

# 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  $\text{KNO}_3$ , Sägemehl und Kohlestaub (dadurch handhabungssicher)  
verbesserte schiebende Wirkung durch Ersatz von  $\text{KNO}_3$  durch  $\text{NH}_4\text{NO}_3$
- 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
- Kantholzprengungen 149
- Kesselsprengungen 108
- Knäppersprengungen 109
- Lassensprengungen 108
- Rundholzprengungen 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