spannungsverhältnisse von Zündmaschinen ohne Endkontakt wiedergibt.

Neben den dynamoelektrischen Zündmaschinen verschiedener Größen, mit denen der Zündstrom erst im Augenblick des Schießens erzeugt wird, und die wegen der verhältnismäßig niedrigen Spannung eine gewisse Aufmerksamkeit bei der Verlegung der Zündleitungen und deren Verbindungen erfordern, ist man neuerdings bei Massenzündung dazu übergegangen, die Sprengschüsse durch den in vielen Gruben vor Ort vorhandenen Starkstrom zu lösen¹⁾. Dieser dient dort in der Regel zum Betrieb von Gesteinsbohrmaschinen, deren Betriebsspannung von 110 Volt oder 220 Volt in einem Transformator (Abb. 68a–c) umgeformt wird und dann genügt, um selbst

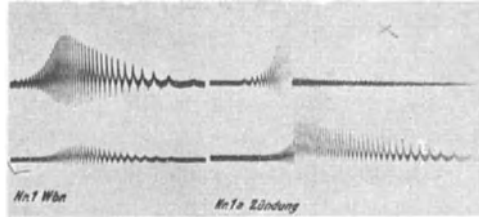


Abb. 67. Oszillogramm der Zündmaschine ohne Endkontakt. Oben: Spannungskurve. Unten: Stromstärkekurve.

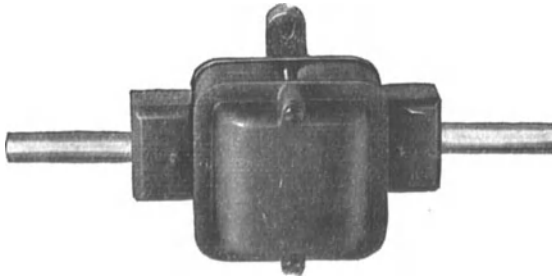


Abb. 68a. Schießtransformator.

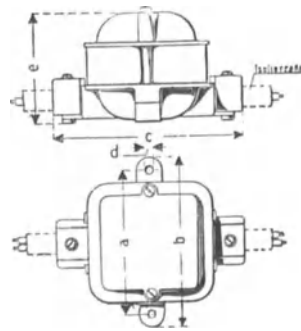


Abb. 68b. Schießtransformator.

auch bei nur einigermaßen sorgfältig verlegten Schießleitungen einen sicheren Abschluß zu erzielen.

Während aber die Zündung mit Zündmaschinen im allgemeinen als ungefährlich bezeichnet werden kann, so muß doch zugegeben werden, daß die Verwendung von Starkstrom durch das unter Umständen mögliche vorzeitige Losgehen der Schüsse Gefahren mit sich bringen kann. Während nämlich bei der Zündmaschine der Strom erst im Augenblick des Gebrauches erzeugt wird, der Apparat also zu jeder anderen Zeit vollkommen ungefährlich ist, ist eine an die Starkstromleitung angeschlossene Schießleitung gewissermaßen dauernd geladen. Durch Zufälligkeiten kann also die Kon-

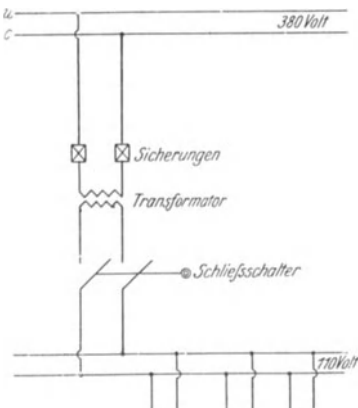


Abb. 68c. Schaltung des Schießtransformators.

¹⁾ Lisse: Die elektrische Zündung beim Schachtabteufen. Glückauf 1912, Nr. 19, S. 748. — Jentsch: Über Versager bei der Schießarbeit in Abteufschächten. Glückauf 1914, Nr. 29, S. 1149.

taktgebung und die unbeabsichtigte Explosion erfolgen. Bei der Zündmaschine genügt daher als Sicherung gegen unbefugte Stromgebung ein einfacher Verschluß der Betätigungsvorrichtung (Schlüssel usw.), während bei dem an Starkstromleitungen angeschlossenen Schießschalter noch mehrere andere Sicherheitsvorrichtungen vorzusehen sind. In § 45, Abschnitt d, der seit dem 1. Juli 1915 in Deutschland gültigen „Vorschriften für die Errichtung und den Betrieb elektrischer Starkstromanlagen nebst Ausführungs-Regeln“, herausgegeben von dem Verband deutscher Elektrotechniker, sind diese wie folgt angegeben:

„Der Anschluß einer Schießleitung an eine Starkstromleitung darf nur mittels eines allpoligen, unter Verschluß befindlichen Schalters erfolgen. Zur Erhöhung der Sicherheit ist stets noch eine zweite, ebenfalls unter Verschluß befindliche Unterbrechungsstelle zwischen Schalter und Schießleitung anzuordnen; entweder der Schalter oder die



Abb. 69 a.
Ansicht des Schießschalters.

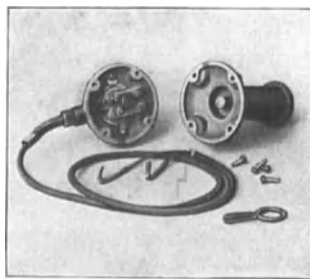


Abb. 69 b.
Geöffneter Schießschalter.

Unterbrechungsstellen müssen so eingerichtet sein, daß ein Verharren im eingeschalteten Zustande ausgeschlossen ist. In der Schießleitung ist eine Vorrichtung anzubringen, die das Vorhandensein von Spannung erkennen läßt. Für die erwähnten Apparate ist die Verwendung von nicht feuchtigkeitssicherem Baustoff, wie Marmor, Schiefer u. dgl., als Isolierstoff unzulässig.“

Eine unbedingte Sicherheit, daß tatsächlich die Schießleitung spannungslos ist, erreicht man daher nur, wenn man eine augenfällige Trennung der Zuleitung von dem Schießschalter¹⁾ vornimmt (Abb. 69 a—b). Als Zuleitung von der Starkstromquelle kann eine Steckvorrichtung dienen, wie sie für den Anschluß von Gesteinsbohrmaschinen verwendet wird. Die Gegenkontakte des Schießschalters müssen aber so beschaffen sein, daß sie nicht in den Stecker gesteckt, also nicht dauernd mit ihm verbunden werden können. Die Kontaktgebung darf nur möglich sein durch Aneinanderhalten des Steckers und des Schießschalters in dem Augenblick des Gebrauchs. Der Schießschalter muß natürlich ferner noch eine Unterbrechungsstelle besitzen, die unter Verschluß befindlich ist, um die Einrichtung mißbräuchlicher Benutzung zu entziehen. Auf

¹⁾ Vgl. auch Janzen: Tragbarer Schießschalter mit wasserdichtem Gehäuse. Kali 1912. S. 104.

diese Weise erhält man die gleiche Sicherheit wie bei der Verwendung einer besonderen Zündmaschine, hat daneben aber die beachtenswerten Vorteile des Schießens mit Starkstrom.

Nach diesen Gesichtspunkten ist der neue Schießschalter *E* (vgl. Abb. 69a—b) konstruiert worden. Er zeichnet sich durch kleinste Abmessungen, geringes Gewicht, große Betriebssicherheit und einfache Handhabung aus (vgl. Abb. 70).

Besteht so die Sicherheit gegen unbefugtes oder ungewolltes Stromgeben aus der Starkstromleitung, so muß andererseits auch verhindert werden, daß durch Erdleitung die Zündleitung früher als gewollt Strom erhält, wodurch ebenfalls Unglücksfälle möglich werden können¹⁾.

Diese Gefahr der sog. „Schleichströme“ kann auf verschiedene Art und Weise gebannt werden. Eine sehr einfache Methode ist die der Kurzschlußklemmen, die sowohl bei blanker Schießleitung als auch bei Schießkabeln ohne besondere Apparate bei einer einmaligen Anschaffung zur Anwendung kommen kann.

Im Prinzip besteht diese Einrichtung darin, daß die Leitung zwischen Schußort und Zündmaschine kurzgeschlossen wird, wobei der Verschuß erst geöffnet wird, wenn sich niemand mehr vor Ort befindet, also erst in dem Augenblick, wo die Zündung erfolgen soll.

IX. Prüfung.

Zur Untersuchung von Stromquellen, einzelnen Zündern, Leitungen, Zündanlagen dienen besonders eingerichtete Apparate.

Um die Zündmaschinen in einfacher und für die Betriebssicherheit völlig ausreichender Weise prüfen zu können, bedient man sich am besten des sog. Stromquellenprüfers (Abb. 71). Dieser besteht aus einem Schaltbrett, auf dem in Nachbildung der Grubenverhältnisse zwei Leitungen von entsprechendem Widerstand angebracht sind, die einen Nebenschluß erhalten, wie er in feuchten Gruben in der Regel auftritt. Ist die zu prüfende Stromquelle imstande, durch den Leitungswiderstand trotz des Nebenschlusses einen Normalzünder (ohne Kapsel) zur Detonation zu bringen, so kann die Stromquelle als gebrauchsfähig angesehen werden.

Zum Prüfen von Zündern gibt es zur Zeit zwei verschiedene Arten von Prüfern, das Galvanoskop (Abb. 72) und das Ohmmeter (Abb. 73).



Abb. 70. Handhabung des Schießschalters mit Winkelstecker.

¹⁾ Köpplin: Gefährdung der Schießarbeit mit elektrischer Zündung durch den elektrischen Grubenlokomotivbetrieb. Glückauf 1912, Nr. 21, S. 821 u. f. — Alvensleben: Die elektrischen Streuströme im Grubenbetriebe usw. Glückauf 1916, Nr. 44, S. 925. — Glückauf 1922, Nr. 8, S. 221. — Z. f. Schieß- u. Sprengstoffwesen 1922, Nr. 4.

Das Galvanoskop wird vielfach auch fälschlich mit Minenprüfer bezeichnet. In Wirklichkeit läßt sich eine Minenanlage, d. h. ein Stromkreis, in dem sich mehrere Zünder befinden, mit dem Galvanoskop nicht ein-

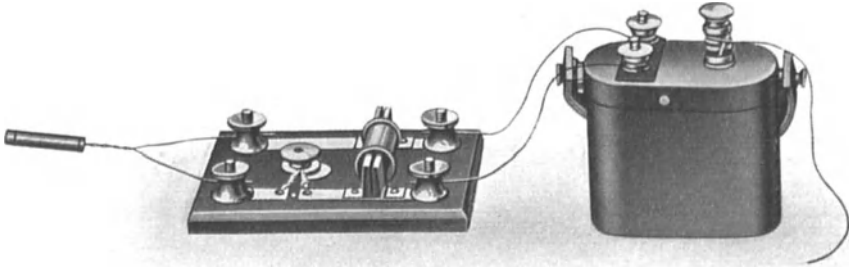


Abb. 71. Stromquellenprüfer.

wandfrei prüfen. Es gibt zwar einen Ausschlag, sobald ein Strom zwischen den beiden Außenklemmen des Apparates fließt, es läßt sich aber nicht feststellen, ob dieser Strom den vorgeschriebenen Weg, also durch Kabel und Zünder, genommen hat oder evtl. auf halbem Wege durch Fehler im Kabel, durch Lutten, eisernen Ausbau o. dgl. bereits kurzgeschlossen ist und daher die Zünder nicht mehr erreicht.

Im Gegenteil, der prüfende Schießmeister wird getäuscht, da der Apparat in beiden Fällen einen Ausschlag gibt, sogar bei Fehlern (Kurzschluß) in der Leitung viel kräftiger als gewöhnlich ausschlägt¹⁾.

Erst nachdem der Schießmeister die Zündmaschine in Tätigkeit gesetzt hat, zeigt ein Versager, daß an irgendeiner Stelle sich ein Fehler befindet. Wie die Unfallstatistik (Schießarbeit) ergibt, bilden aber gerade Versager eine große Gefahrenquelle, so daß, soweit technisch möglich, diese ermittelt und beseitigt werden sollten, ehe Strom in die fertige Zündleitung gegeben wird.



Abb. 72. Galvanoskop.

Aus diesem Grunde sollte das Galvanoskop (Abb. 72) zum Prüfen von größeren Zündanlagen nicht verwendet werden.

Der andere Apparat (Ohmmeter, Abb. 73) hat sich als Minenprüfer im eigentlichen Sinne beim Prüfen von größeren Massenzündungen —

¹⁾ Lisse: Die elektrische Zündung beim Schachtabteufen. Glückauf 1912. Nr. 19. S. 748.

beim Schachtabteufen und Auffahren von Querschlägen — sehr bewährt¹⁾. Dieser Prüfer, ein Widerstandsmesser, besteht aus einem kleinen Trockenelement, das den Strom zum Prüfen liefert und ihn durch einen Vorschaltwiderstand einer in einem konstanten Magnetfelde drehbar verlagerten Drahtspule, die den Zeiger trägt, zuführt. Infolge der Anordnung der stromdurchflossenen Spule in einem starken, konstanten Magnetfelde genügt ein sehr geringer Strom, um einen Ausschlag des Zeigers herbeizuführen.

Neben diesen Vorzügen, die im System des Apparates selbst liegen, bietet das Ohmmeter für das Prüfen von Minenzündanlagen ganz besondere Vorteile. Das Ohmmeter gibt u. a. einen Beweis für die richtige Verbindung und Schaltung der Zünder und für etwaigen Kurzschluß.



Abb. 73.

Die Art des Fehlers wird, bevor die Zündmaschine an das Kabel angeschlossen wird, durch die genaue Messung des Widerstandes festgestellt.

Zum besseren Verständnis für die Handhabung soll ein Beispiel aus der Praxis folgen.

Durch Verbinden der beiden Enden des Kabels (auf der Schachtsohle oder vor Ort) wird in gewissen Zeitabständen (ca. alle Monate) der augenblickliche Widerstand der Zuleitung festgestellt. Beispiel: Der Kabelwiderstand sei bei 200 m Leitung mit 6,4 Ohm angenommen. Der Zünderwiderstand sei 1,5 Ohm (die Angabe des Widerstandes jedes einzelnen Zünders befindet sich in der Regel auf der Packung).

Der Widerstandsmesser muß demnach bei 20 hintereinandergeschalteten Zündern ergeben:

Kabel (200 m je 0,032 Ohm)	6,4 Ohm
20 Zünder je 1,5 Ohm	30,0 „
	36,4 Ohm

Gibt das Ohmmeter nicht diesen Wert an, so liegt ein Fehler vor. Dieser kann sein, wenn der Ausschlag beträgt:

1. mehr als 36,4 Ohm: schlechte Verbindung des Kabels mit den Zündern oder der einzelnen Zünder untereinander;
2. weniger als 36,4 Ohm: entweder falsche Schaltung der Zünder oder Fehlen einiger Zünder in dem Stromkreis;
3. etwa 6,4 Ohm: Kurzschluß in der Leitung, und zwar am Ende des Kabels, da dieses 6,4 Ohm Widerstand hat;
4. etwa 3,2 Ohm: Kurzschluß in der Leitung, und zwar in der Mitte des Kabels bei 100 m Entfernung von der Prüfstelle.

X. Versager.

Die Versager bieten beim Schießen mit flüssiger Luft nicht so viele Gefahrquellen wie bei handfertigen Sprengstoffen, da die Wirkung der Sprengluftpatronen nach Ablauf der Wartezeit rasch abnimmt; trotzdem sind bei ihrer Behandlung gewisse Vorschriften zu beachten.

¹⁾ Heise: Sprengstoffe und Zündung der Sprengschüsse. Berlin 1904. S. 215 ff.

Bei einem Versager soll das Ort, und zwar zunächst nur von dem Ortsältesten, erst nach der vorgeschriebenen Zeit betreten werden.

Es kann dann in der Regel der Besatz, da er beim Sprengluftverfahren nicht fest aufgebracht wird, leicht entfernt werden. Dies wird erleichtert, wenn man Besatzpatronen aus Papier anwendet. Ist der Besatz entfernt, so kann man in der Regel auch die Patronen leicht entfernen.

Wenn es sich um einen erst zu spät erkannten Fehler in der Zündleitung handelt, kann man z. B. die Patrone, da sie ja nicht (wie z. B. Dynamit) fest in das Bohrloch hineingedrückt ist, sondern lose im Bohrloch liegt, an den Zünderdrähten herausziehen.

XI. Ausbläser.

Bei Ausbläsern ist Vorsicht geboten, da derartige Schüsse wie bei Pulver häufig glimmende Reste im Bohrloch zurücklassen. Werden Patronen in derartige Bohrlöcher wieder eingeführt, ohne die vorgeschriebene Zeit abzuwarten, so können diese Patronen zur vorzeitigen Detonation kommen, weil der Sauerstoff der neuen Patrone die glimmenden Reste des ersten Schusses wieder entfacht. In solchen Fällen ist es vorteilhaft, das Bohrloch mit Wasser oder Preßluft auszuspülen oder mit am Krätzer befestigter nasser Putzwolle oder dergleichen zu reinigen.

Unbedingt verboten ist das Neubesetzen eines ausgeblasenen Bohrloches in kürzerer Zeit als 3 Stunden vom Zeitpunkt des Ausblasens an, falls der Ausbläser nicht in vorgeschriebener Weise hat unschädlich gemacht werden können. Ein neues Bohrloch ist soweit entfernt und in solcher Richtung von einem Versager-Bohrloch oder einer Bohrlochpfeife anzusetzen, daß die beiden Bohrlöcher in keinem Fall einander berühren.

F. Die Unfallgefahr bei handfertigen Sprengstoffen und bei Sprengluft.

Die Unfälle, die mit Sprengstoffen vorkommen können, kann man unterteilen in folgende Hauptgruppen:

- I. Unfälle bei der Fabrikation der Sprengstoffe,
- II. Unfälle bei der Lagerung und beim Transport,
- III. Unfälle bei der Verwendung (Schießarbeit).

I. Unfälle bei der Fabrikation.

Über den zahlenmäßigen Umfang der Unfälle der ersten Gruppe gibt Auskunft die Statistik der technischen Aufsichtsbeamten, die in den Jahresberichten über die Verwaltung der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie zu finden ist. Nach dieser Statistik ergibt sich folgendes Bild über die bei der Fabrikation von Sprengstoffen im Gesamtgebiet des Deutschen Reiches in den Jahren 1919—1922 vorgekommenen Unfälle.

Zahlentafel 29.

Jahr	Unter 13 Wochen arbeitsunfähig	Über 13 Wochen und dauernd arbeitsunfähig	Tot
1919	329	380	145
1920	561	292	168
1921	1383	466	302 (Oppau)
1922	311	483	113

Die gleiche Statistik zeigt die bemerkenswerte Tatsache, daß die tödlichen Unglücksfälle durch Sprengstoffe im Vergleich zu den gesamten, überhaupt von dieser Berufsgenossenschaft erfaßten tödlichen Unglücksfällen mit folgendem sehr hohen Anteil beteiligt sind:

1920	43 vH
1921	60 vH
1922	38 vH.

Gleich an dieser Stelle soll bemerkt werden, daß in dieser Gruppe mit Sprengluft keinerlei Unfälle vorkommen, da die Herstellung von flüssigem Sauerstoff und von Sprengluftpatronen nicht gefährlicher ist als jeder andere technische Betrieb, in dem einfache Maschinen verwendet werden.

II. Unfälle bei der Lagerung und beim Transport.

Die Tages- und Fachzeitschriften berichten sehr häufig über derartige mit handfertigen Sprengstoffen vorkommende Unfälle.

Es besteht aber meines Wissens noch keine Sonderstatistik über Unfälle, die durch Lagerung oder Transport von Sprengstoffen entstanden sind. Offenbar ist jedoch die Zahl der Unfälle nicht gering, während auch hier wieder im Gegensatz dazu erwähnt werden muß, daß die Lagerung und der Transport von Sprengluft (also für sich gelagerter flüssiger Sauerstoff einerseits und Sprengluftpatronen andererseits) durchaus ungefährlich ist.

III. Unfälle bei der Verwendung (Schießarbeit).

Über die Gesamtzahl der tödlichen Unfälle im Bergbau innerhalb des Gebietes des Deutschen Reiches während der Jahre 1920 und 1921 gibt Auskunft die Statistik der Knappschafts-Berufs-Genossenschaft. Die Verteilung der tödlichen Unfälle auf die Bergbauarten zeigt folgende Zusammenstellung:

Zahlentafel 30.

	Tödliche Unfälle	
	1920	1921
Steinkohlenbergbau	1720	1732
Braunkohlenbergbau	245	298
Erzbergbau	94	96
Salzbergbau	101	80
Insgesamt	2160	2206

Aus dieser Statistik für das Gesamtgebiet des Deutschen Reiches ist nicht ersichtlich, wieviel der Unfälle im Bergbau auf Schießarbeit entfallen. Über den Anteil der Unfälle bei der Schießarbeit an den Gesamtunfällen im Bergbau gibt jedoch die nachstehende preußische Statistik Aufschluß¹⁾.

Zahlentafel 31.

	Tödliche Unfälle überhaupt		Tödliche Unfälle untertage
	1921	1920	1921
Steinkohlenbergbau	1487	1617	} 1374
Braunkohlenbergbau	179	208	
Erzbergbau	52	92	
Sonstiger Bergbau	58	72	
Insgesamt	1776	1989	1374

Hiervon entfallen 1921 auf Schießarbeit²⁾:

Im Steinkohlenbergbau	54
„ Braunkohlenbergbau	keiner
„ Erzbergbau	7
Für andere Mineralgewinnungen	2

63 = 4,6 vH

der tödlichen Unfälle untertage.

Aus Zahlentafel 31 ist ersichtlich, wie groß der Anteil der tödlichen Unfälle bei der Schießarbeit im Verhältnis zur Gesamtzahl der Unfälle untertage ist. Legt man genau das gleiche Verhältnis (wie es für das Gebiet Preußen ermittelt ist) für die Zahlentafel 30 (für das Reichsgebiet) zugrunde, so ergibt sich die wahrscheinliche Zahl der tödlichen Unfälle im Reichsgebiet, die auf Schießarbeit entfallen, mit:

Zahlentafel 32.

Tödliche Unfälle im deutschen Bergbau durch Schießarbeit	
1920	1921
100	102

Diese Unfallziffern für Schießarbeit umfassen sowohl die Unfälle, die durch handfertige Sprengstoffe als auch durch Sprengluft vorgekommen sind. Leider ist eine getrennte Statistik bisher noch nicht geführt worden. Einen Anhalt für das Verhältnis der Unfälle mit handfertigen Sprengstoffen zu den Unfällen durch Sprengluft gibt jedoch die Zahlentafel aus dem Bericht der Technischen Kommission der Association Minière d'Alsace et de Lorraine, Metz 1922.

Aus der nachstehenden Zahlentafel 33 ist ersichtlich, daß auf 1 Mill. t Förderung nur im Mittel 1,7 Unglücksfälle bei Anwendung des Sprengluftverfahrens entfallen, während in Betrieben, die mit handfertigen Sprengstoffen gearbeitet haben, 6,4 mal soviel Unglücksfälle vorkamen wie beim Schießen mit Sprengluft.

¹⁾ Z. Berg-, Hütten-, Sal.-Wes. Bd. 71, Unfallheft S. 3 u. 4. 1923.

²⁾ Z. Berg-, Hütten-, Sal.-Wes. Bd. 71, Unfallheft S. 32. 1923.

Zahlentafel 33.

	Jahresförderung in t	Förderung m. handfertig. Sprengstoff		Förderung mit Sprengluft		Gesamtunfälle absolut	Unfälle m. handfert. Sprengstoff.		Unfälle mit Sprengluft	
		tatsächlich in t	anteilig vH	tatsächlich in t	anteilig vH		tatsächlich Fälle	anteilig auf 1 Mill. t Förderung	tatsächlich Fälle	anteilig auf 1 Mill. t Förderung
1919	7 137 206	2 311 024	32	4 826 182	68	67	58	25,1	9	1,9
1920	8 061 514	2 616 133	32	5 445 381	68	22	18	6,9	4	0,7
1921	7 817 126	2 502 822	32	5 315 104	68	20	7	2,8	13	2,4
				im Mittel		36	27,4	10,9	8,6	1,7

Die Zahlentafel 33 enthält nur die Gesamtunfallziffern ohne Unterteilung in tödliche, schwere und leichte Fälle. Wollte man die Beziehungen aus Zahlentafel 33 für handfertige Sprengstoffe und Sprengluft anwenden auf Zahlentafel 32, die nur tödliche Unfälle umfaßt, so dürfte man dies streng genommen nur dann tun, wenn bei den beiden genannten Sprengmittelarten anteilsweise die tödlichen, schweren und leichten Fälle in annähernd gleicher Häufigkeit auftreten würden. Schon die Überlegung zeigt die Wahrscheinlichkeit, die von der Erfahrung durchaus bestätigt wird, daß die leichten Fälle anteilsweise bei Sprengluft häufiger sind als die tödlichen und schweren Fälle. Für die Unfälle bei der Schießarbeit gibt es nämlich zwei Hauptgruppen, deren Ursache sind:

- a) Frühzündung,
- b) Spätzündung.

Spätzündungsunfälle werden bei Sprengluftpatronen stets leichter Art sein, da die Arbeitsleistung des Sprengluftschusses von einem Höhepunkt, der etwa bei 10 Minuten nach der Entnahme der getränkten Sprengluftpatrone aus dem Tränkgefäß liegt, abnimmt zu einem Nullwert, der etwa nach 30—45 Minuten erreicht ist. Obwohl also bei Betrachtung der Zahlentafel 33 und ihrer Übertragung auf die Zahlentafel 32 die Sprengluft benachteiligt wird, wenn man für die tödlichen Unfälle bei handfertigen Sprengstoffen und bei Sprengluft das Verhältnis 10,9:1,7 anwendet, und zwar aus den soeben erläuterten Gründen, so soll dennoch, um überhaupt den Vergleich bis zu Ende führen zu können, dies Verhältnis der weiteren Betrachtung zugrunde gelegt werden.

Wollte man annehmen, daß im deutschen Bergbau 50 vH der Gesamtförderung mit Sprengluft hereingewonnen wird und 50 vH mit handfertigen Sprengstoffen (in Wirklichkeit wird heute noch bedeutend weniger mit Sprengluft gewonnen), so würde man aus der letzten Zahlentafel schließen können, daß die Unfälle bei der Schießarbeit mit handfertigen Sprengstoffen und mit Sprengluft sich verhalten würden wie $10,9:1,7 = 6,4:1$. Zahlentafel 32 würde dann folgendes Bild bekommen:

Zahlentafel 34.

Tödliche Unfälle im deutschen Bergbau durch Schießarbeit, angenommen bei gleicher Förderleistung.

1920		1921	
bei handf. Sprengstoff	bei Sprengluft	bei handf. Sprengstoff	bei Sprengluft
87,5	13,5	88	14

Nach diesem statistischen Ergebnis ist also die Unfallgefahr beim Schießen mit Sprengluft wesentlich geringer als die beim Schießen mit handfertigen Sprengstoffen. Noch günstiger wird das Verhältnis, wenn man überprüft, wie im Vergleich zu handfertigen Sprengstoffen die Unfälle mit Sprengluft überhaupt dastehen.

Zahlentafel 35.

	Tödliche Unfälle			
	1920		1921	
	Handfertige Sprengstoffe	Sprengluft	Handfertige Sprengstoffe	Sprengluft
1. Unfälle bei der Fabrikation	168	—	302 (Oppau)	—
2. Unfälle bei der Lagerung .	unbekannt	—	unbekannt	—
3. Unfälle bei dem Transport	unbekannt	—	unbekannt	—
4. Unfälle bei der Schießarbeit	87	13	88	14
Summe tatsächlich	mindestens 255	13	mindestens 400	14
oder anteilig	mindestens 100	5	mindestens 100	3

Da also für Sprengluft die Unfallmöglichkeit für Fabrikation, Lagerung und Transport entfällt und die anteiligen Schießunfälle bei Sprengluft wesentlich geringer sind als bei handfertigen Sprengstoffen, kann die Sprengluft begründeterweise für betriebssicherer als die handfertigen Sprengstoffe angesprochen werden.

G. Wirtschaftlichkeit des Sprengluftverfahrens.

I. Anschaffung, Verzinsung und Tilgung der Anlagekosten einschließlich Transport- und Tränkgefäße.

Für die Anwendung des Sprengluftverfahrens ist, wie oben beschrieben, in erster Linie eine Sprengluftanlage erforderlich nebst dem Gebäude und den Antriebseinrichtungen sowie einem Park von Transport- und Tränkgefäßen zur gebrauchsfertigen Herstellung der Sprengluftpatronen.

1. Sprengluftanlage.

Die Beschaffungskosten für eine Sprengluftanlage, wie sie in Abschnitt A. näher beschrieben ist, lassen sich nur in ungefährender Höhe angeben, da dieselben abhängig sind von den jeweiligen Kosten für Material, Löhne und den allgemeinen Unkosten. Um für die Über-

schlagsrechnung jedoch irgendwelchen Anhalt über die zu berücksichtigenden Preise zu haben, sei nachstehend der Goldmarkwert für eine Normal-30-kg-Anlage angegeben. Es kostet eine 30-kg-Sprengluftanlage in Deutschland etwa 36 000 Goldmark.

Zum Antrieb einer 30-kg-Anlage sind für jedes Kilogramm flüssigen Sauerstoffs etwa 3 kW erforderlich, so daß, reichlich bemessen, für eine 30-kg-Anlage ein Motor von etwa 100 kW Leistung in Frage kommt. Selbstverständlich kann der Antrieb auch von einer anderweitig angetriebenen Transmission erfolgen, was insbesondere bei Betrieb der Sprengluftanlage in der Nacht vorteilhaft sein kann. Der Preis eines Antriebsmotors, einschließlich Schalttafel, Anlasser, Spannschienen, ebenfalls in vorstehender Weise errechnet, soll, reichlich bemessen, mit etwa 5000 Goldmark angenommen werden.

Die Tilgung und Verzinsung des Anlagekapitals für eine Sprengluftanlage einschließlich Elektromotor soll mit 15 vH angenommen werden, einem Satz, der als sehr hoch bezeichnet werden kann. Der Anteil für Tilgung und Verzinsung würde also jährlich ausmachen

$$\frac{36\,000 + 5\,000}{100} \cdot 15 = 6150 \text{ Goldmark.}$$

Die Kosten für Gebäude lassen sich leicht überschlagen und je nach den örtlichen Verhältnissen errechnen aus den im Abschnitt A (Zahlentafel 6, Seite 18) festgelegten Maßen für die umbaute Fläche.

2. Sprengluftgefäße.

Die Erfahrung lehrt, daß es zweckmäßig ist, in den Transportflaschenpark die Reserve zu legen und damit einen beweglichen Speicher zwischen Sprengluftanlage und Verbrauchsstätte zu schaffen. Man soll daher in 15-Liter-Transportgefäßen, was das Fassungsvermögen anbelangt, für zweischichtigen Förderbetrieb die dreifache Menge der in einer achtstündigen Schicht erzeugten Flüssigluftmenge bereithalten. Eine 30-kg-Anlage erzeugt bei achtstündiger täglicher Betriebszeit 240 kg flüssigen Sauerstoff. Die dreifache Menge hiervon wäre 720 kg flüssiger Sauerstoff. Um diese Menge in 15-Liter-Flaschen aufzunehmen, sind erforderlich $720:15 = \text{rd. } 50$ Flaschen zu je 15 Liter Fassungsvermögen.

Auch für den Gefäßpark soll für die Überschlagsrechnung der Beschaffungs-, Tilgungs- und Verzinsungsanteil in Goldmark bemessen werden. Der Goldmarkwert eines 15-Liter-Transportgefäßes ist rd. 120 Goldmark. Rechnet man von diesen Anschaffungskosten (also $50 \text{ Stück} \cdot 120 \text{ Goldmark/Stück} = 6000 \text{ Goldmark}$) für Erneuerung (Tilgung) und Verzinsung mit dem sehr reichlichen Satz von 25 vH, also 1500 Goldmark jährlich, und für Reparaturen 25 vH des Anschaffungswertes, also 1500 Goldmark jährlich, so kommt man auf einen Jahresanteil des Transportgefäßparkes von $(1500 + 1500) = 3000 \text{ Goldmark}$.

Außer den Transportgefäßen braucht man jedoch noch Tränkgefäße und setzt für die Überschlagsrechnung zweckmäßigerweise den Anteil

der Tränkgefäße mit dem Wert von $33\frac{1}{3}$ vH des Anteiles der Transportgefäße ein, also in diesem Falle mit $\frac{3000}{3} = \text{rd. } 1000 \text{ Goldmark.}$

Der Anteil des Gefäßparks in der Wirtschaftlichkeitsberechnung ergibt sich also zu

Transportgefäßparkanteil . . .	etwa 3000 Goldmark
Tränkgefäßparkanteil	„ 1000 „
Gesamtgefäßparkanteil	etwa 4000 Goldmark

II. Erzeugungskosten der für 1 kg Sprengluft benötigten Menge an flüssigem Sauerstoff.

Die Kosten der für 1 kg Sprengluft benötigten Menge an flüssigem Sauerstoff verteilen sich auf Stromkosten, Löhne und Betriebsmittel. Dazu kommen anteilmäßig die oben ermittelten Beträge für Tilgung und Verzinsung.

Von den gesamten Betriebskosten entfällt der größte Anteil auf die Stromkosten; es wird damit die Erzeugung der flüssigen Luft und die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens zu einer Stromfrage.

1. Stromkosten.

Die Stromkosten können beispielsweise auf den einzelnen Werken so verschieden sein, daß auf der einen Anlage, welche Wasserkraft zum Betriebe der Sprengluftanlage in der Nacht ausnützen kann, die Stromkosten 30 vH der Gesamtkosten ausmachen, während bei Werken, die aus schlechter Kohle in veralteten Maschinenaggregaten und Kesseln den Strom erzeugen, auf die Stromkosten 70 vH entfallen können.

a) Wasserkraftanlagen.

Bei Wasserkraftanlagen fehlt es sehr oft an Stromverbrauchern, die nachts ihre Anlage betreiben; hier dürfte die Erzeugung von Sprengluft in der Nacht eine sehr billige Energiewirtschaft ermöglichen, da sowohl der Stromerzeuger durch günstigere oder höhere Belastung seiner Anlage eine bessere Tilgungsquote erhält als auch die Sprengluftherzeugung aus diesen Gründen zu einem wesentlich niedrigeren Selbstkostensatze erfolgen kann.

b) Dampfanlagen mit Abdampfverwertung.

Sehr günstig liegen die Verhältnisse ferner bei den Werken (z. B. Kaliwerken), die ihren Strom im wesentlichen unter Ausnutzung der für Lösezwecke in den Chlorkaliumfabriken erforderlichen großen Dampfmenge in eigener Zentrale mit einer Anzapfturbine erzeugen. Die Kosten richten sich nach dem Grade der Abdampfverwertung¹⁾. Allgemein kann man sagen, daß die Kosten bis auf $\frac{1}{3}$ der für eine Frischdampfturbine in Frage kommenden Kosten, in besonders günstigen

¹⁾ Stiel: Über den Dampfverbrauch und die Wirtschaftlichkeitsgrenzen von Kolbenmaschinen und Dampfturbinen für Heißdampftrieb. Siemenszeitschrift Juli 1922, August 1922, September 1922.

Fällen bis auf $\frac{1}{10}$ der Stromkosten aus Überlandzentralen je Kilowattstunde herabgehen können.

c) Elektrische Zentrale.

Es bleiben dann noch die Fälle, bei denen der Strom in eigener oder in einer Überlandzentrale hergestellt wird. Auch in diesen beiden Fällen läßt sich der Strom durch Nachtbetrieb verbilligen. Die Kosten sind naturgemäß abhängig von den Kohlenkosten.

In der folgenden Betrachtung sind die Stromkosten als Funktion des Kohlenpreises berechnet.

Erfahrungsgemäß verteilen sich die beim Betrieb einer Sprengluftanlage entstehenden Kosten, sofern die Stromkosten auf reiner Kohlenbasis ohne Abdampfverwertung einzusetzen sind, wie folgt:

1. Stromkosten	71 vH
2. Löhne	11 vH
3. Betriebsmaterial	6 vH
4. Gefäße	7 vH
5. Abschreibungen	5 vH
	100 vH

Ein Elektrizitätswerk von 5000 kW Stundenleistung braucht zur Erzeugung einer nutzbaren Kilowattstunde i. M. die Wärmemenge in Kalorien von $w_m = 1295 \cdot \frac{1}{n} \cdot f + 4705^1$), worin n den Ausnutzungsfaktor des Werkes $\left(\frac{\text{mittlere jährliche Nutzleistung}}{\text{installierte Gesamtleistung}} \right)$ und f den Betriebszeitfaktor $\left(\frac{\text{Gesamtbetriebszeit aller Maschinen}}{\text{maximal mögliche Betriebszeit}} \right)$ bedeutet. Unter der Annahme eines Belastungsgrades der Anlage von nur 50 vH und einer reichlichen Installationsreserve von 20 vH ergibt sich der Wert für n als 0,40. Für $n = 0,40$ und $f = 0,75$ ergibt die Formel also den Wärmemengenbedarf für Erzeugung einer nutzbaren Kilowattstunde als $w_m = 7135$ WE/kWst. Angenommen, der Heizwert für 1 kg Fettnußkohle I beträgt 7500 Kal., so würde bei Annahme des Ausnutzungsfaktors n zu 0,40 und des Betriebsfaktors f zu 0,75 die Menge $\frac{7135}{7500} = 0,95 = \text{rd. } 1,0$ kg Fettnußkohle I je nutzbare Kilowattstunde benötigt werden.

2. Betriebskosten.

Erfahrungsgemäß verteilen sich die Betriebskosten²⁾ je nutzbare Kilowattstunde in einem Werk von 1000 kWst Leistung bei Vollast etwa folgendermaßen:

¹⁾ Klingenberg: Bau großer Elektrizitätswerke S. 70. Berlin: Julius Springer 1913.

²⁾ Dgl. S. 69. a. a. O., z. B. Dettmar: Statistik der Elektrizitätswerke in Deutschland. Berlin: Julius Springer 1913.

a) Kohlen	74 vH
b) Kleinmaterial, Wasser.	1 vH
c) Personal	3 vH
d) Reparaturen	1 vH
e) Zinsen und Erneuerungen	21 vH
	<hr/>
	100 vH

Bei Annahme des Ausnutzungsfaktors der Stromerzeugungsanlage n zu 0,40 verändert sich diese Zusammenstellung wie folgt:

a) Kohlen	57 vH
b) restl. Kosten	43 vH
	<hr/>
	100 vH

3. Gesamtbetriebskosten.

Die Gesamtbetriebskosten der Stromerzeugungsanlage bei Annahme des Ausnutzungsfaktors n zu 0,40 und des Betriebszeitfaktors f zu 0,75 lassen sich also unter der weiteren Annahme, daß alle Teilbeträge (Bedienung, Schmier- und Putzmaterial, Reparaturen, Tilgung und Verzinsung der Luftverflüssigungsanlage) in gleichem Maße wie die Kohlen verteuert worden sind, ausdrücken durch Multiplikation der Kohlenkosten mit dem Faktor $\left(1 + \frac{43}{57}\right) = 1,75$.

Verwendet man für Stromkosten je nutzbare Kilowattstunde den Gegenwert von 1,0 kg Fettlußkohle I und benutzt man das soeben gefundene Ergebnis über die Gesamtbetriebskosten der Stromerzeugungsanlage, so erhält man in der Überschlagsrechnung für die Gesamtbetriebskosten der Stromerzeugungsanlage je Kilowattstunde den Gegenwert von $1,75 \cdot 1,0 = 1,75$ kg Fettlußkohle I.

Die normale Sprengluftanlage auf Bergwerken hat eine Leistung von 30 kg/st. Sie braucht zur Erzeugung von 1 kg O_2 an elektrischer Energie etwa 3 kWst, erfordert also in Anlehnung an die bereits eingeleitete Berechnungsweise einen Gegenwert von $3 \cdot 1,75 = 5,25$ kg Fettlußkohle I je Kilogramm erzeugten flüssigen Sauerstoffs.

Da nun die Kosten für elektrische Energie eigener Erzeugung aus Frischdampf, wie oben ausgeführt, 71 vH der Gesamtbetriebskosten einer Sauerstofferzeugungsanlage ausmachen, so lassen sich diese wie folgt ausdrücken:

$$\text{Gesamtbetriebskosten} = \frac{100}{71} \cdot \text{Stromkosten} = 1,41 \cdot \text{Stromkosten.}$$

Vereinigt man diese Beziehung mit dem oben ermittelten Endwert, der nur die Kosten für die elektrische Energie berücksichtigt, so erhält man als Ergebnis die neue Beziehung Gesamtbetriebskosten einschließlich Tilgung und Verzinsung für Erzeugung von 1 kg flüssigen Sauerstoff = $1,41 \cdot 5,25 = 7,4$ kg Fettlußkohle I.

Die normale Sprengluftpatrone 35 mm \varnothing · 300 mm Länge hat ein Trockengewicht von etwa 75 g und nimmt etwa 250 g flüssigen Sauerstoff auf. Je nachdem, ob die Wirkung eine pulver-, ammonsalpeter- oder dynamitähnliche sein soll, sind für 1 kg festen Sprengstoffs 2 bis

höchstens 4 Sprengluftpatronen, im Durchschnitt also etwa 3 Sprengluftpatronen, erforderlich. 3 Patronen haben bei der Entnahme aus dem Tränkgefäß ein Nutzgewicht von $3 (75 \text{ plus } 250) = 3 \cdot 325 = 975 \text{ g} = \text{rd. } 1000 \text{ g}$, das besteht aus:

$$\begin{array}{r} 3 \cdot 75 = 225 \text{ g Trockengewicht} \\ 3 \cdot 250 = 750 \text{ g Sauerstoffgewicht} \\ \hline \text{rd. } 1000 \text{ g Gesamtgewicht} \end{array}$$

Der Gegenwert von 1 kg flüssigem Sauerstoff ergibt sich unter Benutzung der Endbezeichnung aus dem obigen Abschnitt als 7,4 kg Fettnußkohle I.

Nun beträgt aber die von 1 kg Sprengluft allein im Bohrloch gebrauchte Sauerstoffmenge 750 g. Die gleiche Menge ist im Grubenbetriebe (im Steinbruchbetriebe dagegen nur 30 vH) erforderlich bzw. geht verloren auf dem Transport von der Anlage bis zum Bohrloch (Verdampfungsverluste und Rückstand).

Nehmen wir also für Grubenbetriebe an, daß von dem an der Sprengluftanlage erzeugten Sauerstoff gemäß Zahlentafel 7, S. 20, von stündlich 30 kg nur 50 vH in das Bohrloch gelangen, so vergrößert sich obiger Wert um das $\frac{100}{50} = 2\text{fache}$, also auf $2 \cdot 7,4 = \text{rd. } 15 \text{ kg}$ Fettnußkohle I.

Für 1 kg Sprengluft sind also die Erzeugungskosten des benötigten Sauerstoffes $0,750 \cdot 15 = 11,25 \text{ kg}$ Fettnußkohle I, oder der für eine Sprengluftpatrone erforderliche flüssige Sauerstoff (250 g) kostet den Gegenwert von 3,8 kg Fettnußkohle I oder von 3,8 kWst.

III. Kosten der für die wirkungsgleiche Menge von 1 kg handfertigem Sprengstoff erforderlichen Sprengluftpatronen.

Diese Kosten stehen naturgemäß im Verhältnis zu den jeweiligen Marktpreisen der Rohstoffe. Die Sprengluftpatronen werden jedoch ausschließlich aus inländischen Rohstoffen hergestellt. Auch hier soll für die Überschlagsrechnung der Wert einer Normalpatrone in Goldmark, nämlich mit 0,12 Goldmark, angenommen werden.

Für Sprengluft in der 1 kg handfester Sprengstoffe wirkungsgleichen Menge sind erforderlich durchschnittlich 3 Patronen, die also einen Wert darstellen von $3 \cdot 0,12 = 0,36 \text{ Goldmark}$.

IV. Zündmittel.

Die Kosten für Zünder (elektrisch oder Zündschnur) und Sprengkapseln können außer Berechnung bleiben, da sie in beiden Fällen bei handfertigen Sprengstoffen und bei Sprengluft ungefähr dieselben sind; beim Sprengluftverfahren tritt noch eine Verbilligung dadurch ein, daß an Stelle der Kapsel 8 die Kapsel 6 genügt.

V. Gesamtkosten, bezogen auf 1 kg wirkungsgleicher Menge handfertigen Sprengstoffes.

Auf Grund vorstehender Einzelwerte sollen nunmehr die Kosten ermittelt werden für eine wirkungsgleiche Sprengstoffmenge von jährlich 120 000 kg Ammonsalpeter-Sprengstoff.

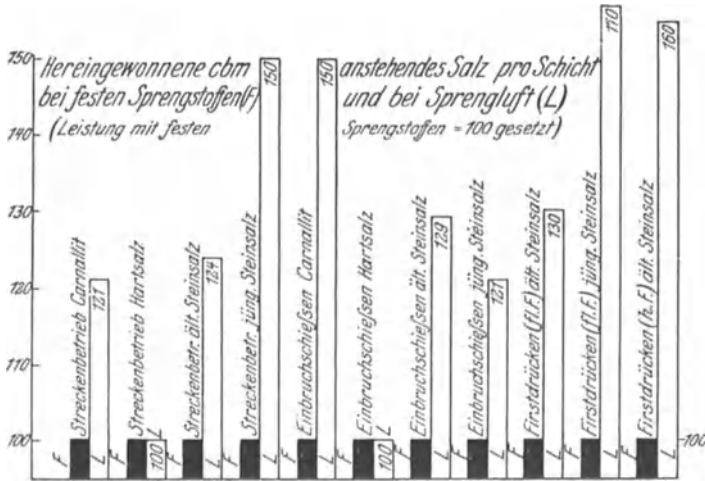


Abb. 74.

Kosten pro cbm Salz bei festem Sprengstoff (F) und bei Sprengluft (L) (Kosten mit festen Sprengstoffen = 100 gesetzt)

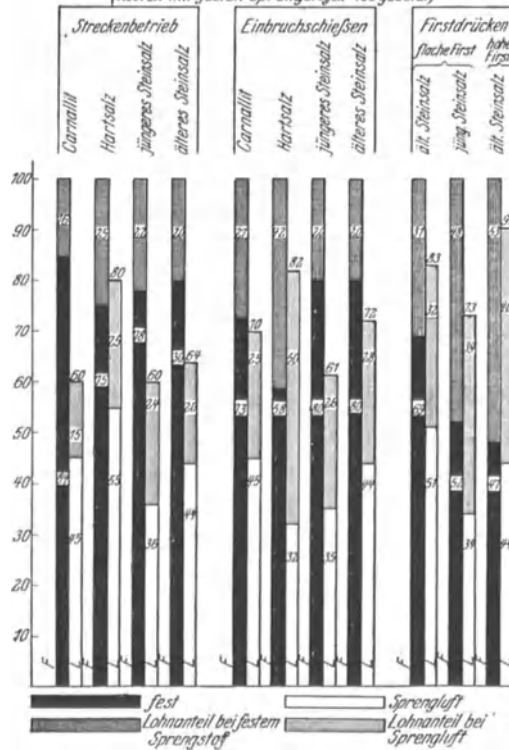


Abb. 75.

Hierzu ist erforderlich eine 30-kg-Anlage, die, 20stündige reine Betriebszeit vorausgesetzt, täglich $30 \cdot 20 = 600$ kg flüssigen Sauerstoffs liefert, also im Jahre bei 300 Arbeitstagen $300 \cdot 600 = 180\,000$ kg, entsprechend einer wirkungsgleichen Menge an Ammonsalpeter von rd. $180\,000 : 1,5 = 120\,000$ kg Sprengstoff, wozu $3 \cdot 120\,000 = 360\,000$ Sprengluftpatronen Verwendung finden.

Der Betriebskostenanteil zur Erzeugung der je Patrone erforderlichen Menge flüssigen Sauerstoffes entspricht, wie oben ermittelt, dem Gegenwert von 3,8 kg Fettfußkohle I oder 3,8 kWst. 1 kg Kohle kostete in Deutschland im Dezember 1923 0,02 Goldmark, so daß der Gegenwert der erforderlichen Menge flüssigen Sauerstoffes zu setzen ist gleich $3,8 \cdot 0,02 = 0,076$ Goldmark. Für Sprengluftpatronen der Größe 35 · 300 galt im Dezember 1923 ein Durchschnittspreis von 0,12 Goldmark.

Unter Zugrundelegung dieser Daten ergibt sich folgende Kostenübersicht für den Sprengluftbetrieb, der zum Ersatz einer Sprengstoffmenge von jährlich 120 000 kg Ammonsalpeter-Sprengstoffe erforderlich ist.

Sprengluftpatronenanteil:	
360 000 · 0,12 Goldmark	rd. 43 500 Goldmark
Betriebskostenanteil (Sauerstofferzeugung):	
360 000 Stück Patronen · 0,076 Goldmark/1 Patr.	
(gleich dem Gegenwert von 360 000 · 3,8	
= 1 368 000 kg Fettfußkohle I oder	
1 368 000 kWst.)	27 500 „
Gefäßparkanteil (siehe S. 78)	4 000 „
	<hr/>
	75 000 Goldmark
Hingegen kosten 120 000 kg Ammonsalpeter (Lignosit) im Dezember 1923 $120\,000 \cdot 2,1$	
Goldmark	= 253 000 Goldmark

Demnach spart man mit Sprengluft in einem Betriebe, für den die angenommenen Daten zutreffen, jährlich rd. 175 000 Goldmark = rd. 70 vH des Aufwands für handfertige Sprengstoffe. Diese Zahlen werden belegt durch Ergebnisse aus der Praxis. Sie schwanken, wie oben erwähnt, natürlich je nach den örtlichen Betriebsverhältnissen, insbesondere je nach den Kohle- oder Stromkosten.

In Abb. 74 sind vergleichsweise die Fördermengen beim Schießen nach dem Sprengluftverfahren gegenüber denjenigen bei handfertigen Sprengstoffen auf einem deutschen Kaliwerke dargestellt.

Abb. 75 zeigt die Gewinnungskosten für gleiche Raumteile anstehenden Salzes beim Schießen mit Sprengluft auf demselben deutschen Kaliwerk im Vergleich zu denen beim Schießen mit handfertigen Sprengstoffen. Die Daten stammen aus dem April 1921 und wurden bei Vergleichsschießen festgestellt.

VI. Überwachung des Sprengluftbetriebes.

In der Praxis zerfällt die Überwachung des Sprengluftbetriebes in 2 Teile:

- a) Betrieb der Sprengluftanlage,
- b) Schießbetrieb mit Sprengluft.

Es hat sich die tägliche Aufzeichnung von Betriebswerten sowohl in listenmäßiger als auch in graphischer Form bewährt.

Die Abb. 76—78 zeigen die Muster einiger Vordrucke, wie sie in Betrieben für die Überwachung der Erzeugung des flüssigen Sauerstoffes üblich sind. In entsprechender Weise sind in den Abb. 79—80 Muster für Überwachung des Schießbetriebes wiedergegeben.

Diese Muster können nur als Anhalt für die je nach den örtlichen Verhältnissen zu regelnde Betriebsüberwachung dienen.

In den Abb. 81—88 sind einige Beispiele wiedergegeben, wie derartige listenmäßige Aufzeichnungen in graphische Darstellung übertragen und ausgewertet werden können¹⁾.

¹⁾ Die Muster und die graphischen Beispiele sind dem Verfasser in dankenswerter Weise als Beitrag zu dieser Ausarbeitung aus der Praxis zur Verfügung gestellt worden.

Betriebsaufzeichnung vom Tagbetrieb
 Nachtbetrieb

der Luftverflüssigungsanlage auf der Schachanlage der

Zeit	Druck am Kompressor Atm.	Druck im Apparat Atm.	Flüssigkeitsanzeiger	Sauerstoff in %	Leistung in kg	Austauscher				Stromverbrauch		Stickstoff		Bemerkungen
						Kältemedium		HD.-Luft		K.W. St.	Amp.	Eintritt °C.	Austritt °C.	
						Eintritt °C	Austritt °C	Eintritt °C.	Austritt °C.					

Abb. 76. Betriebsüberwachung der Sprengluftanlage.

Betriebskosten der Luftverflüssigungsanlage.

Monat:

Insgesamt wurden erzeugt kg O₂

	Verbrauch		Markt		vH der Gesamtkosten
	Insgesamt	Je kg O ₂	Insgesamt	Je kg O ₂	
1. <i>Energiekosten</i> je kWh.					
2. <i>Schmiermittel</i> Art: Preis je kg:					
3. <i>Putzmittel</i> Art: Preis je kg:					
4. <i>Chemikalien</i> Natriumchlorid Preis je kg: Natriumcarbonat Preis je kg: Chlorcalcium Preis je kg: Ammoniak Preis je kg: Insgesamt Chemikalien:					
5. <i>Kühlwasser</i> Preis je cbm:					
6. <i>Lohnstunden (Bedienung)</i> Durchschnittslohn je st.:					
7. <i>Reparaturstunden (Handwerker)</i> a) Löhne je st. b) Material					
<i>Summa 1 bis 7</i>					

Abb. 77. Betriebskosten-Ermittlung der Sprengluftanlage.

Anlage und Betriebskosten der Luftverflüssigungsanlage auf der Schachtanlage
 der 19
 im Monat

Tag	Erzeugt wurden f	Stromverbrauch in K. W. St.	Stromkosten in (K. W. St. 10 Pfg.)	Betriebsmaterialien in	Betriebslöhne in	Kosten für Aufsicht in	Kosten für Ausbesserungen in	Summe der Betriebskosten in	Einnahme für verkauften Schluff in	Anlagekosten in	Kosten der Vergrößerung und Amortisation des gebauten Werks		Gesamtselbstkosten (Spalte 9 und 12) in	Bemerkungen
											M	f			M	f
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1.														
2.														
3.														
4.														
5.														
6.														

Abb. 78. Überwachung des Sprengluftanlagen-Betriebes.

Monat:	Gesamt-Erzeugung abzüglich d. Verdampfung in der Anlage	Kosten d. erzeugten f. Luft	Verbrauch an Tauchpatronen 35/300	Stück	M	f	Kosten d. verbrauchten Tauchpatronen	Verbrauch an f. Luft z. Sprengen 3x35/300-fmg	kg	Verbrauch an f. Luft	Verbrauch	Kosten für Sprengmittel	Kosten für Sprengschlepper	Kosten für 4000 Stck Sprengkapseln Nr. 8	Verbrauch von f. Luft pro Tauchpatrone 35/300	Bemerkungen:
		M	f		M	f	M	f	kg	kg	vH	M	M	M	kg	

Abb. 79. Überwachung des Sprengluft-Schließbetriebes.

Anlage: _____

Bericht über das Schießen mit Sprengluft

Monat: _____

	st	vfl	kg	Stück	cbm	MC	Bemerkungen
1. Produkt, Betriebszeit							
2. Unprodukt, Betriebszeit							
3. Gesamtbetriebszeit		100					
4. Erzeugte Menge O ₂							
5. davon vom Maschinenhaus ausgegeben							
6. demnach Verlust im Maschinenhaus							
7. Unterlage ausgegeben							
8. demnach Transportverlust							
9. Gesamt-Patronenverbrauch							
Art. Größe Stückpreis M.:							
10. Aufsaugefähigkeit einer Patrone							
11. Gesamt-Aufsaugefähigkeit der unter 9 genannten Menge Patronen und % Anteil dieser Menge gegenüber 4.							
12. demnach Verdampfungsverlust und ungenutzter Rest (minus 11)							
13. Förderleistung							
14. Patronenverbrauch							
a. je Tonne Förderung							
b. je cbm "							
c. je kg erzeugten Sauerstoffs							
15. Sauerstoffverbrauch							
a. je Tonne Förderung							
b. je cbm "							
c. je Patrone							
16. Sprengluftkosten							
a. monatlich							
b. je Tonne Förderung							
c. je cbm "							
17. Erfahrungsgemäß werden sonst an grundfesten Sprengstoffen verbraucht							
a. monatlich							
b. je Tonne Förderung							
c. je cbm "							
Art. Tagespreis:							
18. Ersparnis durch Sprengluft							
19. Gefäßspark							
a. Im Betrieb							
α Transportgefäße							
β Tauchgefäße							
b. In Reparatur							
α Transportgefäße							
β Tauchgefäße							

Abb. 80. Monatsbericht über Sprengluft-Schießbetrieb.

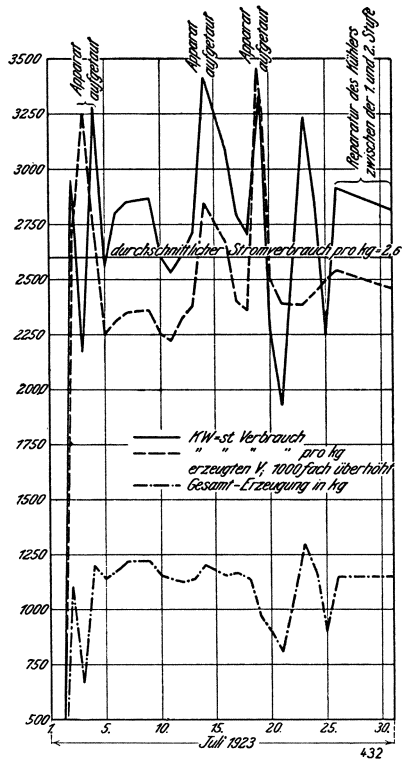


Abb. 81. Graphischer Monatsbericht über Betrieb der Sprengluftanlage.

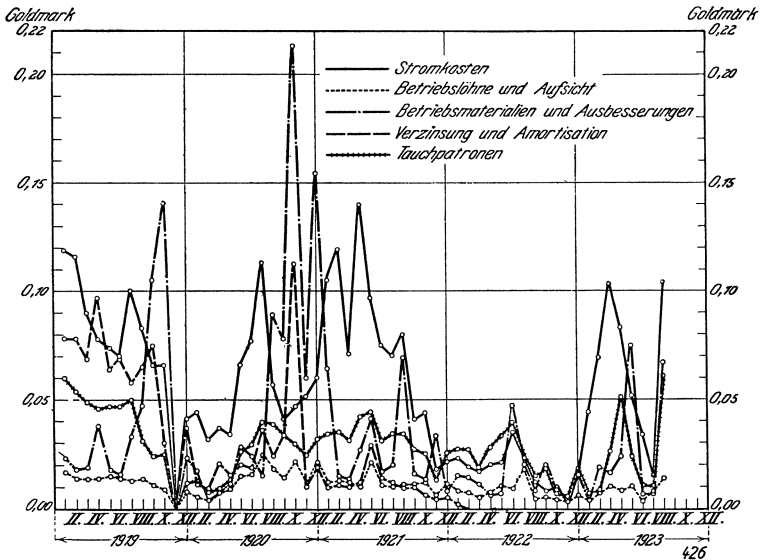


Abb. 82. Jahresaufzeichnungen über Betrieb der Sprengluftanlage.

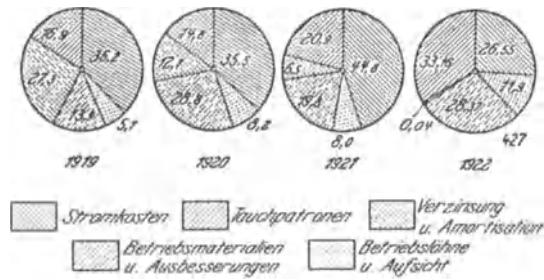


Abb. 83. Jahresübersicht über Betrieb der Sprengluftanlage entsprechend den Aufzeichnungen aus Abb. 82.

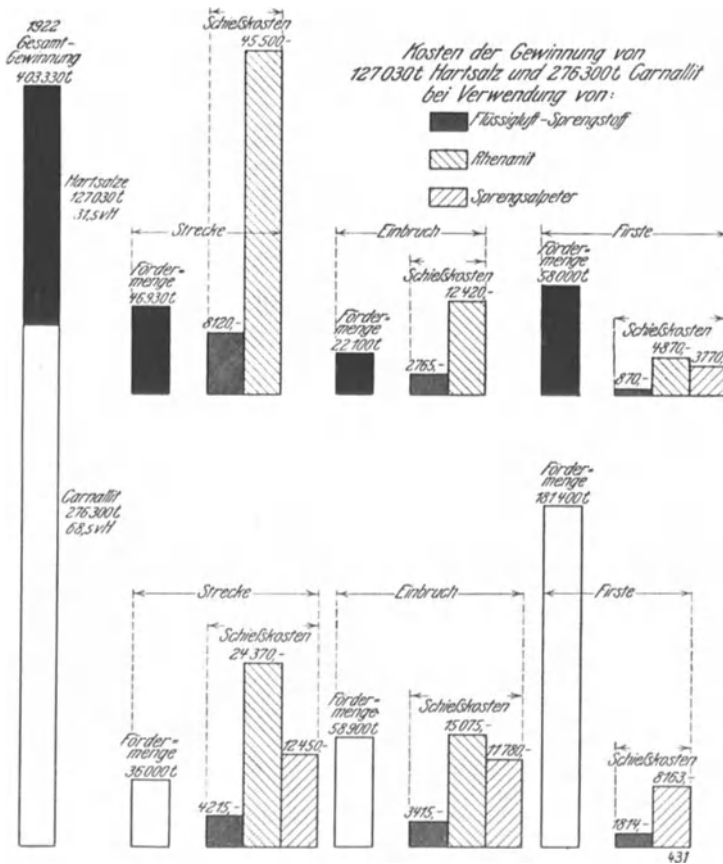


Abb. 84.

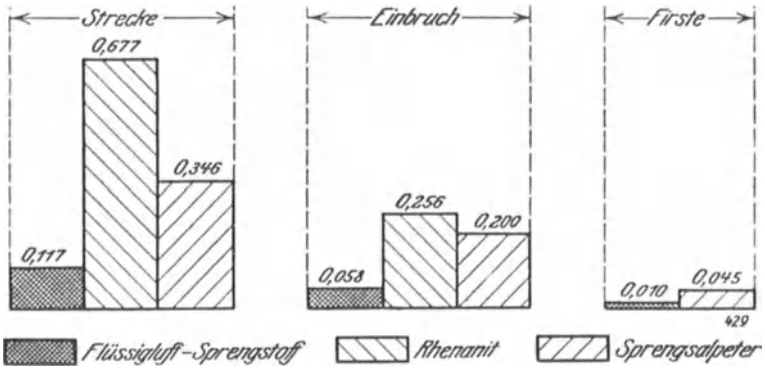


Abb. 85. Darstellung der Gewinnungskosten für eine Tonne Carnallit im Jahre 1922 (Angaben in Goldmark).

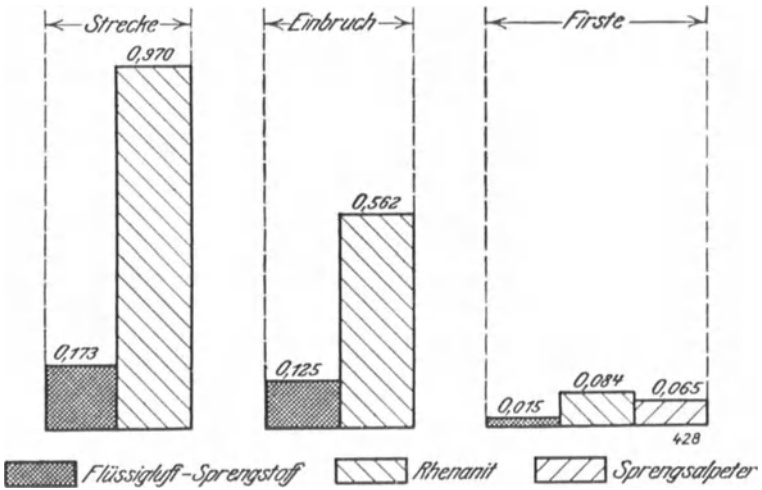


Abb. 86. Darstellung der Gewinnungskosten für eine Tonne Hartsalz im Jahre 1922 (Angaben in Goldmark).

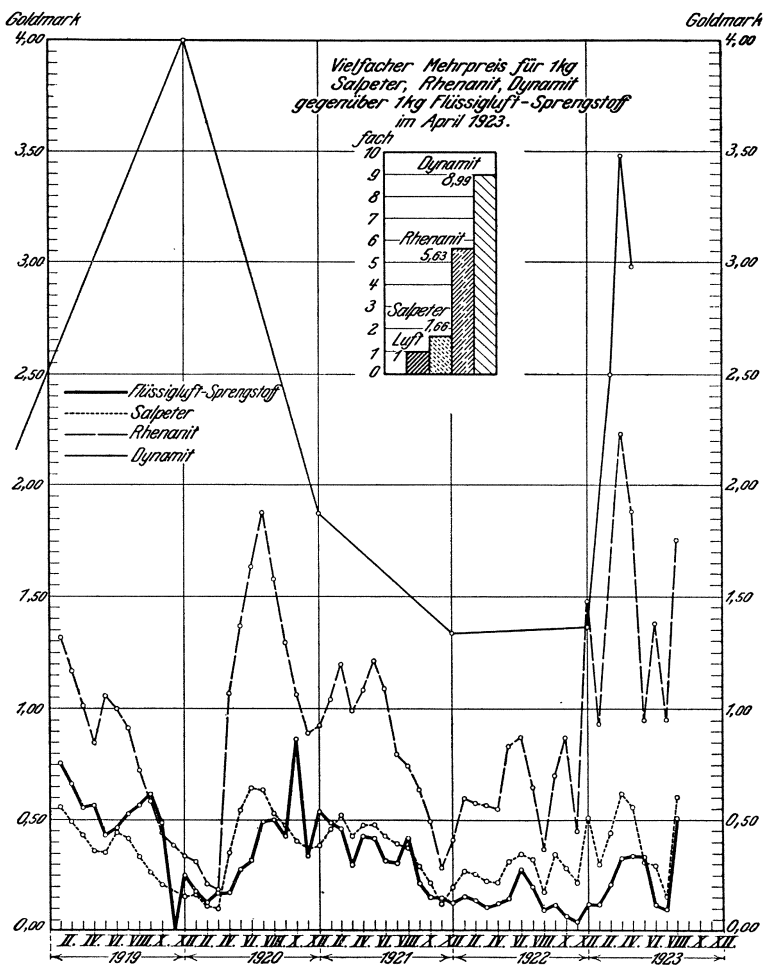


Abb. 87.

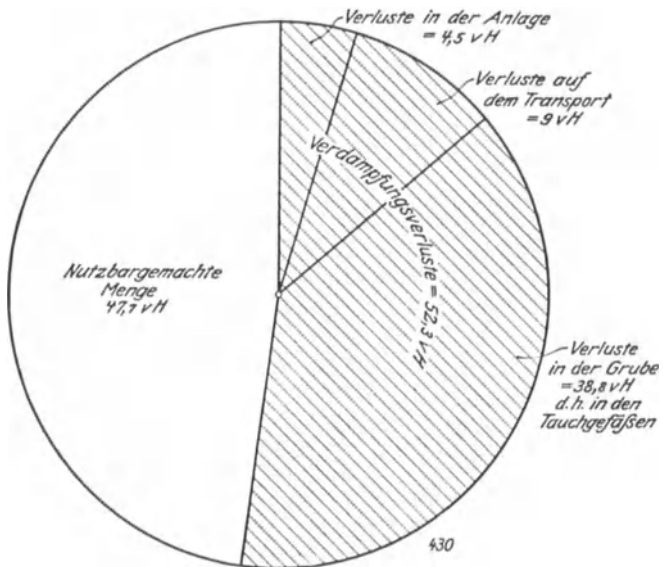


Abb. 88. Überwachung der Verdampfungsverluste.

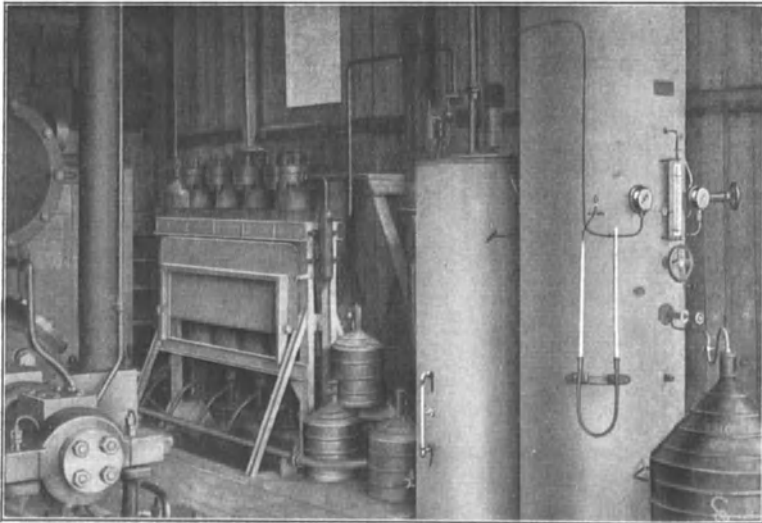


Abb. 89. Sprengluftanlage (Bauart Messer, Leistung 23 ltr/st). Siemens-Bauunion, Forbach in Baden, Trockenbatterie und Verflüssiger.

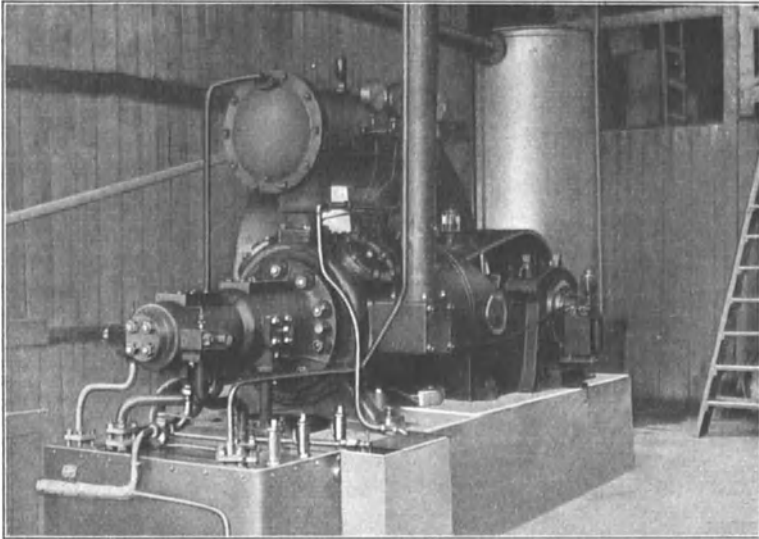


Abb. 90. Sprengluftanlage (Bauart Messer, Leistung 23 ltr/st). Siemens-Bauunion, Forbach in Baden, Kohlensäurereinigung, Hochdruckluftkompressor.

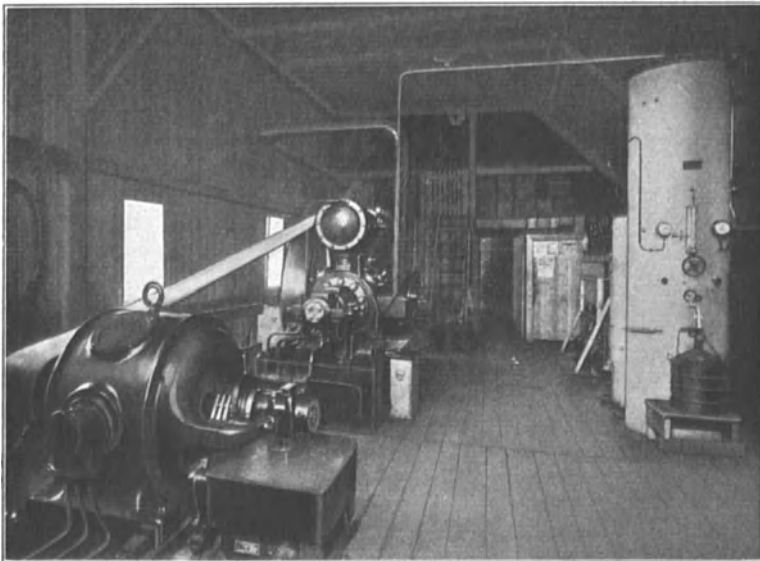


Abb. 91. Sprengluftanlage (Bauart Messer, Leistung 23 ltr/st). Siemens-Bauunion, Forbach in Baden, Hochdruckluftkompressor, Trockenbatterie, Verflüssiger.

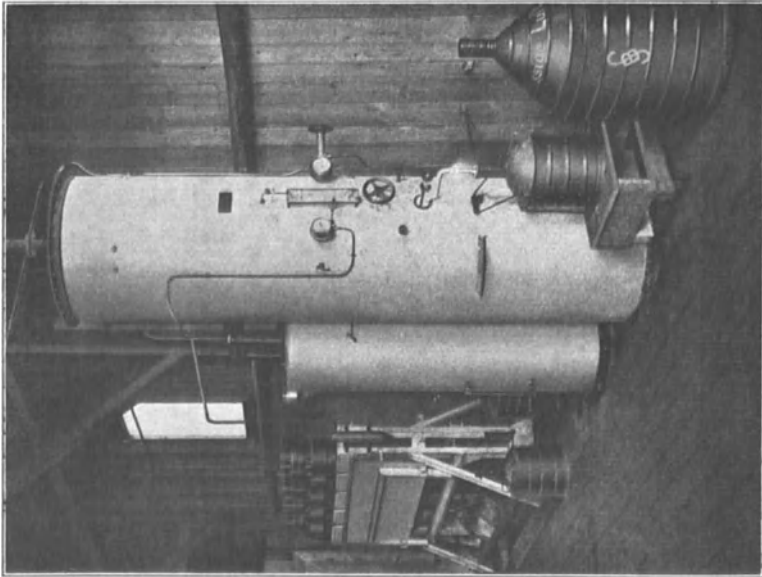


Abb. 92. Sprengluftanlage (Bauart Messer, Leistung 23 ttr/stf). Siemens-Baunion, Forbach in Baden, Trockenbatterie und Verflüssiger.



Abb. 93. Tragegefäße im Steinbruchbetrieb der Siemens-Baunion, Forbach in Baden.
Mit Genehmigung der Siemens-Baunion, Forbach in Baden.



Abb. 94. Steinbruch-Betrieb der Siemens-Bauunion, Forbach in Baden, Sprengluftanlage (Bauart Messer, Leistung 23 ltr/st). Kalksteinwand nach dem Abbohren vor dem Abschlag.



Abb. 95. Steinbruch-Betrieb der Siemens-Bauunion, Forbach in Baden, Sprengluftanlage (Bauart Messer, Leistung 23 ltr/st). Kalksteinwand nach dem Abschlag.



Abb. 96. Zubereiten der Sprengluftpatronen für Sprengungen mit flüssiger Luft.

Mit Genehmigung der Siemens-Bauminion, Forbach in Baden.



Abb. 97. Tränken der Patronen für Sprengungen mit flüssiger Luft.

Mit Genehmigung der Siemens-Bauminion, Forbach in Baden.



Abb. 98. Tränken der Patronen für Sprengungen mit flüssiger Luft.
Mit Genehmigung der Siemens-Bauunion, Forbach in Baden.



Abb. 99. Sprengungen mit flüssiger Luft beim Bau der
Schwarzenbachtalsperre in Baden.

Mit Genehmigung der Siemens-Bauunion, Forbach in Baden.

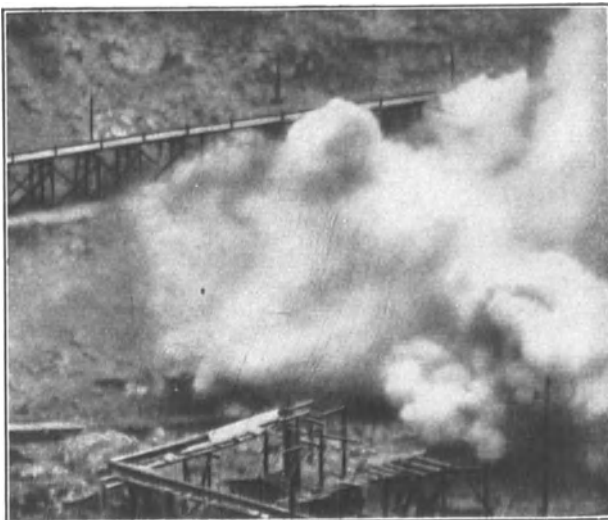


Abb. 100. Sprengungen mit flüssiger Luft beim Bau der
Schwarzenbachtalsperre in Baden.

Mit Genehmigung der Siemens-Bauunion, Forbach in Baden.

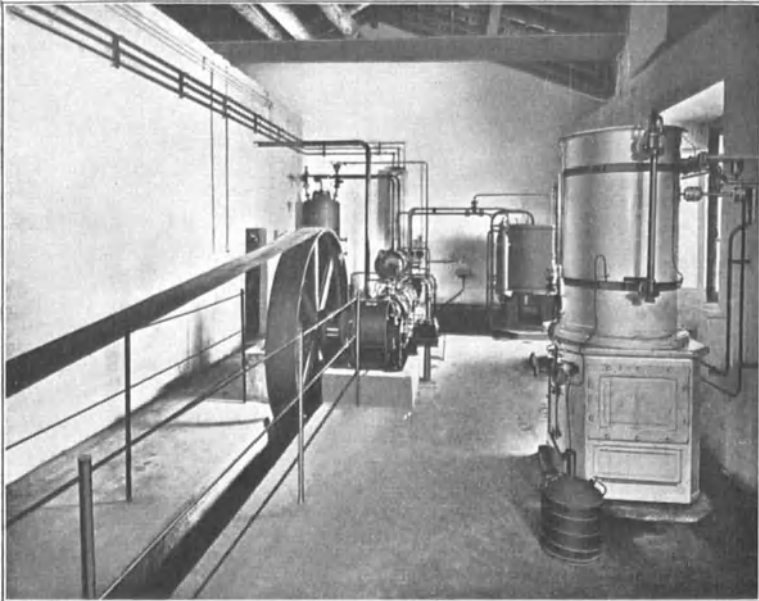


Abb. 101. Sprengluftanlage (Bauart Linde, Leistung 20 kg/st).
Stadtverwaltung Rom (Italien).



Abb. 102. Schleusenrinne, Baustelle Donau-Kachlet bei Passau der Bayerischen Bauindustrie A.-G. Am linken Stoß wird nach dem Sprengluftverfahren geschossen (Sprengluftanlage Bauart Linde, Leistung 20 kg/st).

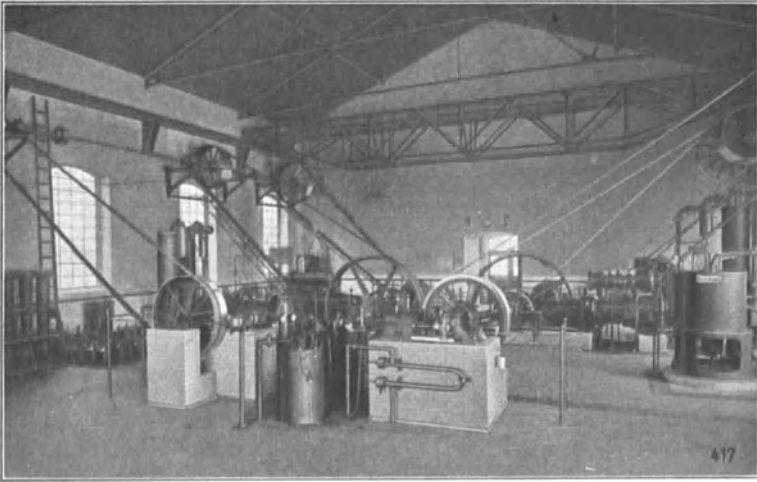


Abb. 103. Sprengluftanlage mit Expansionsmaschine auf dem Steinkohlenwerk Radzionkaugrube (Oberschlesien) (Bauart Heylandt, Leistung 50 kg/st).

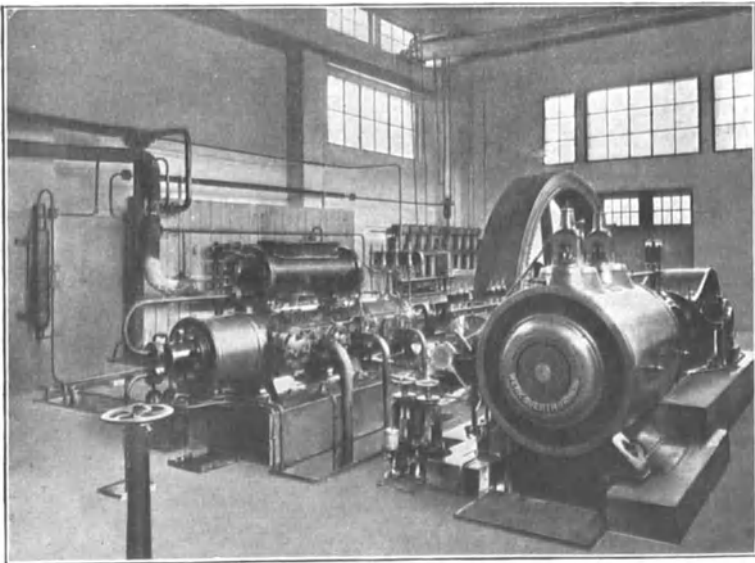


Abb. 104. Hochdruckluftkompressor direkt mit Dampfmaschine gekuppelt (Sprengluftanlage Bauart Linde, Maschinenfabrik Sürth).

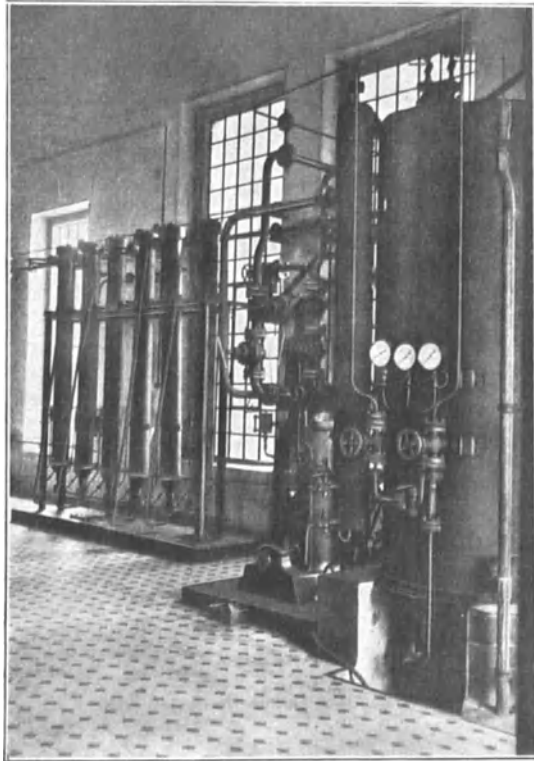


Abb. 105. Trockenbatterie, Kältemaschine, Ammoniakverflüssiger (Sprengluftanlage Bauart Linde, Leistung 50 kg/st).

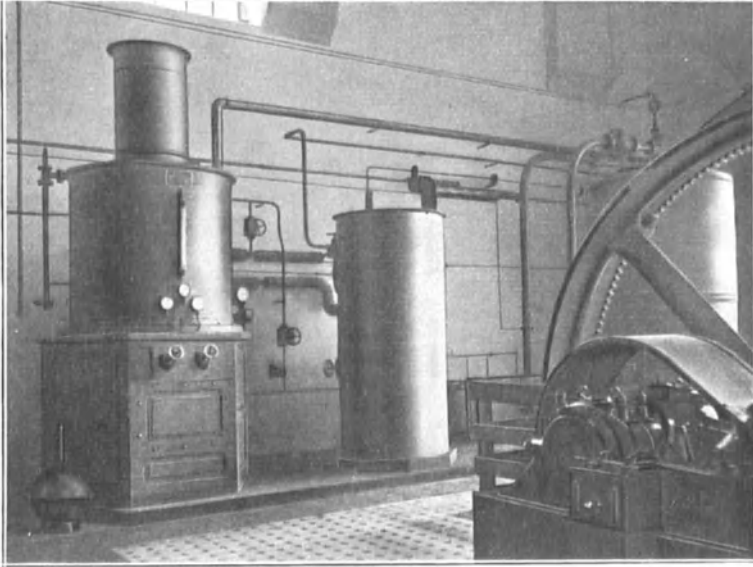


Abb. 106. Verflüssiger (Sprengluftanlage Bauart Linde, Leistung 50 kg/st).

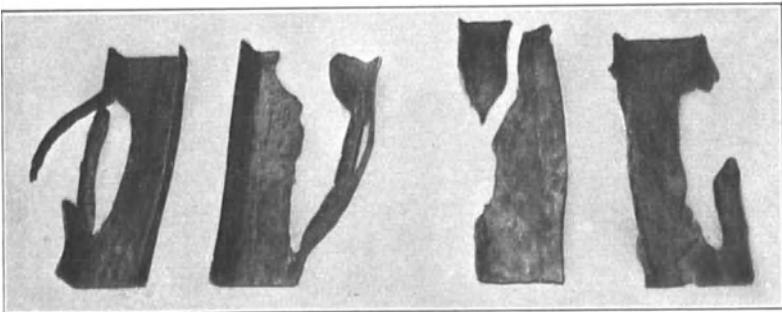


Abb. 107. Wirkung aufgelegter Sprengluftpatronen auf U-Eisen.

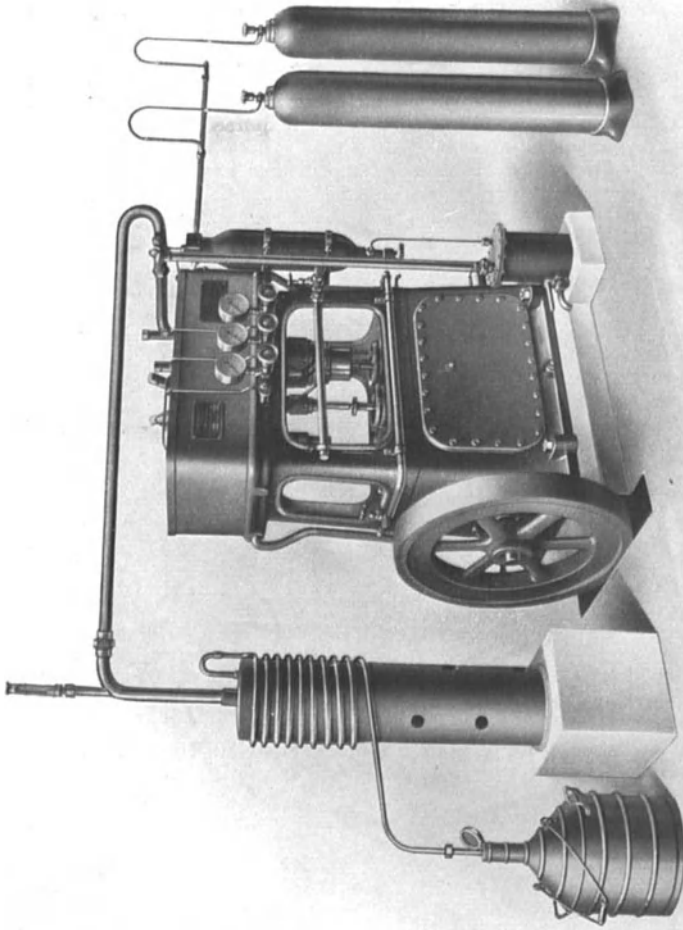


Abb. 108. Apparatur zur Herstellung komprimierten, gasförmigen Sauerstoffes aus flüssigem Sauerstoff.

Literaturverzeichnis.

(Geordnet nach dem Erscheinungsjahr.)

- Schulz: Die Benutzung d. flüss. Luft zur Darstellung v. Sprengstoffen. „Glückauf“ 23. 4. 1891.
- Heide: „Oxyliquit“, „Glückauf“ 29. 1. 1891.
- Claude: Improvements in and apparatus for the manufacture of liquid air. 1895.
- Hampson: Improvements relating to the progressive refrigerating of gases. 1895.
- Schroter: Liquid air and oxygen, their commercial manufacture, discussion of the Linde air machine. „Engineer“ 4. 10. 1895.
- Linde: Machine pour l'obtention des basses températures pour la liquéfaction des gaz et la séparation mécanique des mélanges gazeux. Génie civil. 1897.
- Hampson: Self-intensive refrigeration of gases, liquid air and oxygen. Journ. Soc. Chem. Ind. 1898.
- Oxyliquid, ein eigenartiger Sprengstoff. „Glückauf“ 1898.
- Schulz: Benutzung d. flüss. Luft zur Darstellung von Sprengstoffen. „Glückauf“ 1898.
- Sieder: Über die Verflüssigung der Luft (Vortrag im Rhein. Bezirksverband Deutscher Chemiker). „Glückauf“ 1898.
- Ostergren: Improvements in receptacles for holding and storing liquids, more particularly air and other liquefied gases. 1899.
- Linde: Zur Geschichte d. Maschine f. d. Herstellung d. flüss. Luft. Ber. d. Dtsch. Chem. Ges. 1899.
- Lodenburg u. Krügel: Über die spezifischen Gewichte d. flüss. Luft u. einiger anderer flüss. Gase. Ber. d. Dtsch. Chem. Ges. 1899.
- Gahie: Liquid air and explosives scientific. American Supplement 1899.
- Flüssige Luft als Sprengstoff der Zukunft. Deutsche Heereszeitung 1899.
- Heise: Über die Verflüssigung der Luft. „Glückauf“ 3. 6. 1899.
- Verwendung von Oxyliquit z. Sprengarbeiten. Zeitschr. f. Architektur u. Ingenieurwesen. 1900.
- Grousinoff: (Change the composition of liquid air on evaporation, independent of the rate of evaporation.) Journ. Russ. Phys. Soc. 1900.
- Baly: Distillation of liquid air, and the composition of the gaseous and liquid phases. Phil. Mag. 1900.
- Linde: „Sprengluft“. Riga-Industrie-Zeitung 1900.
- Flüssige Luft als Sprengstoff. Zeitschr. f. d. ges. Kälteind. 1900, S. 91.
- Claude: Perfectionnements apportés aux procédés d'extraction de l'oxygène de l'air par voie de liquéfaction. 1900.
- Caubet: Sur la liquéfaction des mélanges gazeux; les isothermes d'un mélange. 1900.
- Sur la liquéfaction des mélanges gazeux; variation des concentrations des deux phases coexistantes liquide et vapeur le long des isothermes. 1901.
- D'Arsonvat: L'air liquide. Ann. chim. phys. 1902.
- Olzewski: Przyrzady do skroplenia powietrza i wodoru (Apparatus for the liquefaction of air and hydroxygen). Bull. Acad. Sc. Cracow. 1902.
- Anwendung flüss. Luft f. Sprengzwecke. Polytechnisches Zentralbl. 1902/03.
- Claude: Sur l'extraction de l'oxygène par la liquéfaction partielle de l'air avec retour en arrière. Comp. rend. 1903.
- Sumann: Die Industrie verdichteter und verflüssigter Gase. 1904.
- Erdmann u. Bedford: Über Reindarstellung und Eigenschaften d. flüss. Sauerstoffs. Ber. d. Dtsch. Chem. Ges. 1904.
- Dewar: An improved method of absorbing gases and the method thereof for the production of high vacua and the separation of gases. 1904.
- Erdmann: Über die Zusammensetzung und Temperatur der flüss. Luft. Ber. d. Dtsch. Chem. Ges. Jg. 37, 1904.

- Mathias: Sur la chaleur de vaporization des gas liquéfiés. 1905.
- Claude: Sur la liquéfaction de l'air par détente avec travail extérieur. 1905.
- Sieder: „Oxyliquit“. Sonderabdruck a. d. Zeitschr. f. d. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen. 1906.
- Wood u. Knudsen: Method of Obtaining disruptive or explosive effects. 26. 2. 1907.
- Flüss. Luft als Sprengstoff. Zeitschr. f. d. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen 1907, H. 2.
- Kohle f. d. Herstellung von explosiven Gemengen. „Sprengstoff und Waffe“ 1907.
- The separation of oxygen from liquid air. „Engineering“ 1908.
- Flüss. Luft als Sprengmittel. „Erzbergbau“ 1908.
- Dewar: Studies on charcoal and liquid air. Chem. News 3. 1. 1908.
- Henniger: Die Nutzbarnachung der atmosphärischen Luft. Monatsh. d. f. naturwissenschaftl. Unterricht. 1908.
- Urban: Laboratoriumsbuch f. d. Industrie der verflüss. und komprimierten Gase. 1909.
- Claude: L'air liquide, oxygène, azote. Paris 1909.
- Flüss. Luft als Sprengstoff. „Schuß u. Waffe“ 1910.
- Herstellung u. Verwendung d. verdichteten und verflüss. Gase. Bibliothek der ges. Technik. Hannover 1910.
- Troller: Les explosives à oxygène. La nature 1912.
- Kolbe: Die Verwendung flüss. Luft z. Sprengzwecken. Zeitschr. f. Sauerstoff- u. Stickstoffindustrie. 1912.
- Simonis: Improvements in and connected with the method of and means for blasting or exploding by liquid air, oxygen or like suitable liquefied gas or medium of low temperature. 1913.
- Kolbe: Sprengstoff aus flüss. Sauerstoff. Zeitschr. f. Sauerstoff- und Stickstoffindustrie 1913.
- Claude: Sur l'absorption des gaz par le charbon aux basses températures 1914.
- Versuche u. Verbesserungen beim Bergwerksbetrieb in Preußen im Jahre 1914. Z. Berg-, Hütten-, Sal.-Wes. 1915.
- Mewes: Wodurch wird die Größe der Sprengwirkung flüss. Luft bedingt? Zeitschr. f. Sauerstoff- u. Stickstoffindustrie 1915.
- Przyborski: Verwendung flüss. Luft als Sprengmittel. Montanistische Rundschau 1915.
- Verwendung flüss. Luft zu Sprengzwecken. „Bergbau“ 1915.
- Sieder: „Oxyliquit“. Zeitschr. f. d. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen 1915.
- Spielmann: Aus d. Sonderabdruck aus Kraiss: Handwörterbuch der Werkstoffe. Zeitschr. f. d. Steinbruchs-Berufsgenossenschaft 1915.
- Krieg und Sprengstoffe. Zeitschr. f. d. Steinbruchs-Berufsgenossenschaft 1915.
- Wüster: Flüss. Luft als Sprengmittel im Bergbau. Dinglers Polytechn. Journ. 1915.
- Mewes: Errettung der deutschen Bergwerke aus der Kriegs-Sprengstoff-Not durch flüss. Luft. Zeitschr. f. Sauerstoff- u. Stickstoffindustrie 1915.
- Wachlowski: Aus dem Sonderabdruck aus Kreis: Handwörterbuch der Werkstoffe. „Glückauf“ 1915.
- Piutti: Sopra un miscuglio esplosivo di fosforo ed aria liquida. Rend. Atti Real. Accad. Lincei. 1915.
- Bernstein: Die Anlage z. Erzeugung flüss. Luft f. Sprengzwecke a. d. Gottessegengrube in Antonienhütte O/S. „Glückauf“ 1915.
- Diederichs: Die Erzeugung u. Verwendung flüss. Luft z. Sprengzwecken. „Stahl und Eisen“ 1915.
- Brot: Mathematical theory of liquid air machines and of the expansion of gases. Bull. Soc. Encour. In. Nat. 1915.
- Sprengen m. flüss. Luft (Teil d. Abhandlung: Versuche, Verbesserungen bei Bergwerksbetrieben in Preußen während d. Jahres 1915). Z. Berg-, Hütten-, Sal.-Wes. 1916.
- Peukert: Worauf beruht das Sprengverfahren mittels flüss. Luft und welche Erfahrungen hat man bis jetzt beim Sprengen m. flüss. Luft in unseren Bergwerken gemacht. Zeitschr. f. d. ges. Schieß- und Sprengstoffwesen 1916.

- Spielmann: Aus d. Sonderabdruck aus Kraus: Handwörterbuch der Werkstoffe. Zeitschr. f. d. ges. Schieß- und Sprengstoffwesen 1916.
- Vershaffelt: The viscosity of liquid air. Proc. Akad. Wetenschappen 1916.
- Martin: Über das Sprengluftverfahren. Zeitschr. f. d. ges. Schieß- und Sprengstoffwesen 1916.
- Schießen mit flüss. Luft a. d. Brandenburg-Grube. Techn. Zentralanzeiger f. Berg-, Hütten- u. Maschinenwesen 1916.
- Nikolai: Untersuchungen und Erfahrungen auf dem Gebiete des Sprengens mit flüss. Sauerstoff und Ruß. Z. Berg-, Hütten-, Sal.-Wes 1916.
- Kowatsch: Kowastit-Sprengverfahren. Zeitschr. f. d. ges. Schieß- und Sprengstoffwesen 1916.
- Eucken: Heats of evaporation, fusion, and transformation of liquid oxygen and nitrogen. Verhandl. d. dtsh. physik. Ges. 1916.
- Heberle: Erfahrungen m. d. Sprengstoff „Flüss. Sauerstoff“ (flüss. Luft) im Kalibergbau. Sonderabdruck aus „Kali“ 1916.
- Bock: Die Erzeugung und Verwendung flüss. Luft. Mitteil. d. oberschles. Bezirksvereins Deutscher Ingenieure usw. Kattowitz 1916.
- Holst: Vapor pressures of oxygen and nitrogen. Proc. Acad. Wetenschappen 1916.
- Reinecke: Ermittlung d. Sauerstoffgehaltes durch Temperaturbestimmung 1917.
- Diederichs: Flüssige Luft als Sprengstoff. Weimar 1917.
- Klingspor: Die Erfahrungen m. flüss. Luft als Sprengstoff a. d. Siegener Gruben. Samml. Berg- u. Hüttenmännischer Abhandl.
- Stettbacher: Das Sprengluftverfahren u. seine militärtechn. Aussichten. Schweiz. Zeitschr. f. Artillerie u. Genie 1917.
- Wöhler: Selbstexplosionen durch Holzkohle. Zeitschr. f. d. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen 1918.
- Kausch: Die Herstellung, Verwendung u. Aufbewahrung flüss. Luft. Weimar 1919.
- Schwarz: Eis- und Kälteindustrie. Zeitschr. f. d. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen 1919.
- Liquid-oxygen explosives. Compressed Air Magazin 1919.
- Schöpe: Parallelbohrverfahren a. d. Kaliwerke Glückauf b. Auffahren v. Strecken unter Anwendung v. Sprengluftpatronen als Sprengmittel. „Kali“ 1919.
- Gropp u. Hundt: Das Schießen mit flüss. Luft im Kalibergbau. „Kali“ 1919.
- Dewar: Liquid oxygen and the war. Journ. Soc. Chem. Ind. 1919.
- Wolf: Liquid oxygen as an explosiv. Eng. and Min. Journ. 1920.
- Über Erfahrungen beim Sprengen m. flüss. Luft im böhm. Steinkohlenbergbau. Journ. f. Gasbeleuchtung u. verw. Beleuchtungsarten sowie für Wasserversorgung. München 1920.
- Data concerning the use of liquid-oxygen explosives in Germany. Bureau of Mines 1920.
- Gropp u. Hundt: Techn. und. wirtsch. Erfahrungen b. Schießen mit flüss. Sauerstoff. auf Kalisalzbergwerken. Halle 1920.
- Kolbe: Flüssige Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff. Leipzig 1920.
- Skerrett: The Potentialities of Liquid Oxygen Explosives. Compr. Air Magazine 1921.
- Lisse: Blasting with liquid air. Min. and Sc. Press. 1921.
- Roy: Notes on the Use of Liquid Air Explosives. Compr. Air Mag. 1921.
- Lormand: Liquid oxygen as a commercial explosive. Dept., of Agr. Chem. a. industrie 1921.
- Besson: Les explosifs à bas d'air liquide. Curiosités Scientifiques 1922.
- Boudet: Le Percement du Mont-Blanc. La vie Technique et Industrielle 1922.
- Müller: Über Patronen z. Sprengen m. flüss. Luft. Zeitschr. f. kompr. u. flüss. Gase 1922.
- Böhm: Flüss. Luft im deutsch-österreich. Bergbau. Zeitschr. f. d. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen 1922.
- Wilde: Sur l'emploi des explosifs à base d'air liquide. Bull. Techn. de la Suisse Romande 1922.
- Feuchtinger: Fortschritte u. neuester Stand des Flüssigluftsprengverfahrens. Öst. Monatsschr. f. d. öffentl. Baudienst u. d. Berg- u. Hüttenwesen 1922.

- Lisse: Vortrag über d. Sprengluftverfahren a. d. Ingenieurtagung in Reichenberg. Techn. Rundschau u. Anzeiger Bodenbach 1. 9. 1922.
- Kaufmann u. Schneider: Acetylenkondensationen. I. Versuche zur Konstitutionsermittlung des Cuprens.
- Skerrett: Industrial Use of liquid oxygen explosives. Compr. Air Magazine 1923.
- Mitteilungen der Deutsch-Italienischen Handelskammer. Trasformazione di energia elettrica in esplosivo „Ossigeno Liquido“ 1923.
- Anweisung d. Ministers f. Handel und Gewerbe a. d. Oberbergämter f. d. Zulassung von Sprengarbeit m. flüss. Luft in den der Aufsicht der Bergämter unterstellten Betrieben 26. 2. 1923.
- James: Liquid oxygen in Mining. The South Africa Mining & Engineering Journ. 1923.
- Liquid Oxygen Explosives. Engineering & Mining Journ. Press New York 1923.
- Pollitzer: Über Explosionen an Apparaten z. Verflüssigung und Zerlegung von Luft. Zeitschr. f. angew. Chemie 1923.
- Siemens-Bauunion: Sprengarbeiten. Berlin: S. Mittler & Sohn 1923.
- Benoist: Exemples d'emploi des explosifs à l'air liquide. Soc. de l'industrie minière. Saint Etienne 1923.
- Howell, Paul, Sherrick: Progress of investigations on Liquid-oxygen Explosives. Techn. Paper 294. Dep. of the Interior. Washington 1923.
- Unfälle bei handfertigen Sprengstoffen und bei Sprengluft. „Kohle und Erz“ 1923.
- Liquid Oxygen used successfully in blasting. Chem. & Metallurgical Eng. 1923.
- Rice: Development of liquid oxygen during the war. Dep. of the Interior Bureau of Mines. Washington.
- de Wendel: Liquid Oxygen Explosives. Weber Pat. Cartridges.
-

Alphabetisches Sachverzeichnis.

- Arbeitsleistung und Brisanz 31, 33, 34, 36.
Auftauvorrichtung 13.
Ausbläser 72.
Bohrloch 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49.
 Besatz 48, 49.
 Bohren 43, 74.
 Holzkeilverschluß 49.
 Laden 45, 46, 47.
 Länge 44.
 Reinigung 46.
 Verdämmung 48.
 Vorkühlung 47.
Brisanz 31, 36, 37.
Carben 32, 33.
Detonationsgeschwindigkeit 33, 36, 37.
Einbruchschießen 44, 47.
Energiebedarf v. Sprengluftanlagen 18.
Explosionswärme 30, 34.
Flüssiger Sauerstoff s. a. Sauerstoff, flüssiger.
Flüssige Luft s. a. Luft, flüssige.
 Erzeugung 3, 6, 8, 10, 11.
 Kältemaschine 5, 15.
 Kompressor 8.
 Luftreinigung 6.
 Luftverflüssigungsapparat 11.
 Öl 10.
 Ölabscheider 10.
 Trennapparat 11.
 Trockenbatterie 10.
Galvanoskop 70.
Hülsen 39.
Kohlensäure, Absorption 6.
Kohlenstoffträger 29, 32.
 Carben 32.
 Ruß 32.
Ladedichte 34, 35.
Lebensdauer der Sprengluftpatronen 39.
Luft, flüssige, s. a. Sauerstoff, flüssiger.
 Kosten 80.
 Reinigung 6, 11, 18.
 Rektifikation 11, 12.
 Vorkühlung 5, 15, 16.
 Zusammensetzung 3.
Luftverflüssigungsanlagen 3, 6, 8, 10, 11, 18, 76, 80.
 Ätzkali 7.
 Ätznatron 7.
Auftauvorrichtung 12.
Betriebskosten 80.
Chlorcalcium 11.
Energiebedarf 18.
Größe 18.
Kältemaschine 5, 15.
Kompressor 8.
Kosten 76.
Kühlung 8.
Luftreinigungsapparat 6.
Öl 10.
Ölabscheider 10.
Raumbedarf 18.
Stromkosten 78, 79, 80.
Trennapparat 11, 12.
Trockenflasche 10.
Verflüssigungsapparat 11, 12.
Ruß 32.
Sauerstoff, gasförmig 19.
Sauerstoff, flüssiger, s. a. Luft, flüssige.
 Abfüllung 18.
 Analyse 13, 14.
 Erzeugung 3, 6, 8, 10, 11, 15, 16.
 Erzeugungskosten 80.
 Umfüllung 28.
 Verluste 20, 23, 26, 27, 38.
 Vorkühlung 5, 11, 15.
Schießen 43, 44, 45, 47, 49, 56, 57, 58, 81, 83.
 Betriebsüberwachung 83.
 Brisante Wirkung 57.
 Einbruchkegel 44, 47.
 Hohlraumschießen 47, 49.
 Vorgabe 43, 44.
 Weiche Wirkung 56.
Schwaden 40, 41, 42.
Sprengluftanlagen s. Luftverflüssigungsanlagen.
Sprengeffekt 31, 37.
Sprengluftgefäße 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 77.
 Allgemeines 20.
 Entleerung 22, 28.
 Fassungsvermögen 21, 24, 26, 28.
 Federnde Aufhängung 21, 22.
 Gewicht 21, 24.
 Kosten 77.
 Patronentraggefäß 27.
 Reinigung 24.

- Siphon 28.
 Standgefäße 28.
 Tränkgefäß, cylindrisch 24.
 Tränkgefäß, rechteckig 25.
 Transportgefäß 21.
 Umlauf des Gefäßparkes 19.
 Vorkühlung 24.
 Sprengkapseln 53, 54.
 Knallquecksilber 54.
 Lagerung 54.
 Resorzinat 53.
 Sprengluftpatronen 24, 26, 28, 29, 34,
 35, 36, 37, 39, 41, 42, 46, 48, 52.
 Aufsaugefähigkeit 39.
 Besatz 48, 49.
 Centraltränkstation 23, 28.
 Durchmesser 37, 46.
 Entgasung 48, 49.
 Gewicht 39.
 Heber 25.
 Hülsen 39.
 Ladedichte 35.
 Lagerung 30.
 Länge 37.
 Lebensdauer 39.
 Ortsfeste Tränkung 28.
 Sauerstoffbedarf 39.
 Schlagpatronen 52.
 Schwaden 40, 41, 42.
 Tränken 22, 24, 25, 39.
 Transport 30.
 Sprengluftverfahren 1, 29, 30, 72, 73,
 76, 81, 83.
 Unfallgefahr 72, 73, 74, 75, 76.
 Überwachung 83.
 Vorteile gegenüber handfesten Spreng-
 stoffen 42, 43.
 Wirtschaftlichkeit 76, 81.
 Strom 78, 79, 80.
 Elektrische Centrale 79.
 Kosten 80.
 Tunnelbauten 45.
 Unfallgefahr 72, 73, 74, 75, 76.
 Verluste flüssigen Sauerstoffs 20, 23,
 27, 38.
 Wirtschaftlichkeit des Sprengluftver-
 fahrens 76, 81.
 Zündung 50, 51, 55, 56, 57, 58, 59, 60,
 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70,
 71, 75.
 Elektrische Zündung.
 Fulminatzündung 57.
 Gruppenschaltung 63.
 Hintereinanderschaltung 62.
 Holzrolle 51.
 Kurzschlußklemme 69.
 Leitungsunterbrecher 68.
 Leitungswiderstand 64.
 Ohmmeter 71.
 Parallelschaltung 63.
 Prüfen 69.
 Schaltung 62.
 Schießtransformator 67.
 Stromquellenprüfung 66, 70.
 Widerstand der Leitung 64.
 Widerstand der Zünder 57.
 Zündmaschine 66.
 Zündung vom Bohrlochsmunde 50, 51.
 Zündung vom Bohrlochstiefsten 50, 51.
 Zündung durch Zündschnur 55.
 Frühzündung 75.
 Massenzündung 58.
 Momentzündung 58.
 Resorzinatzündung 58.
 Zeitzündung 59, 60.

Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.

Nitroglycerin und Nitroglycerinsprengstoffe (Dynamite) mit besonderer Berücksichtigung der dem Nitroglycerin verwandten und homologen Salpetersäureester. Von Dr. phil. **Phokion Naoúm**, Leiter des Wissenschaftlichen Laboratoriums der Dynamit-Aktien-Gesellschaft vorm. Alfred Nobel & Co., Hamburg. Mit etwa 60 Textabbildungen. Erscheint im Frühjahr 1924

Zwanzig Jahre Fortschritte in Explosivstoffen. Vier Vorträge, gehalten in der Royal Society of Arts in London November/Dezember 1908 von **Oscar Guttmann** in London. Mit 11 Figuren und 1 farbigen Tafel. 1909. 3 Goldmark / 0.70 Dollar

Die Diazo-Verbindungen. Von Dr. **A. Hantzsch**, o. Professor an der Universität Leipzig, und Dr. **G. Reddelien**, a. o. Professor an der Universität Leipzig. 1921. 4 Goldmark / 1 Dollar

Lehrbuch der Bergbaukunde mit besonderer Berücksichtigung des Steinkohlenbergbaues. Von Professor Dr.-Ing. e. h. **F. Heise**, Direktor der Bergschule zu Bochum und Professor Dr.-Ing. e. h. **F. Herbst**, Direktor der Bergschule zu Essen. In 2 Bänden.

I. Band: Gebirgs- und Lagerstättenlehre. Das Aufsuchen der Lagerstätten (Schürf- und Bohrarbeiten). Gewinnungsarbeiten. Die Grubenbaue. Grubenbewetterung. Fünfte, verbesserte Auflage. Mit 580 Abbildungen und 1 farbigen Tafel. 1923. Gebunden 11 Goldmark / Gebunden 3.20 Dollar

II. Band: Grubenausbau. Schachtabteufen. Förderung. Wasserhaltung. Grubenbrände, Atmungs- und Rettungsgeräte. Dritte und vierte, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 695 Abbildungen. 1923. Gebunden 11 Goldmark / Gebunden 3.20 Dollar

Kurzer Leitfaden der Bergbaukunde. Von Prof. Dr.-Ing. e. h. **F. Heise**, Direktor der Bergschule zu Bochum und Prof. Dr.-Ing. e. h. **F. Herbst**, Direktor der Bergschule zu Essen. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 341 Textfiguren. 1921. 5.20 Goldmark / 1.30 Dollar

Verfahren und Einrichtungen zum Tiefbohren. Kurze Übersicht über das Gebiet der Tiefbohrtechnik. Von **Paul Stein**. Zweite, gänzlich umgearbeitete Auflage. Mit 20 Textfiguren und 1 Tafel. 1913. 1.20 Goldmark / 0.30 Dollar

Vortrieb und Ausbolzung von Gebirgstunneln. Ein kurzer Abriß der bergmännischen Tunnelbauweisen unter Behandlung und Begründung der neuzeitlichen Änderungen und Verbesserungen. Von Regierungs-Baumeister Dr. phil. Dr.-Ing. **Bader**. Mit 40 Textfiguren. 1911. 2.40 Goldmark / 0.60 Dollar

Die Bergwerksmaschinen. Eine Sammlung von Handbüchern für Betriebsbeamte. Unter Mitwirkung zahlreicher Fachgenossen herausgegeben von Dipl.-Ing. **Hans Bansen**, Bergingenieur, ord. Lehrer an der Bergschule zu Tarnowitz.

Erster Band: **Das Tiefbohrwesen.** Unter Mitwirkung von Diplom-Bergingenieur **Arthur Gerke** und Dipl.-Ing. Dr.-Ing. **Leo Herwegen** bearbeitet von Dipl.-Ing. **Hans Bansen**. Zweite Auflage. In Vorbereitung

Zweiter Band: **Gewinnungsmaschinen.** Bearbeitet von Diplom-Bergingenieur **Arthur Gerke**, Diplom-Bergingenieur Dr.-Ing. **Leo Herwegen**, Diplom-Bergingenieur Dr.-Ing. **Otto Pütz** und Dipl.-Ing. **Karl Teiwes**. Zweite Auflage. In Vorbereitung

Dritter Band: **Die Schachtfördermaschinen.** Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Bearbeitet von **Fritz Schmidt** und **Ernst Förster**.

I. Teil: Die Grundlagen des Fördermaschinenwesens. Von Privatdozent Dr. **Fritz Schmidt** in Berlin. Mit 178 Abbildungen im Text. 1923. 8.50 Goldmark / 2 Dollar

II. Teil: Die Dampffördermaschinen. Bearbeitet von Privatdozent Dr. **Fritz Schmidt** in Berlin. In Vorbereitung

III. Teil: Die elektrischen Fördermaschinen. Von Professor Dr.-Ing. **Ernst Förster** in Magdeburg. Mit 81 Abbildungen im Text und auf 1 Tafel. 1923. 6 Goldmark / 1.50 Dollar

Vierter Band: **Die Schachtförderung.** Bearbeitet von Diplom-Bergingenieur **Hans Bansen** und Dipl.-Ing. **Karl Teiwes**. Zweite Auflage. Mit etwa 400 Textfiguren. In Vorbereitung

Fünfter Band: **Die Wasserhaltungsmaschinen.** Von Dipl.-Ing. **Karl Teiwes**. Mit 362 Textfiguren. 1916.

Gebunden 18 Goldmark / Gebunden 4.35 Dollar

Sechster Band: **Die Streckenförderung.** Von Diplom-Bergingenieur **Hans Bansen**. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 593 Textfiguren. 1921. Gebunden 18 Goldmark / Gebunden 4.35 Dollar

Berechnung elektrischer Förderanlagen. Von Dipl.-Ing. **E. G. Weyhausen** und Dipl.-Ing. **P. Mettgenberg**. Mit 39 Textfiguren. 1920.

2.40 Goldmark / 0.60 Dollar

Die Drahtseilbahnen (Schwebbahnen). Ihr Aufbau und ihre Verwendung. Von Reg.-Baumeister Professor Dipl.-Ing. **P. Stephan**. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 543 Textabbildungen und 3 Tafeln. 1921.

Gebunden 15 Goldmark / Gebunden 4 Dollar

Die Drahtseile als Schachtförderseile. Von Dr.-Ing. **Alfred Wyzomirski**. Mit 30 Textabbildungen. 1920.

2.40 Goldmark / 0.60 Dollar

Leitfaden für Gießereilaboratorien. Von Geh. Bergrat Professor Dr.-Ing. e. h. **Bernhard Osann** in Clausthal. Zweite, erweiterte Auflage. Mit 12 Abbildungen im Text. 1924.

2.70 Goldmark / 0.65 Dollar

Taschenbuch für den Fabrikbetrieb. Bearbeitet von zahlreichen Fachleuten. Herausgegeben von Professor **H. Dubbel**, Ingenieur, Berlin. Mit 933 Textfiguren und 8 Tafeln. 1923. Geb. 12 Goldmark / Geb. 3 Dollar