

### 5.3.1 Art der Gefährdungen und deren Wirkungen

#### Umsetzungsarten und Wirkungen von Explosivstoffen

Je nach Geschwindigkeit der Umsetzung von Explosivstoffen wird unterschieden zwischen

- Deflagration, die chemische Umsetzung mit Flammenbildung, die mit Unterschallgeschwindigkeit abläuft, ohne den Sauerstoff der Umgebung zu benötigen;
- Detonation, die chemische Umsetzung, die mit Überschallgeschwindigkeit unter Bildung einer Stoßwelle abläuft.

Die Umsetzung ist mit folgenden Wirkungen verbunden:

- Luftstoßwirkung
- Bodenstoß- und Kraterwirkung
- Wirkung durch Spreng- und Wurfstücke
- thermische Wirkung durch Flammen und Wärmestrahlung
- Wirkung der Explosionsschwaden

#### Luftstoßwirkung

Bei der Oberflächendetonation eines Explosivstoffs kommt es zur Ausbildung einer Luftstoßwelle, die sich mit sehr hoher Anfangsgeschwindigkeit vom Detonationsort ausbreitet. Der Überdruck in der Stoßwellenfront nimmt mit zunehmender Entfernung vom Detonationsort ab und gleichzeitig nimmt die Dauer des Luftstoßimpulses zu. Die Zusammenhänge zwischen den Stoßwellenparametern und dem Abstand vom Detonationsort beschreiben Skalierungsgesetze. Nach dem Skalierungsgesetz von Cranz verhalten sich die Entfernungen vom Detonationsort, in denen der gleiche Stoßdruck herrscht, wie die dritten Wurzeln aus den Massen der gleichen Explosivstoffladungen. Die Luftstoßwirkung wird unter anderem durch den Druck der normal reflektierten Luftstoßwelle erfasst. In Abhängigkeit vom skalierten Abstand  $k$  zwischen Donator und Akzeptor sind die Druckwirkungen in Tabelle 5.3-1 beschrieben. Als Donatoren werden gefährdende Objekte bezeichnet. Die Objekte, die einer Gefährdung ausgesetzt sind, nennt man Akzeptoren. Der Faktor  $k$  ist definiert als

$$k = E / m^{1/3}$$

(mit  $E$  = Entfernung in Metern und  $m$  = Nettoexplosivstoffmasse in kg).

**Tabelle 5.3-1** Luftstoßdruck in Abhängigkeit vom skalierten Abstand  $k$  (Orientierungswerte)

Skalierter Abstand $k$ in $m/kg^{1/3}$	Überdruck in der normal reflektierten Luftstoßwelle in kPa
2	600 ..... 1100
5	80 ..... 130
10	26 ..... 31
15	15 ..... 18
20	10 ..... 13
22	9 ..... 11,5

Der Luftstoßdruck bewirkt die in den Tabellen 5.3-2 bis 5.3-4 dargestellten typischen Verletzungen von Personen bzw. Schäden an Gebäuden.

**Tabelle 5.3-2** Schadensbilder von Luftstoßwellen (Orientierungswerte)

Schadensbild	Überdruck in der normal reflektierten Luftstoßwelle in kPa (Schwellenwert)
Fensterscheiben, Fensterrahmen, Türen (beschädigt bis zerstört)	2,5 ..... 14
Dächer (beschädigt bis zerstört)	5 ..... 17
50-%-Grenze für Trommelfellschäden	11 ..... 14
Leichte Wandverkleidung (beschädigt bis zerstört)	14 ..... 30
Ziegelsteinmauer (beschädigt bis zerstört)	30 ..... 150
Stahlskelette leichter Gebäude (beschädigt)	30 ..... 250
Backsteingebäude (beschädigt bis zerstört)	30 ..... 360
Lungenschäden (stark impulsabhängig)	50 ..... 100
Betonbauten und Stahlbetonbauten (beschädigt bis zerstört)	180 ..... 5000
Tod des Menschen	140 .....

**Tabelle 5.3-3** Verletzungen von Personen in Abhängigkeit von der Entfernung zum Detonationsort in Metern (orientierende Werte)

Explosivstoffmasse in kg	< 1% leichte Kopfverletzungen	< 1 % Gehörschäden
4.000	~ 320 m	~ 200 m
10.000	~ 430 m	~ 280 m
20.000	~ 550 m	~ 350 m
40.000	~ 700 m	~ 450 m
60.000	~ 800 m	~ 500 m

Die Schäden an Gebäuden durch Luftstoßwirkung in Abhängigkeit von der Explosivstoffmasse und der Entfernung vom Detonationsort werden in der folgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 5.3-4** Schäden in Abhängigkeit von der Entfernung in Metern (Orientierungswerte)

Schadensbild	Explosivstoff- masse 4.000 kg	Explosivstoff- masse 10.000 kg	Explosivstoff- masse 20.000 kg	Explosivstoff- masse 40.000 kg	Explosivstoff- masse 60.000 kg
totale Gebäudeschäden	50 m	60 m	80 m	100 m	110 m
schwere Gebäudeschäden	110 m	140 m	180 m	230 m	260 m
mittlere Gebäudeschäden	160 m	210 m	270 m	340 m	390 m
leichte Gebäudeschäden	180 m	240 m	300 m	380 m	440 m
geringe Gebäudeschäden (zum Beispiel Fensterschäden)	270 m	370 m	460 m	580 m	670 m

**Bodenstoß- und Kraterwirkung**

Die Bodenstoß- und Kraterwirkung liegt bei Detonationen hinsichtlich ihrer Schadenswirkung deutlich unter der Schadenswirkung des Luftstoßes. Die Bodenstoßwirkung muss im Hinblick auf die Standfestigkeit von Wänden und Gebäuden berücksichtigt werden. Innerhalb des Kraterradius ist mit einer sympathetischen Detonationsübertragung (gleichzeitige Detonation der gesamten Explosivstoffmasse) zu rechnen.

**Wirkung durch Spreng- und Wurfstücke**

Bei einer Explosion können Gebäude- oder Maschinenteile, aber auch Teile explodierender Gegenstände vom Explosionsort weggeschleudert werden. Die Wurfweite ist unter anderem abhängig von Art und Masse des Explosivstoffes, den Einschlussbedingungen sowie der Bauausführung des Gebäudes und lässt sich quantitativ nur sehr schwer beschreiben. Unter bestimmten Bedingungen treten Wurfweiten von mehreren hundert Metern auf. Spreng- und Wurfstücke bilden somit eine zusätzliche Gefährdung insbesondere für ungeschützte Personen.

Für die Gefährdung durch Wurfstücke wird international die Wurfstückdichte (Einheit: kg/m<sup>2</sup>) herangezogen. In Gebäuden wird mit einer Letalität von unter 1% gerechnet, wenn die Wurfstückdichte etwa 1 kg/m<sup>2</sup> beträgt. In nachstehender Zusammenstellung sind die Entfernungen, bei denen diese Gefährdung auftritt, in Abhängigkeit von der Explosivstoffmasse aufgeführt:

**Tabelle 5.3-5** Entfernungsangaben für die Wurfstückdichte 1 kg/m<sup>2</sup> (Orientierungswerte)

Explosivstoffmasse in kg	Entfernungen in m (Wurfstückdichte 1 kg/m <sup>2</sup> )
4.000	63
10.000	90
20.000	118
40.000	154
60.000	180

Des Weiteren ist mit zusätzlicher Sprengstückwirkung zu rechnen, wenn mit großkalibrigen Geschossen, Bomben oder Gefechtsköpfen umgegangen wird. Die Wirkung ist im Einzelfall im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung abzuschätzen. Hierbei sind mit Splitterreichweiten von bis zu 1.000 m zu rechnen.

Splitterwirkungen werden als gefährlich eingestuft, wenn die Splitter eine kinetische Energie von  $\geq 80$  J haben und die Splitterdichte 1 Splitter pro  $56 \text{ m}^2$  beträgt.

#### Thermische Wirkung

Die Wirkung der Wärmestrahlung kann durch ein Feuerballmodell charakterisiert werden. Danach berechnet sich der maximale Durchmesser des Feuerballs zu

$$D = 3,7675M^{0,325}$$

wobei M die Masse des abbrennenden Stoffs in kg ist. Die bei einem sehr schnellen Abbrand (Deflagration) entstehende Druckwelle kann vernachlässigt werden, da diese wesentlich geringer ist als bei der beschriebenen Gefährdung durch Luftstoßdruck bei gleicher Explosivstoffmenge.

In der folgenden Aufstellung sind in Abhängigkeit von der Explosivstoffmasse Feuerballdurchmesser und Wirkungsdauer angegeben.

**Tabelle 5.3-6** Angaben zum Feuerball (Orientierungswerte)

Explosivstoffmasse in kg	Durchmesser in m	Wirkungsdauer in s
4.000	56	4,7
10.000	75	6,4
20.000	94	8,2
40.000	118	10,4
60.000	134	12,0

#### Wirkung der Explosionsschwaden

Bei der Umsetzung von Explosivstoffen entstehen hauptsächlich gasförmige Reaktionsprodukte, die sogenannten Explosionsschwaden, deren Art und Mengenanteile maßgeblich von der chemischen Zusammensetzung des Explosivstoffs und den Umsetzungsbedingungen abhängig sind.

Die hauptsächlichlichen gasförmigen Reaktionsprodukte von Explosivstoffen sind Kohlendioxid, Stickstoff und Wasserdampf. In zumeist geringeren Mengenanteilen entstehen jedoch auch – je nach Zusammensetzung des Explosivstoffs – toxische und reizend wirkende Gase, wie Kohlenmonoxid, nitrose Gase, Schwefeldioxid, Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Chlorwasserstoff und so weiter.

Im Allgemeinen ist die Wirkung der toxischen Schwadenbestandteile im Vergleich zu den anderen genannten Wirkungen von Explosivstoffen als untergeordnet einzustufen, da im Freien oder bei guter Belüftung eine schnelle Verdünnung der Gase eintritt. Gesundheitsgefährdungen können jedoch bei nicht ausreichender Belüftung entstehen, zum Beispiel in geschlossenen Räumen oder bei der Verwendung von Explosivstoffen im untertägigen Bergbau.

### Toxikologische Gefährdungen

#### Gesundheitsgefährdungen

Beim Umgang mit offenem Explosivstoff am Arbeitsplatz kann insbesondere eine Inhalation von Stäuben und Dämpfen oder eine Aufnahme über die Haut zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Beschäftigten führen. Durch eine entsprechende Belüftung der Gebäude und Anlegen von Handschuhen wird diese Gefährdung weitgehend ausgeschlossen. Es muss aber beachtet werden, dass einige Explosivstoffe wie zum Beispiel DNT, Hexogen und Nitroglycerin kanzerogene Wirkung auf den Menschen haben. Weiterhin ist auch bekannt, dass Nitropenta mutagen ist. Nitroglycerin besitzt darüber hinaus auch ein teratogenes Potential.

#### Arbeitsplatzgrenzwert

Nach der Novellierung der Gefahrstoffverordnung 2005 ist der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) nach der TRGS 900 maßgeblich. Weitere Angaben lassen sich aus Sicherheitsdatenblättern entnehmen.