

HANSER



Leseprobe

zu

Sprengtechnik in der Praxis

von Rolf Schillinger

Print-ISBN: 978-3-446-47608-0

E-Book-ISBN: 978-3-446-47621-9

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446476080>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhalt

Vorwort	XIII
1 Geschichte der Sprengstoffe	1
2 Explosivstoffe für zivile Zwecke	3
2.1 Technische Terminologie	3
2.2 Definition von Sprengstoffen und Sprengzubehör	8
2.3 Eigenschaften von Sprengstoffen	9
2.4 Sicherheitstechnische Anforderungen an Sprengstoffe	9
2.5 Umsetzungsarten der Sprengstoffe	10
2.5.1 Abbrand von Sprengstoffen	10
2.5.2 Deflagration von Sprengstoffen	11
2.5.3 Detonation von Sprengstoffen	11
2.6 Einteilung der gewerblichen Sprengstoffe	12
2.7 Zulassung von gewerblichen Sprengstoffen	13
2.8 Umweltrelevanz von Sprengstoffen	14
2.8.1 Relevanz von Sprengrückständen	15
2.8.2 Einsatz von nichtexplosiven Expansionsmitteln	16
3 Typen von Sprengstoffen	17
3.1 Einteilung der gewerblichen Sprengstoffe	18
3.2 Pulversprengstoffe	18
3.3 Pulverförmige Sprengstoffe	19
3.4 Sprengöhlhaltige Sprengstoffe	19
3.5 Gelatinöse Sprengstoffe	19
3.6 Wasserhaltige Sprengstoffe	20
3.7 ANC-Sprengstoffe (ANFO)	20
3.8 Emulsionssprengstoffe	21

3.8.1	Aufbau von Emulsionssprengstoffen	22
3.8.2	Sensibilisierung	22
3.8.3	Mischungen von ANFO und Emulsion	22
3.8.4	Heavy ANFO	22
3.8.5	Pumpfähige Emulsion Blends (Mischungen)	23
3.8.6	Sprengstoffmatrix	23
4	Detonative Umsetzung von Sprengstoffen	25
4.1	Zermalmungszone	27
4.2	Risszone	27
4.3	Erschütterungszone	28
4.4	Gasphase	28
4.5	Sprengenergieübertragung	29
5	Gebirge und Sprengen	31
5.1	Gebirge und Gestein	31
5.1.1	Begriffe und Definitionen	32
5.1.2	Gebirgseigenschaften	34
5.2	Wirtschaftliche Bedeutung der Sprengarbeit	36
5.2.1	Aufgaben der Sprengarbeit	38
5.2.2	Beurteilung der Bohr- und Sprengarbeit	38
5.2.3	Bohrgenauigkeit	39
6	Zündmittel	43
6.1	Allgemeines zur Zündung	43
6.2	Elektrische Zündung	44
6.2.1	Einteilung der elektrischen Zünder	46
6.2.2	Elektrische Zeitzünder	46
6.2.3	Belastbarkeit vs. Funktionssicherheit von Sprengzündern	49
6.2.4	Einwirkung von Hochfrequenzenergien (Sender)	49
6.3	Nichtelektrische Zündung (nonel)	51
6.3.1	Nichtelektrische Zeitzünder	51
6.3.2	Einsatzbereiche	52
6.4	Elektronische Zündung	52
6.4.1	Zündgenauigkeit	53
6.4.2	Einsatzbereiche	53
6.5	Zündung mit Sicherheitsanzündschnur	54

6.6	Zündung mit Sprengschnur	55
6.6.1	Einsatzbereiche	57
6.6.2	Sprengschnurverbindungen	57
6.6.3	Sprengschnurabzweigungen	57
6.7	Zündmittelentwicklungen	58
7	Umweltaspekte bei der Sprengarbeit	61
7.1	Sprengerschütterungen	61
7.1.1	Erschütterungswellen	63
7.1.1.1	Körperwellen	65
7.1.1.2	Oberflächenwellen	66
7.1.2	Ausbreitung von Sprengerschütterungen	66
7.1.3	Stärke der Sprengerschütterungen	67
7.1.4	Erschütterungsüberwachung	69
7.1.4.1	Ermittlung von Schwinggeschwindigkeiten	69
7.1.4.2	Prognoseverfahren für Erschütterungen	70
7.1.4.3	Zuverlässigkeit von Erschütterungsprognosen	70
7.1.4.4	Empirische Erschütterungsprognosen	71
7.1.4.5	Ermittlung nach dem Erschütterungszahl- verfahren	72
7.1.4.6	Ermittlung nach dem Scaled-Distance-Verfahren (Skalierter Abstand)	72
7.1.5	Art der Einwirkung	73
7.1.5.1	Einwirkungen auf Gebäude	73
7.1.5.2	Einwirkungen auf den Menschen	74
7.1.5.3	Bauwerksbezogene Wahrnehmungsstärke	77
7.1.5.4	Ermittlung des <i>KB</i> -Werts	78
7.2	Messtechnische Ermittlung von Schwinggeschwindigkeiten	80
8	Schallemission	85
8.1	Schallintensität und Schalldruck in Dezibel	86
8.2	Schalleinwirkungen beim Sprengen	89
8.3	Definition von Brechung und Reflexion	90
8.3.1	Brechung	91
8.3.2	Reflexion	91
8.4	Luftschallausbreitung	92
8.4.1	Einwirkung auf den Menschen	94

8.4.2	Luftdruck	95
8.4.2.1	Methoden zur Kontrolle	96
8.4.2.2	Ermittlung des Luftdrucks bei Wind	96
8.4.2.3	Ermittlung der Lademengenbegrenzung	97
8.4.2.4	Luftschallkontrollen	102
9	Sprengen im Naturwerksteinbruch und Baubetrieb	105
9.1	Sprengverfahren	105
9.2	Einzelsternsprengungen	107
9.2.1	Werksteingewinnung	107
9.2.2	Kesselsprengungen	108
9.2.3	Lassensprengungen	108
9.2.4	Schnüren	108
9.2.5	Knäppersprengung (Freistein)	109
9.2.6	Auflegersprengung	110
9.3	Sprenganlagen im Baugewerbe	111
9.3.1	Strossensprengungen für Anschnitte	112
9.3.2	Spaltsprengungen (Pre-Splitting)	114
9.3.3	Grabensprengungen	117
9.3.4	Baugrubensprengung	120
10	Abbruch von Bauwerken und Bauwerksteilen	123
10.1	Sprengtechnischer Abbruch	123
10.1.1	Sprengen von Bauwerken und Bauwerksteilen	124
10.1.2	Erschütterungsschutz beim Sprengabbruch	125
10.1.3	Vorausgehende Situationsbeurteilung	126
10.1.4	Abschätzung der Erschütterungsausbreitung	127
10.1.5	Stoßbelastungen des Baugrunds	127
10.1.6	Trümmerabsturz, fallende Massen	128
10.1.7	Aufprallerschütterungen	130
10.2	Ermittlung der Sprengparameter	131
10.2.1	Vorgabe l_W	131
10.2.1.1	Linienhafte Bauteile	132
10.2.1.2	Flächenhafte Bauteile	132
10.2.2	Bohrlochreihenabstand a_R	133
10.2.3	Bohrlochlänge l_B	133
10.2.4	Lademenge L	133

10.2.5	Ladungsanordnungen	134
10.2.6	Fallrichtungssprengung	137
11	Sprengen in der Land- und Forstwirtschaft	143
11.1	Bodenlockerungssprengungen im Forst	143
11.2	Holzsprengungen	147
11.2.1	Bohrlochladungen	148
11.2.2	Kantholzsprengungen	149
11.2.3	Rundholzsprengungen	149
11.2.4	Spalten bereits gerodeter Baumstubben	150
11.2.5	Zerkleinerung von Baumstubben	151
11.2.6	Zerkleinerung von Windbruchstubben	152
12	Sondersprengverfahren	155
12.1	Stahlsprengungen	155
12.1.1	Schneidladungen	155
12.1.2	Hohlladungen	156
12.1.3	Drahtseile	157
12.1.4	Profilstahl	158
12.1.4.1	Doppel-T-Profilstahl	159
12.1.4.2	T-Profilstahl	159
12.1.4.3	L-Profilstahl	160
12.1.5	Stahlrohre	161
12.2	Unterwassersprengungen	164
12.3	Eissprengungen	167
13	Sprengen im Tagebau	173
13.1	Gewinnungssprengungen	173
13.1.1	Grad der Zerkleinerung	173
13.1.2	Korngrößenverteilung	174
13.1.3	Böschung	174
13.2	Prinzip des gebirgsschonenden Sprengens	176
13.3	Sprenganlagen für die Gewinnung	178
13.3.1	Festlegung von Bruchwandhöhe, Bohrlochabstand und Vorgabe	180
13.3.2	Großbohrlochsprengverfahren (Tiefbohrloch)	180
13.3.3	Bohrlochvermessung	181
13.3.4	Bruchwandhöhen	182

13.3.5	Abhängigkeit der Sprengparameter von der Umgebung	183
13.3.6	Spezifischer Sprengstoffverbrauch	184
13.3.7	Vorgabe und Seitenabstand	184
13.3.8	Bohrlochdurchmesser	185
13.3.9	Ausbruchsfläche und Massenvorgabe pro Bohrloch	185
13.3.10	Unterbohrung und Sohle	187
13.4	Grundlagen der Massenermittlung	188
13.5	Lademengen	193
13.5.1	Lademengen (Massenberechnung)	194
13.5.2	Berechnung für Reihensprengungen	196
13.5.3	Besatz (Verdämmung)	198
13.6	Gesteinszerkleinerung durch Stoßwelleneinfluss (Luftpuffer)	199
13.6.1	Stückigkeit bei konstantem Sprengstoffgewicht	203
13.6.2	Anwendung von Luftpuffern im Gewinnungsbetrieb	204
13.7	Einfluss der Zeitverzögerung	204
13.7.1	Festlegung der Zündfolge	206
13.7.2	Ort der Zündung	209
13.7.3	Zündung vom Bohrlochmund	210
13.7.4	Zündung im Bohrlochtieften	211
13.7.5	Redundante Zündung	212
13.7.6	Geteilte Ladesäule	213
14	Sprengen unter Tage	217
14.1	Abbau und Vortrieb	217
14.1.1	Bergmännischer Vortrieb, Tunnelbau	218
14.1.2	Bergmännische Abbauverfahren, unter Tage	218
14.1.3	Strossenabbau	219
14.1.4	Kammer-Pfeiler-Abbau	220
14.2	Sprengvortrieb	221
14.2.1	Vorgabe	222
14.2.2	Verspannung	222
14.3	Einbruch	223
14.3.1	Einbruchschüsse	223
14.3.2	Schrägeinbruch	224
14.3.2.1	Kegeleinbruch	224
14.3.2.2	Keileinbruch	226
14.3.2.3	Fächereinbruch	228

14.3.3	Paralleleinbruch	230
14.3.3.1	Brennereinbruch	230
14.3.3.2	Großbohrlocheinbruch	230
14.4	Sprengtechnische Parameter	233
14.4.1	Sprengstoff	234
14.4.2	Zündmittel	235
14.4.3	Abstimmung der Lademengen auf das Gebirge	236
14.4.4	Helferschüsse	237
14.4.5	Kranz-(Profil-)Schüsse	238
14.4.6	Abschlagtiefe	239
14.4.7	Abschlaglänge bei einer freien Ausbruchfläche	240
14.4.8	Bohrlochanzahl	241
14.4.9	Bohrlochdurchmesser	241
14.5	Sicherheitstechnische Aspekte	241
14.5.1	Besatz unter Tage	244
14.5.2	Zündfolge	245
14.5.3	Sprengschnüre	250
14.5.4	Laden vor Ende der Bohrarbeiten	250
14.6	Leitsprengbilder – Beispiele für unter Tage	251
15	Lagerung von Explosivstoffen	265
15.1	Grundsätzliches zur Lagerung von Sprengmitteln	265
15.2	Lagerort	267
15.3	Bauweise	267
15.4	Verträglichkeitsgruppen	268
15.5	Aufbewahrung gefährlicher Stoffe	269
15.6	Verantwortliche Personen	271
15.7	Schutz- und Sicherheitsabstände	272
15.8	Ausnahmeregelung	273
15.9	Begriffsbestimmungen für die Lagerung	276
15.10	Ausrichtung von Lagereingängen	278
16	Risikomanagement	281
16.1	Auswirkungs- und Sicherheitsanalyse	281
16.2	Abwehr von Gefahren	282
16.3	Sicherheitsbestimmungen	282
16.4	Einzuhaltende Regelwerke	283

16.5	Evaluierung (Gefährdungsanalyse)	283
16.6	Gefährdung und Belastung	284
16.7	Mit Sprengmitteln und Sprengarbeiten einhergehende Risiken	285
16.8	Gefährdungsbereich (Sprengbereich)	287
16.9	Gefährdung durch Steinflug	288
16.10	Vergrößerung bzw. Verkleinerung des Sprengbereichs	289
16.11	Reduzierung von Sprengemissionen	290
16.12	Leitgedanken	290
17	Berechnungsbeispiele	293
17.1	Gebräuchliche Verfahren der Erschütterungsprognose	293
17.1.1	Abstandslademengenberechnungen	293
17.1.2	Koch'sche Formel	294
17.1.3	Scaled-Distance-Verfahren	295
17.1.4	Erschütterungszahlverfahren	297
17.2	Erschütterungsprognose für unterschiedliche Gesteine	298
17.3	Sprengtechnische Parameter	305
17.4	Bauwerksbezogene Wahrnehmungsstärke KB	305
17.5	Sprengerschütterungen und sensible Maschinen	306
17.6	Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf erdverlegte Leitungen	309
	Formelverzeichnis	311
	Literaturverzeichnis	315
	Index	319

Vorwort

Die Sprengstoff verbrauchende Industrie stellte die Forderung nach der Verfügbarkeit „handhabungssicherer“ Sprengstoffe in den Vordergrund. Diese Sprengmittel sollten unter den üblicherweise rauen Bedingungen dazu beitragen, Unfälle bei der Verwendung zu verhindern. Die Anforderungen der Sprengstoff verbrauchenden Industrie veranlassten die Sprengstoff herstellende Industrie zur Produktion zunehmend „sichererer“ Sprengstoffe, deren Entwicklung, trotz weitreichender und grundlegender Erfolge, bis heute anhält.

Es ist festzustellen, dass die Fachleute verstärkt digitale, computergestützte Techniken in ihre Abläufe einbeziehen. Das ist ein großer Schritt in die richtige Richtung. Allumfassendes Vertrauen in diese Hilfsmittel zu legen und alle anderen Gegebenheiten zu vernachlässigen ist jedoch eine nicht unerhebliche Gefahr für alle sprengtechnischen Abläufe. Die Sprengtechnik bleibt mit wechselnden Gegebenheiten in der Natur und ständigen Veränderungen in ihren Abläufen verbunden. Letztere sind durch eine fundierte Ausbildung und langjährige Erfahrung beherrschbar geworden. Daher kann ein digitales System auch keine schnellen notwendigen Änderungen vor Ort vornehmen. Diese bleiben in der Verantwortung der Sprengverantwortlichen und ihrer Entscheidungen, verbunden mit allen daraus folgenden Konsequenzen.

Was kann aufgrund Jahrzehnte langer Erfahrung getan werden, um eine optimale Sprengtechnik, die den heutigen Anforderungen des Arbeits-, Anrainer- und Umweltschutzes in der vorhandenen Vielschichtigkeit entspricht, an die heutigen und künftigen Sprengberechtigten heranzutragen? Es ist vorstellbar, dass der Anteil des Planens und Ausführens beim Sprengen dort größer ist, wo durch eine gute Ausbildung eine fundierte Voraussetzung dafür gegeben ist. Dadurch können sehr gute Resultate in der Praxis erzielt werden. Dies zeigen andere Branchen. Dazu sei aber gleich gesagt, dass eine solche Vorgehensweise eine sehr feinfühligere Vorbereitung vonnöten hätte.

Die Rolle der Sprengberechtigten/Sprengbefugten

All die, die ins Sprengen eingebunden sind, machen schon seit Langem die Erfahrung, dass die Ausführung ihrer Tätigkeiten durch eine geringe gesellschaftliche Akzeptanz gekennzeichnet ist. Es ist eine unvermeidliche Eigenart dieser Tätigkeiten, dass Belästigungen und Gefahren mit ihnen verbunden sind. Dieser Herausforderung gerecht zu werden, fordert ein großes Maß an Selbstvertrauen, verbunden mit spontaner Entscheidungsfähigkeit, die nicht nur auf persönlicher Erfahrung, sondern auch auf einem breiten Wissen rund um das Sprengwesen beruht. Dazu gehört eine umfangreiche Kenntnis der Sicherheitsbestimmungen, die durch gesetzliche Vorschriften vorgegeben werden, die ständige Einbeziehung des besten Stands der Technik und nicht zuletzt die Qualifikation als Führungskraft mit entsprechendem Durchsetzungsvermögen am Sprengort. Letztere ist entscheidend für eine ordnungsgemäße Durchführung der Sprengung und den Sprengerfolg. Eine wichtige Voraussetzung hierfür sind die klare Kompetenzverteilung am Sprengort und das Bewusstsein für die große persönliche Verantwortung.

Die vorangehend aufgeführten Voraussetzungen führen letztendlich zu einem der Umstände, welcher die Sprengberechtigten/Sprengbefugten von anderen Berufsgruppen gravierend unterscheidet: Sie entscheiden als sogenannte verantwortliche Person alleine, mit den zur Verfügung stehenden persönlichen Kenntnissen, über Erfolg oder Misserfolg einer Sprengung. Und sie tragen letztendlich auch alleine die Verantwortung für den Ausgang der Sprengung. Hinzu kommt, dass die Sprengberechtigten/Sprengbefugten heutzutage vermehrt als Risikomanager im Spannungsfeld zwischen naturräumlichen und urbanen Gefahren, Raumordnung, Politik und auch privaten Interessen agieren müssen. Sie sind angehalten, in schwierigen Situationen Rede und Antwort zu komplexen Techniken zu stehen.

Zu diesen Herausforderungen zählen inhaltliche Aussagen und Interpretationen über Inhalte der Sprengtechnik, wie z. B. das Hinterfragen technischer Abläufe sowie das Aufzeigen der Relativität von Richtig und Falsch, des subjektiven Anteils und des objektiven Limits. Dabei besteht ein Problem: Wenn die Wissensvermittlung die heutigen Sprengberechtigten/Sprengbefugten ansprechen soll, dann ist wichtig, dass eine Art der Aufbereitung gewählt wird, die so viele wie möglich erreicht. Da die Masse des angesammelten Wissensstoffs massiv angewachsen ist und dies in den nächsten Jahren zu einem Problem für die Sprengberechtigten/Sprengbefugten werden könnte, wäre es richtig und auch an der Zeit, ein allgemeines Bekenntnis zur prinzipiellen Vielfältigkeit der Vermittlung des aktuell notwendigen Wissensstoffs zu erwägen.

Das ist ein schwieriges Unterfangen in einer Welt, die vom Krampf des kurzfristig Nützlichen gezeichnet ist und die eine beinahe manische Scheu davor hat, sich auf „Altes“ einzulassen und auf Althergebrachtes zu verweisen. Doch das, was einst

gelehrt und gelernt wurde, hat in vielen Bereichen der Sprengtechnik auch heute noch seine Gültigkeit. Nur wenn jüngste Erkenntnisse zeigen, dass Verfahren oder Methoden nicht mehr zeitgemäß sind und abgesicherte neue Methoden diese ablösen, ist es an der Zeit, einen Beitrag zum Neubau zu leisten. Auch wenn es nur ein kleines Haus ist, ist das besser, als einen bebaubaren Platz leer zu lassen. Die Ausführungen in diesem Buch basieren daher neben den allgemeinen, als gesichert geltenden Erkenntnissen, auch auf signifikanten, weitreichenden praktischen Erkenntnissen. Diese resultieren aus umfangreichen, langjährigen Tätigkeiten vor Ort, aber auch aus einer großen Anzahl von verschiedenartigen, nationalen und internationalen Gutachten und deren Schlussfolgerungen hinsichtlich einer sicheren über- und untertägigen Sprengarbeit. Das Buch soll dazu beitragen, dem Fachmann vor Ort diese Erkenntnisse zugänglich zu machen und ihn bei seiner täglichen Arbeit zu unterstützen.



Augsburg im Januar 2023

Rolf Schillinger

1

Geschichte der Sprengstoffe

Die Geschichte der Sprengstoffe lässt sich zwar sehr weit zurückverfolgen, doch der Anfang liegt nach wie vor im Dunkeln. Es kann als gesichert gelten, dass es Pyrotechnik bereits in der Bronzezeit, und zwar im kultischen Bereich, gab. Die Zusammensetzung der damals verwendeten Stoffe ist weitgehend unbekannt und wechselte im Laufe der Jahrhunderte mehrmals. Erst im Mittelalter wurden Explosivstoffe entwickelt, die zu Recht diesen Namen tragen. Aus dieser Zeit stammen auch die ersten Rezepturen für Schwarzpulver, das über Jahrhunderte hinweg der einzige Sprengstoff blieb. Das größte Anwendungsgebiet war dabei der militärische Bereich.

Erst im 17. Jahrhundert setzte die Verwendung des Schwarzpulvers für gewerbliche Zwecke ein. Doch noch mehr als zwei Jahrhunderte mussten bis zur Entdeckung des Dynamits und der anderen heute bekannten Sprengstoffe mit ihren sicherheitstechnischen Anforderungen vergehen. Von da an standen zivile Sprengstoffe für Sprengarbeiten zur Verfügung, die um ein Vielfaches handhabungssicherer waren als das Schwarzpulver. Der berechtigte Wunsch nach immer größerer Handhabungssicherheit bestimmte in den Folgejahren die weltweiten Entwicklungen der Sprengstoffe und Zündmittel. Diese Bemühungen werden bis heute fortgesetzt und stehen zweifelsohne noch nicht an ihrem Ende.

Entwicklung ziviler Sprengstoffe

Nachfolgend sind die wichtigsten Entwicklungsstufen der Sprengstoffe dargestellt.

- 1190 v. Chr. Troja verwendet Brandmittel gegen die griechische Flotte.
- 141 - 87 v. Chr. Erfindung des Schwarzpulvers durch Kaiser Wu Ti
- 668 n. Chr. Griechisches Feuer in Byzanz: Mischung aus Naphtha, Schwefel, Pech und Ätzkalk
- 1300 - 1320 Roger Bacon (England) und Berthold Schwarz (Deutschland): Schwarzpulver aus 6 Teilen Salpeter, 5 Teilen Schwefel und 5 Teilen Holzkohle

- 08.02.1627 Erster nachweisbarer Sprengschuss unter Tage im Oberbieber-Stollen von Schemnitz (SK) durch den Tiroler Bergmann Caspar Weindl
- 1799 Edward Howard (England): Knallquecksilber $\text{Hg}(\text{CNO})_2$
- 1831 William Bickford: Sicherheitszündschnur
- 1833 Geburtsjahr von Alfred Nobel
- 1845 Christian Friedrich Schönbein: Nitrocellulose
- 1847 Ascanio Sobrero: Nitroglycerin
Durchmischung mit Luft durch sogenannte „Hotspots“
plötzliche Zersetzung wegen mangelnder Reinheit
Die „innere Reibung“ bei gefrorenem Nitroglycerin erfordert eine sprengkräftige Zündung.
- 1863 Julius Wilbrand: TNT
- 1863 Initialzündung
- 1866 Gur-Dynamit (25 % Kieselgur, 75 % Nitroglycerin)
in Kieselgur aufgesaugtes Nitroglycerin, das zylindrisch geformt und in Papier gewickelt ist
Nachteile: wasserlöslich, geringere Sprengkraft als Nitroglycerin
- 1867 Ohlsson betrieb großen Aufwand zur sicheren Herstellung von Nitroglycerin.
- 1875 Sprenggelatine
besitzt eine sehr hohe Energiedichte
Verringerung der Energiedichte durch Streckung mit KNO_3 , Sägemehl und Kohlestaub (dadurch handhabungssicher)
verbesserte schiebende Wirkung durch Ersatz von KNO_3 durch NH_4NO_3
- 1887 Rauchschwaches Pulver (Ballistit)
- 1897 Chloratsprengstoffe
- 1898 Hexogen
- ca. 1950 H. Lee, R. Akre: ANFO-Sprengstoffe (Akremites)
- 1956 M. A. Cook, H. E. Farnam Jr.: erster Slurry
- ca. 1963 Versuche mit TNT-Slurry und Site-mixed-Slurries
- ca. 1981 Site-mixed-Emulsionen mit MPF (Siliconharzemulsion, welche methyl-phenyl-Gruppen enthält)
- ca. 1985 Patronierte Emulsionssprengstoffe

2

Explosivstoffe für zivile Zwecke

Der Bereich der Explosivstoffe ist sehr breit gefächert. Er umfasst Sprengstoffe, Zündmittel und pyrotechnische Sätze, aber auch Gegenstände mit Explosivstoff, wie Zünd- und Anzündmittel, und pyrotechnische Gegenstände. Allgemeiner formuliert handelt es sich bei Explosivstoffen um Stoffe und Gegenstände, die nach der Richtlinie 93/15/EWG als solche betrachtet werden oder diesen in Zusammensetzung und Wirkung ähnlich sind. Pyrotechnische Gegenstände werden zwar erfasst, sind aber nicht Teil der vorangehend genannten Definition.

Dieses Kapitel behandelt die Untergruppe der Sprengstoffe. Für den Umgang und Verkehr mit Sprengstoffen müssen Betreiber von Spreng- und Gewinnungsbetrieben die Verbringung, die Lagerung und den Umgang mit Sprengmitteln regeln. Sie müssen auch den Verantwortungsbereich, die Anforderungen an die beschäftigten Personen, die sicherheitstechnischen Anforderungen für den Arbeitnehmer- und Anrainerschutz sowie den Ablauf von Sprengungen klären. Für die Sprengarbeiten werden ausschließlich handhabungssichere, zugelassene Sprengmittel verwendet. Damit wird sichergestellt, dass eine Sprenganlage ausschließlich gezielt zu einem gewissen Zeitpunkt von einer bestimmten Person (also kontrolliert) initiiert wird und ein selbstständiges Auslösen der Sprengung auszuschließen ist. Im Zuge dessen hat sich eine einheitliche Terminologie entwickelt, auf die in Abschnitt 2.1 näher eingegangen wird.

■ 2.1 Technische Terminologie

In den europäischen Normen und Richtlinien, die im Bereich der Explosivstoffe für zivile Zwecke entwickelt wurden, ist die technische Terminologie festgelegt, die in Europa verwendet wird [50]. Zu den relevanten Dokumenten gehören sowohl die EN 13857-1:2003, die Teil einer Normenreihe zu Explosivstoffen für zivile Zwecke ist, als auch die Richtlinie 2014/28/EU. Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der EU-Mitgliedsländer angehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen [53].

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die folgenden Begriffe:

- *Abriebfestigkeit*: Fähigkeit der Isolation von Zünderdrähten oder der Beschichtung von Sprengschnur oder von Shock Tubes (Zündschläuchen) einer Dickenreduktion, hervorgerufen durch örtliche Reibung
- *Empfängerladung*: Explosivstoffladung, die eine Anregung durch eine andere Ladung erhält
- *Sekundärladung*: Explosivstoffmasse, die im unteren Teil des Zünders enthalten und dazu vorgesehen ist, die Hauptenergie zu liefern

Anmerkung: Eine Sekundärladung besteht üblicherweise aus Sekundärsprengstoff, wie z. B. Pentaerythryltetranitrat (PETN).

- *Schwarzpulver*: pyrotechnische Mischung aus Natriumnitrat oder Kaliumnitrat mit Holzkohle oder anderem Kohlenstoff, mit oder ohne Schwefel
- *Sprengzubehör*: nichtexplosive Gegenstände, die beim Sprengen verwendet werden

Anmerkung: Beispiele für Sprengzubehör sind Zündmaschinen, Zündkreisprüfgeräte und Zündleitungen.

- *Verstärkungsladung (Booster)*: explosive Vorrichtung, die als Geberladung verwendet wird, um die Energie, die auf eine Empfängerladung einwirkt, zu verstärken
- *Glühbrücke*: Widerstandsdraht, der die Zünderdrähte innerhalb eines elektrischen Zünders oder einer elektroexplosiven Einrichtung verbindet
- *loser Sprengstoff*: unpatronierter Sprengstoff, der durch Einrieseln (unter Schwerkraft), durch Pumpen oder pneumatisch geladen werden kann
- *Brenndauer*: Zeit, in der ein Stück Sicherheitsanzündschnur definierter Länge durchbrennt, in Sekunden
- *patronierter Sprengstoff*: Sprengstoff, der in einer Umhüllung (üblicherweise zylindrisch) aus Papier, Pappe, Kunststoff oder anderem Material enthalten ist und der in dieser Form verwendet wird
- *Anwürgung*: durch Anpressen hergestellter Verschluss am Ende einer Sprengkapsel, um eine Sicherheitsanzündschnur in ihrer Lage zu fixieren oder um einen Abschluss für ein Shock Tube (Zündschlauch) oder die Zuleitungsdrähte eines elektrischen Zünders herzustellen
- *Zersetzung*: chemische Reaktion eines Stoffes, die keine Detonation ist und die zu einer wesentlichen Änderung der Eigenschaften führt
- *Deflagration*: Verbrennungsreaktion eines Stoffes mit Unterschallgeschwindigkeit im reagierenden Stoff
- *Verzögerungselement*: derjenige Teil eines Verzögerungszünders, der für eine zeitliche Verzögerung zwischen der Auslösung des Zünders und der Detonation der Sekundärladung sorgt

- *Verzögerungsintervall*: Differenz der Zeiten benachbarter Zünder innerhalb einer Serie von Verzögerungszündern
- *Zeitstufe*: einem Verzögerungszünder zugeordnete Nummer, um seine relative Position in einer Serie von Verzögerungszündern anzugeben
- *Verzögerungszeit*: verstrichene Zeit zwischen der Auslösung und der Detonation eines Verzögerungszünder
- *Sprengschnur*: Gegenstand mit einer Seele aus detonierendem Sprengstoff (üblicherweise PETN), die von einer äußeren flexiblen Umhüllung oder einem weichen Metallrohr umgeben ist

Anmerkung: Die Sprengstoffladung kann zwischen 0,1 g/m und 200 g/m variieren.

- *Detonation*: Reaktion, die sich mit Überschallgeschwindigkeit im reagierenden Material bewegt
- *Detonationsgeschwindigkeit*: Geschwindigkeit, mit der die Detonation durch die Sprengstoffsäule oder -ladung fortschreitet (in Meter je Sekunde)
- *Zünder*: Gegenstand, der aus einer kleinen Metall- oder Kunststoffhülse besteht und der eine Ladung aus Primärsprengstoff z. B. Bleiazid und eine Ladung aus Sekundärsprengstoff z. B. aus PETN oder andere Sprengstoffkombinationen enthält, die üblicherweise eine Masse von 2 g nicht überschreiten
- *Zeitzünder*: ein Zünder, in dem eine Zeitverzögerung zwischen der Auslösung und der Detonation enthalten ist

Anmerkung: Zeitzünder können elektronische, elektrische oder nichtelektrische Zünder sein.

- *elektrischer Zünder*: ein Zünder, der durch einen elektrischen Strom ausgelöst wird

Anmerkung: Eingeschlossen sind durch Gleichstrom und durch Wechselstrom (magnetisch gekoppelt) aktivierte Systeme.

- *elektronischer Zünder*: ein Zünder, bei dem die Zeitverzögerung durch einen elektrisch oder nichtelektrisch aktivierten elektronischen Chip bewirkt wird
- *Zünder ohne Verzögerungselement*: verzögerungsfreier Zünder
- *nichtelektrischer Zünder*: ein Zünder, der durch die Wirkung eines Shock Tubes (Zündschlauchs) oder eine andere nichtelektrische Art als primärer Auslösung initiiert wird
- *Sprengkapsel*: Momentzünder, der ohne Auslöseeinrichtung geliefert wird

Anmerkung: Sprengkapseln werden üblicherweise durch eine Sprengschnur, eine Sicherheitsanzündschnur, einen pyrotechnischen Anzünder oder einen Zündschlauch ausgelöst.

- *Geberladung*: Explosivstoffladung, die eine Wirkung auf eine andere Ladung ausübt
- *Explosion*: plötzliche Freisetzung von Energie unter Ausbildung einer Sprengwirkung mit möglichem Splitterwurf
Anmerkung: Sie umfasst die schnelle Verbrennung, die Deflagration und die Detonation.
- *Explosivstoff*: fester oder flüssiger Stoff bzw. festes oder flüssiges Stoffgemisch, der oder das durch chemische Reaktion ohne Beteiligung weiterer Stoffe in der Lage ist, eine Explosion zu erzeugen
- *extreme Bedingungen*: Bedingungen bei hoher oder niedriger Temperatur und/oder Druck und/oder Feuchtigkeit außerhalb der Anwendbarkeit der Prüfverfahren
- *Zündstrom*: konstanter elektrischer Gleichstrom, der zur zuverlässigen Auslösung eines elektrischen Zünders benötigt wird (in Ampere, A)
- *Serienzündstrom*: niedrigster konstanter Gleichstrom, der alle in Serie verbundenen Zünder einer Zündserie zuverlässig zur Auslösung bringt
- *Zündimpuls*: elektrische Energie dividiert durch den elektrischen Widerstand, die einen elektrischen Zünder oder eine elektroexplosive Einrichtung auslöst (in Millijoule je Ohm, mJ/Ω)
- *Zündzeit*: Ansprechzeit; Zeitspanne zwischen der Zuführung des Zündstroms und der Detonation eines Zünders ohne angegebene Verzögerungszeit
- *Überschlagsspannung*: minimale Gleichspannung, die einen elektrischen Überschlag zwischen dem Zuleitungssystem und der Metallhülse eines Zünders bewirkt
- *Gap-Test*: Prüfung zur Bestimmung des größten Abstands, über den hinweg eine Geberladung in der Lage ist, eine Empfängerladung zu zünden
- *Sprengstoff*: Stoff oder Stoffmischung, der oder die zu einer schnellen inneren Zersetzungsreaktion fähig ist, die im Falle der üblichen Verwendung zu einer Detonation führt
- *Zündfähigkeit*: Fähigkeit eines explosiven Stoffes oder Gegenstands, eine Detonation unter definierten Bedingungen auf einen anderen Stoff oder Gegenstand zu übertragen
- *angegebenes Verzögerungsintervall*: Differenz der festgelegten Verzögerungszeiten zwischen benachbarten Zeitstufen in einer Serie von Verzögerungszündern
- *angegebene Verzögerungszeit*: die vom Hersteller für einen speziellen Zünder einer Serie von Verzögerungszündern festgelegte Zeit mit der Überschneidungswahrscheinlichkeit als statistische Wahrscheinlichkeit, dass ein Verzögerungs-

zünder gegebener Zeitstufe in einer Verzögerungsreihe außer der Reihe detonieren wird

- *Initialsprengstoff*: explosiver Stoff, der gegen Funken, Reibung, Schlag oder Flamme empfindlich ist und ohne Einschuss gezündet werden kann

Anmerkung: Er wird üblicherweise in einem Zünder zur Initiierung der Sekundär- oder Basisladung verwendet.

- *Durchdetonation*: Fähigkeit zur Aufrechterhaltung einer Detonationsfront durch die gesamte Explosivstoffmasse
- *Treibladungspulver (Treibmittel)*: deflagrierender Explosivstoff, der zum Treiben von Projektilen oder zur Reduzierung der Rückhaltekraft von Projektilen dient

Anmerkung: Treibladungspulver können auch als Bestandteil von Gasgeneratoren oder anderen Gegenständen verwendet werden.

- *Anwendungsbereich des Prüfverfahrens*: Bedingungen, wie z.B. Temperatur oder Druck, bei denen das Prüfverfahren ohne wesentliche Änderung der Prüfeinrichtung und der Durchführung, wie sie in der jeweiligen Norm beschrieben ist, ausgeführt werden kann
- *Gültigkeitsbereich der Prüfergebnisse*: die oberen und unteren Grenzwerte der Parameter, z. B. Temperatur oder Druck, zwischen denen die erhaltenen Ergebnisse als anwendbar angenommen werden; sie unterliegen im Umgebungs- oder im Prüfverfahren festgelegten Bedingungen
- *Sprengschnurverzögerer*: Gegenstände, die aus kleinen Metallröhren mit einer Ladung eines pyrotechnischen Verzögerungssatzes und aus Explosivstoffen bestehen und verwendet werden, um Sprengschnurstücke zu verbinden und mit einer definierten Verzögerung der Detonationsweiterleitung der Sprengschnur zu versehen
- *Sicherheitsanzündschnur*: Gegenstand, der aus einer Seele fein gekörnten Schwarzpulvers besteht, die von einer flexiblen Umspinnung und einer oder mehreren Schutzumhüllungen umgeben ist

Anmerkung: Eine Sicherheitsanzündschnur brennt nach Anzündung mit vorgegebener Geschwindigkeit ohne äußere explosive Wirkung ab.

- *Sensibilisierer*: Stoff, der die Zündempfindlichkeit erhöht
- *Empfindlichkeit*: Empfindlichkeit eines Explosivstoffs gegenüber äußerer Beanspruchung wie Schlag, Flammen, Reibung oder gegenüber Temperatur-, Druck- oder Feuchtigkeitsbedingungen, die zu einer Reaktion oder zu einer Beeinträchtigung der Funktionsweise führen
- *Verwendungszeitraum*: Zeitabschnitt, in dem ein Explosivstoff oder eine Einrichtung unter speziellen Bedingungen vor der Verwendung oder Vernichtung

gelagert oder bereitgehalten werden kann, ohne unsicher zu werden oder die speziellen Eigenschaftskriterien zu verlieren

- *Zündschlauch (Shock Tube)*: Schlauch, der üblicherweise auf der inneren Wandoberfläche einen Belag aus einem Explosivstoff enthält und der in der Lage ist, nach Auslösung eine Stoßwelle mit konstanter Geschwindigkeit ohne äußere explosive Wirkung von einem Ende des Schlauches zum anderen zu übertragen

Anmerkung: Ein Zündschlauch wird üblicherweise als Bestandteil von Zündeinrichtungen verwendet.

- *Oberflächenverbinder*: Vorrichtung, die eine explosive Ladung mit oder ohne Zeitverzögerung enthält und die bei einer Sprengung an der Oberfläche verwendet wird, um ein Signal oder eine Stoßwelle von einer Zündeinheit an eine andere oder von einer Zündeinheit auf einen Zündschlauch zu übertragen
- *Nachweisplatte*: Platte, üblicherweise aus Metall (Blei, Stahl oder Aluminium), die verwendet wird, um das Auftreten einer Detonation oder aus einer Explosion stammender Splitter oder Wurfstücke anzuzeigen

■ 2.2 Definition von Sprengstoffen und Sprengzubehör

Sprengstoffe sind gemäß DIN EN 13857-1 Stoffe oder Stoffmischungen, die zu einer schnellen inneren Zersetzungsreaktion fähig sind, welche im Falle der üblichen Verwendung zu einer Detonation führt. Daneben gilt die Definition, dass Sprengstoffe Erzeugnisse sind, die bei willkürlich auslösbaren chemischen Zustandsänderungen Energie derart freierwerden lassen, dass feste Körper gesprengt werden können [53].

Zum Sprengzubehör zählen Gegenstände und Geräte, die neben dem Sprengstoff für eine Sprengung erforderlich sind, wie z.B. Zündleitungen, Zündmaschinen, Zündmaschinenprüfgeräte, Zündgeräte, Zündkreisprüfer, Verlängerungsdrähte, Isolierhülsen, Ladegeräte und Mischladegeräte.

■ 2.3 Eigenschaften von Sprengstoffen

Sprengstoffe sind leicht brennbare Kohlenstoffverbindungen mit Sauerstoffträgern, die bei Zündung (erzeugt durch eine explosive Initiierung) schlagartig verbrennen. Sprengstoffe entwickeln bei Detonation einerseits eine scherende Deformationsleistung und andererseits ein großes Gasvolumen. Der Detonationsstoß (thermodynamisch) breitet sich dabei mit bis zu 8000 m/s im Gebirge aus. Bei Entwicklung des Gasvolumens (Sprengschwaden) werden Gasdrücke von ungefähr 104 bar erreicht, bei einer Einwirkzeit von 10^{-4} s bis 10^{-1} s. Durch die scherende Wirkung wird das Gebirge in unmittelbarer Nähe des detonierenden Sprengstoffs zermalmt. In weiterer Entfernung wird das Gebirge aufgerissen, der Gasdruck dringt in die Rissbildung ein und zerkleinert das Gebirge. Die dabei entstehende Expansion erzeugt die Sprengwirkung.

■ 2.4 Sicherheitstechnische Anforderungen an Sprengstoffe

Die sicherheitstechnischen Anforderungen richten sich nach der Betriebssicherheit von Explosivstoffen. Hierzu sind insbesondere grundlegende Voraussetzungen zu erfüllen, welche auch von den behördlich benannten „Notified Bodies“ (Prüfungsstellen für Sprengmittel) als zulässig erklärt werden:

- das kleinstmögliche Risiko für das Leben und die Gesundheit von Personen sowie für die Unversehrtheit von Sachgütern und für die Umwelt
- das höchstmögliche Maß an Sicherheit und Zuverlässigkeit
- umweltverträgliche Entsorgbarkeit
- physikalische und chemische Stabilität des Explosivstoffs
- Empfindlichkeit gegenüber Schlag und Reibung
- chemische Reinheit der Explosivstoffe
- Schutz der Explosivstoffe gegen das Einwirken von Wasser
- Widerstandsfähigkeit bezüglich nachteiliger Veränderungen bis zum spätesten Verwendungsdatum
- Widerstandsfähigkeit gegenüber niedrigen und hohen Temperaturen
- Eignung des Explosivstoffs für die jeweilige Verwendung (beispielsweise Schlagwetter führende Bergwerke, heiße Massen usw.)
- Sicherheit gegen frühzeitige oder unbeabsichtigte Zündung oder Anzündung

- richtiges Laden und einwandfreies Funktionieren der Explosivstoffe bei bestimmungsgemäßer Verwendung
- geeignete Anleitungen und Kennzeichnungen in Bezug auf sicheren Umgang und sichere Lagerung, Verwendung und Beseitigung in der oder den Amtssprachen des Empfängerstaates
- Angabe aller Geräte und allen Zubehörs, die für eine zuverlässige und sichere Funktion der Explosivstoffe notwendig sind

■ 2.5 Umsetzungsarten der Sprengstoffe

Die Sprengstoffe können sich je nach Zusammensetzung und der Art der übrigen Rahmenbedingungen auf unterschiedliche Weise chemisch umsetzen. Als Umsetzungsarten der Sprengstoffe stehen insbesondere der Abbrand, die Deflagration und die Detonation im Vordergrund der Betrachtungen. Sie unterscheiden sich, abgesehen von dem völlig unterschiedlichen Chemismus, in den Umsetzungsgeschwindigkeiten und ihren Wirkungen auf die Umgebung.

In den folgenden Abschnitten werden die Charakteristika der Reaktionen (unter anderem nach der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, BAM), soweit dies im Rahmen der vorliegenden Ausarbeitung zum besseren Verständnis erforderlich ist, näher beschrieben.

2.5.1 Abbrand von Sprengstoffen

Der Abbrand der Sprengstoffe ähnelt, trotz des in ihnen enthaltenen reaktionsfähigen Sauerstoffs, grundsätzlich der Verbrennung entzündlicher Stoffe. Da der Abbrand der Mitwirkung zusätzlichen Luftsauerstoffs bedarf, handelt es sich bei ihm nicht um eine explosive Reaktion der Sprengstoffe. Explosive Umsetzungen sind nämlich dadurch gekennzeichnet, dass sie ohne Beteiligung anderer Stoffe ablaufen.

Die Gefährdung der Umgebung durch einen Sprengstoff-Abbrand besteht zum einen in der direkten Flammenwirkung und zum anderen in der vom Abbrand ausgehenden Wärmestrahlung. Letztere gehorcht in ihren Abhängigkeiten den allgemeinen Gesetzen der thermischen Strahlung. Die Größe der reagierenden Oberfläche ist normalerweise nicht bekannt, wobei diese je nach ihrer Beschaffenheit unter Umständen um Größenordnungen schwanken kann. Die besondere Gefährlichkeit des Abbrandes von Sprengstoffen für die Umgebung besteht daher nicht so sehr in seiner unmittelbaren, d. h. thermischen Wirkung, sondern vielmehr in der

Möglichkeit, unter ungünstigen Umgebungsbedingungen, wie verminderte Wärmeabfuhr oder fester Einschluss, in eine Deflagration oder gar Detonation überzugehen.

2.5.2 Deflagration von Sprengstoffen

Die Deflagration ist eine explosive Reaktion von Sprengstoffen, bei der die Beteiligung von Luftsauerstoff ausgeschlossen ist. Die ungerichtete Reaktion pflanzt sich durch den Sprengstoff mit nicht konstanter Geschwindigkeit in einer oder mehreren breiten Flammenzonen fort. Zur Aufrechterhaltung der Reaktion ist der Wärmeübergang von der Reaktionszone in den Sprengstoff Voraussetzung. Die Umsetzungsgeschwindigkeit kann dabei beträchtliche Werte annehmen, ist aber stets kleiner als die Schallausbreitungsgeschwindigkeit im Sprengstoff. Die Werte für die Deflagrationsgeschwindigkeiten liegen für die verschiedenen Sprengstoffe zwischen 0,1 und 1000 m/s.

Die Heftigkeit der Deflagrationen bzw. der Umsetzung von Sprengstoffen hängt in entscheidender Weise von den Umgebungsbedingungen ab. So bewirken eine hohe Umgebungstemperatur und ein hoher Umgebungsdruck eine beträchtliche Zunahme der Deflagrationsgeschwindigkeit. Da aber die Umsetzung der Sprengstoffe in einer Deflagration nicht vollständig verläuft, ist ihre Wirkung geringer als die einer Detonation. Die Umgebung ist bei einer Deflagration der Sprengstoffe im Wesentlichen durch Flammen und Wärmestrahlung, aber auch in geringem Maße durch den Druck der expandierenden Gase gefährdet. Druckstoßwellen geringer Stärke treten allerdings nur im Falle plötzlicher Druckentlastung des Einschlusses auf. Die besondere Gefährlichkeit der Deflagration besteht jedoch in der Hauptsache darin, dass sie relativ leicht und unvermittelt in eine Detonation übergehen kann.

2.5.3 Detonation von Sprengstoffen

Die Detonation der Sprengstoffe ist deren vollständige Umsetzung in einer explosiven Reaktion, die stets mit Überschallgeschwindigkeit unter Freisetzung sehr großer Energiemengen in extrem kurzen Zeiträumen abläuft. Der Ablauf der Detonation wird durch die Strömungsgesetze der Verdichtungsstöße im Überschallbereich bestimmt. Die Energie in der Detonationszone ist durch diejenige Energie, die durch die Verdichtungsstöße aufgebracht wird, gegenüber der Energie, die aus der chemischen Umsetzung stammt, vergrößert. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Reaktionszone der Sprengstoffe wird als Detonationsgeschwindigkeit bezeichnet. Sie ist in jedem Falle größer als 1000 m/s und eine für jeden Spreng-

stoff charakteristische Kenngröße. Sie ist praktisch nur von der Dichte des Sprengstoffes in der Weise abhängig, dass sie mit zunehmender Dichte größer wird.

■ 2.6 Einteilung der gewerblichen Sprengstoffe

Die maßgebliche Beurteilung der Sprengstoffe im Sinne der Sprengstoff-Lagerung ist ausnahmslos der Lagergruppe 1.1. bis 1.4 zuzuordnen. Den weitaus größten Teil der Sprengstoffmischungen nehmen die gewerblichen Sprengstoffe ein. Sie finden bei Gewinnungssprengungen im Bergbau und in der Steine- und Erdenindustrie, im Baubereich und bei Bauwerksprengungen, beim Tunnelbau, bei der Herstellung oberirdischer Hohlräume, bei Sprengungen in heißen Massen sowie bei Eis- und Lawinsprengungen Verwendung. Gesteinsprengstoffe sind alle gewerblichen Sprengstoffmischungen, die den hohen Anforderungen an Wetterprengstoffe nicht zu genügen brauchen. Die Gesteinsprengstoffe werden in Pulversprengstoffe und Nitratsprengstoffe eingeteilt.

Die gewerblichen Sprengstoffe kommen entweder in patronierter Form oder aber in sogenannter loser Form in den Handel. Unter Sprengstoffpatronen werden zylindrisch geformte, in Papier- oder Kunststoffhüllen abgepackte Sprengstoffe unterschiedlichen Durchmessers und unterschiedlicher Länge verstanden. Die Formstabilität der Patronen ergibt sich entweder aus der Konsistenz der Sprengstoffe selbst oder aus der Gestalt und Festigkeit der Umhüllung. Die in Tabelle 2.1 genannten Beispiele stellen eine willkürliche Auswahl verschiedener Handelsprodukte dar.

Tabelle 2.1 Beispiele für Sprengstoffmischungen

Sprengstofftyp	Beispiel
Gewerbliche Sprengstoffmischungen	
<i>Gesteinsprengstoffe:</i>	
Pulversprengstoffe	Schwarzpulver, Sprengpulver
<i>Nitratsprengstoffe:</i>	
gelatinöse Sprengstoffe	Eurodyne, Gelatine-Dynamite, Nobelite, Austrogele, Rowodyn, Riodyn usw.
pulverförmige Sprengstoffe	Donarite (sprengöhlaltig)
	Andexe, Ammonite (sprengölfrei, TNT-haltig)
	Ammonexe (sprengölfrei, TNT-frei, AN kristallin)
	Wandex, Austinite, Rioxam (sprengölfrei, TNT-frei, AN in Prillform)

Index

A

Abbau 180
Abbauverfahren 217
Abbrand 10
Abschlaglänge IA 222, 240
Abstandslademengenberechnung 294
Abwehr von Gefahren 281
Air Decks 200
Ammoniumnitrat 20
ANC-Sprengstoffe 20
ANFO-Sprengstoffe 20
Anhaltswert AO 81
Anrainerschutz 282
Arbeitnehmerschutz 282
Auflegersprengungen 110
Aufreißen von Fels 106
Aufsichtspersonen 271
Ausblasebauart 272
Ausbruchsfläche 185
Auslösewerte 94
Ausrichtung von Lagereingängen 278

B

BAM 10
Baugewerbe 111
Baugrubensprengungen 120
Bauteilstärke 133
Bauwerke 123
Bauwerksteile 123
Belastung 284
Besatz 198
Bodenaufbau 146

Bodenlockerungssprengungen 143
Bohrgenauigkeit 39
Bohrklein 199
Bohrlochachse 133
Bohrlochdurchmesser 185, 241
Bohrlochladung 149
Bohrlochmund 210
Bohrlochtiefstes 184, 210
Böschung 175
Brechung 91
Brennereinbruch 230
Bruchwandvermessung 181
Bündel 249
Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung (BAM) 10

C

Chemical Gassing 22

D

Deflagration 11
Detonation 11
Detonationsdruck 25
Detonationsfront 26
Detonationsgeschwindigkeit 61
Detonationsimpuls 44
Doppel-T-Profilstahl 159
Drahtseile 157
Druckentlastung 272
Druckentlastungsöffnungen 268
Druckfestigkeit, Gesteine 33

Druckluftschleier 166
 Druckwellen 95
 Druckwellenfront 26

E

Einbruch 223
 Einreihensprenganlagen 178
 Einzelschüsse 107
 Einzelsprengungen 107
 Eissprengungen 167
 Eisstauungen 167
 elektrische Zündung 44
 elektronische Zündung 52
 elektrostatische Entladung 50
 Emissionen 290
 Emulsionssprengstoffe 21
 Erdeindeckungen 268
 Erdwälle 268
 Erschütterungen 61
 – Anhaltswerte 125
 – Art der Einwirkung 73
 – Prognoseverfahren 70
 – Prognosewerte 69
 – Wahrnehmungsschwellen 75
 Erschütterungsmessung
 – Freifeld 71
 Erschütterungsprognosen 298
 – Verfahren 294 f.
 Erschütterungszahl 72
 Erschütterungszahlverfahren 297
 Erschütterungszone 28
 Evaluierung 282
 Expansionsmittel 16
 Explosionsort 266
 Explosivstoffe 3, 269
 – Aufbewahrung 269
 – Aufsichtspersonen 271
 – Harmonisierung der Bestimmungen 283
 – Packstücke 270
 – Schadensausmaß 266
 – Schadensrisiko 266
 – Schadenswirkungen 266
 – Schädigungspotenzial 265

– Stoffgruppen 265
 – Verträglichkeitsgruppen 270
 – Verwechslungsgefahr 269
 – Widerstandsfähigkeit 266
 – Wirkungsart 265

F

Fächereinbruch 224
 Fächersprenganlagen 179
 Faktor k 72
 Fallbett 127
 Fallenergien 128
 Fallrichtungen 137
 Festgebirge 33
 Festgestein 32
 flächenhafte Bauteile 132
 Forstwirtschaft 143
 Fotogrammetrie 187
 Fühlbarkeitsschwelle 94

G

Gasphase 28
 geballte Ladung 134
 Gebirge 31
 Gebirgsklassifizierung 34
 gebirgsschonende Sprengungen 176 f.
 Gebirgsverhältnisse 35
 Gefährdung 284
 Gefährdungsanalyse 282
 Gefahrenverhütung 284
 gefährliche Stoffe
 – Aufbewahrung 269
 – Aufsichtspersonen 271
 – Packstücke 270
 – Schadensausmaß 266
 – Schadensrisiko 266
 – Schadenswirkungen 266
 – Schädigungspotenzial 265
 – Stoffgruppen 265
 – Verträglichkeitsgruppen 270
 – Verwechslungsgefahr 269
 – Widerstandsfähigkeit 266
 – Wirkungsart 265

Gefüge 33
Gegenstände mit Explosivstoff 269
– Verträglichkeitsgruppen 270
gelatinöse Sprengstoffe 19
Geophone, Aufstellungsort 69
Gestein 31
Gesteine, physikalische Parameter 33
– Druckfestigkeit 33
– Porösität 33
Gesteinsprengstoffe 12
gestreckte Ladung 134
gewerbliche Sprengstoffe 12, 18
Gewinnungssprengungen 173
Gewinnungszyklen 221
Grabenbildung 187
Grabensprengungen 118
Grad der Zerkleinerung 173
Großbohrlocheinbruch 230
Großbohrlochsprengungen 180
Gur-Dynamit 2

H

Handgefällemesser 187
Heavy ANFO-Sprengstoffe 22
Helferbohrlöcher 236
Hohlladung 156
Holzsprengungen 147
Homogenbereiche 31

I

Immissionen 290
Impedanz 26
inhomogener Aufbau, Gebirge 35
Initialsprengstoffe 17
Initialstoß 44

K

Kalottenvortrieb 219
Kammern 220
Kantholzprengungen 149
KB-Wert 80
– Filter 78

Kegeleinbruch 224
Keileinbruch 226
Kesselsprengungen 108
kinetische Energie 29
Klüftigkeit 35
Knäppersprengungen 109
Koch'sche Formel 294
Kompressionswellen 26
Konvergenzen 237
Korngrößen 174
Kranzbohrlöcher 250

L

Lademenge ML 194
Lagergebäude 267
– Besiedlung 267
– Bewuchs 267
– leichte Bauart 267
– Niveauunterschiede 267
– Verträglichkeit von Stoffen und
Gegenständen 270
Lagerung 265
Landwirtschaft 143
Laser-Scanner 187
Lassensprengungen 108
Leitsprengbilder 251
linienhafte Bauteile 132
Lockergestein 32
Lockerungssprengungen 106
Lotmessverfahren 187
Love-Wellen 63
L-Profilstahl 160
Luftpuffer 201
Luftpufferung 115, 200
Luftschallausbreitung
– Auslösewerte 94
– Fühlbarkeitsschwelle 94
Luftschalldruck, niederfrequenter
Bereich 101

M

MAK-Wert 243
Massenvorgabe 185

mechanische Gewinnungs-
verfahren 37
 Mehrreihensprenganlagen 178
 militärische Sprengstoffe 17
 Millisekundenzünder 47
 Mindestentfernung 273
 Momentzünder 46
 Momentzündung 205

N

Nachzerkleinerung 110
 Naturwerksteinbruch 107
 nichtelektrische Zündung 51
 niederfrequenter Bereich 101
 Nitrocellulose 2
 Nitroglycerin 2
 nonel 51
 non electric 51
 Notified Bodies 9

O

Oberflächenverzögerer 52
 Oberflächenwellen 64
 Örter 220

P

Paralleleinbruch 223, 230
 Porosität, Gesteine 33
 Pre-Splitting 115
 Prillen 21
 Primärwellen 63
 Primer 235
 Profilsprengung 238
 Profilstahl 158
 Pufferung 176
 pulverförmige Sprengstoffe 19
 pumpfähige Emulsion Blends 23

R

Rayleigh-Wellen 63
 redundante Zündung 212

Reflexion 91
 Regelungstiefe, Ermessens-
spielraum 266
 Reihensprenganlagen 178
 Reissen 37
 Risikomanagement 281
 Risszone 27
 Rundholzsprengungen 149

S

Scaled-Distance-Verfahren 295
 Schadensexpllosion 266
 Schalldruckamplitude 87
 Schalleistung 86
 Schallpegel 86
 Schallwellen 85
 Scherwellen 63
 Schneidladung 155
 Schnüren 108
 schonende Sprengungen 176 f.
 Schrägeinbruch 223 f.
 Schubwellen 26
 Schutzabstände 268, 273
 – Wohnbereiche 274
 Schutzwände 268
 Schutzwürdigkeit 268
 Schwadencontainer 242
 Schwarzpulver 1
 Sektoren 249
 Sekundäreffekte 74
 Sekundärwellen 63
 Shock Tube 51
 Sicherheitsabstände 273
 – Absolutwerte 268
 – Ausnahmeregelung 273
 – Konzept 272
 – Mindestentfernung 273
 – Verkehrswege 274
 Sicherheitsanzündschnur 54
 Sicherheitskonzept 266
 Sicherheitstechnik 241
 Sohle 187
 Sondersprengverfahren
 – Eissprengungen 167

- Stahlsprengungen 155
- Unterswassersprengungen 164
- Spaltsprengungen 115
- spezifischer Sprengstoff q 184
- Splitt 199
- Sprenganlagen 178
- Sprengarbeit
 - Aufgaben 38
 - Baugewerbe 111
 - Bauwerke 123
 - Bauwerksteile 123
 - Belästigung 77
 - Forstwirtschaft 143
 - Landwirtschaft 143
 - Naturwerksteinbruch 107
 - Sicherheitstechnik 241
 - Tagebau 173
 - Tätigkeiten 39
 - Umweltauswirkungen 61
 - unter Tage 217
 - wirtschaftliche Bedeutung 36
- Sprengbereich 287
- Sprengmittellager 267
 - Besiedlung 267
 - Bewuchs 267
 - leichte Bauart 267
 - Niveauunterschiede 267
 - Verträglichkeit von Stoffen und Gegenständen 270
- sprengölfreie Sprengstoffe 18
- sprengöhlhaltige Sprengstoffe 19
- Sprengschlämme 20
- Sprengschnüre 17, 55
- Sprengschwaden 242
- Sprengstoffenergie 29
- Sprengstoffmatrix 23
- Sprengstoffmischungen 271
- Sprengstücke 289
- sprengtechnische Parameter 233
- Sprengverfahren
 - Auflegersprengungen 110
 - Baugrubensprengungen 120
 - Bodenlockerungs-sprengungen 143
 - Einzelsprengungen 107

- Eissprengungen 167
- gebirgsschonende Sprengungen 176 f.
- Gewinnungssprengungen 173
- Grabensprengungen 118
- Großbohrlochsprengungen 180
- Holzsprengungen 147
- Kantholzsprengungen 149
- Kesselsprengungen 108
- Knäppersprengungen 109
- Lassensprengungen 108
- Rundholzsprengungen 149
- Schnüren 108
- schonende Sprengungen 176 f.
- Spaltsprengungen 115
- Stahlsprengungen 155
- Strossensprengungen 112
- Stubbensprengungen 150
- Tiefbohrlochsprengungen 180
- Unterswassersprengungen 164
- Stabladungen 238
- Stahlrohre 161
- Stahlsprengungen 155
- Steinflug 288
- Stoßwelle 26
- Strahlungsleistung 49 f.
- Streubereich 287
- String-Charging 238
- Strossenabbau 112, 120, 219
- Strossensprengungen 112
- Stubbensprengungen 150

T

- Tagebau 173
- Thermalbatterie 58
- Tiefbau 217
- Tiefbohrlochsprengungen 180
- TNT 2
- T-Profilstahl 159
- Treibeis 167
- Trennflächen 33
- Tunnelbau 218

U

Überladung 182
Umwicklungen 150
Unfallverhütung 266
Unterbohren 187
Unterladung 183
unter Tage 217
Unterwassersprengungen 164

V

Vermessung 187
verstärkte Zünderdrähte 165
Verträglichkeitsgruppen 270
Verträglichkeit von Stoffen und
Gegenständen 270
Vortrieb 217, 221

W

Wahrnehmungsschwellen 75
Wandfuß 211

Wandhöhe 180
wasserhaltige Sprengstoffe 20
Werksteingewinnung 107
Wetterführung 242
Wirkungshalbmesser 135
Wurfstücke 272
Wurzelstock 150

Z

Zeitzünder 46
Zeitzündung 205
Zerkleinerung, Grad 173
Zermalmungszone 27, 61
Zerteilen von Fels 106
Zündfolge 245
Zündmittel 43
Zündung
- elektrisch 44
- elektronisch 52
- mit Sprengschnur 55
- nichtelektrisch 51