



Praxishilfe Sprengarbeiten

DGUV Information 213-118

Impressum

Herausgegeben von: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)
Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet Sprengarbeiten
Fachbereich Rohstoffe und chemische Industrie

Ausgabe: März 2026

Satz und Layout: Satzweiss.com Print Web Software GmbH, Saarbrücken

Bildnachweis: Titelbild: © BG RCI
Abb. 1: © DGUV
Abb. 2: © Gerd Vogel
Abb. 3 rechts: © Maxam Deutschland GmbH
Abb. 4: © Essing Sprengtechnik GmbH
Abb. 6–29: © DGUV – KonzeptQuartier GmbH

Copyright: Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt.
Die Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit
ausdrücklicher Genehmigung gestattet.

Bezug: Bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder
unter www.dguv.de/publikationen › Webcode: p213118

Praxishilfe Sprengarbeiten

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung	6
1 Gewerbliche Sprengstoffe und Zündmittel	7
1.1 Sprengstoffe.....	7
1.1.1 Vorbemerkung.....	7
1.1.2 Einteilung der Sprengstoffe.....	7
1.1.3 Sprengschnüre.....	12
1.1.4 Verstärkungsladung (Booster/Primer).....	13
1.1.5 Schneidladungen.....	14
1.2 Zündmittel.....	15
1.2.1 Sprengkapsel.....	15
1.2.2 elektrische Zündsysteme.....	16
1.2.3 nichtelektrische Zündsysteme.....	20
1.2.4 elektronische Zündsysteme.....	23
2 Zündung	25
2.1 elektrische Zündung.....	25
2.2 nichtelektrische Zündung.....	30
2.3 elektronische Zündung.....	33

3	Sprengverfahren	34
3.1	Reihensprengung.....	34
3.2	Flächensprengung.....	36
3.3	Knäppersprengung.....	36
3.4	Grabensprengung.....	37
3.5	Fundamentsprengung.....	43
3.5.1	Sprengen von Betonfundamenten.....	43
3.5.2	Sprengen von hohen/schlanken Fundamenten.....	45
3.6	Stubbensprengungen.....	46
4	Emissionen	49
4.1	Erschütterungen.....	49
4.2	Lärm, Staub und weitere Emissionen.....	51
5	Quellen und Literaturverzeichnis	53

Vorbemerkung

Diese DGUV Information richtet sich in erster Linie an Sprengberechtigte, aber auch an die Unternehmerin oder den Unternehmer. Sie behandelt grundlegende Informationen zu Explosivstoffen, der Zündung von Sprenganlagen und Sprengverfahren. Praxisorientierte Anwendungsbeispiele und Abbildungen helfen bei der Planung und Durchführung von Sprengarbeiten.

Die Erarbeitung erfolgte im Sachgebiet „Sprengarbeiten“ des Fachbereichs „Rohstoffe und chemische Industrie“ der DGUV.

Die sicherheitsgerechte Durchführung von Sprengarbeiten wird in der SprengTR310 geregelt und in der DGUV Information 213-110 erläutert.

Für die Durchführung von allgemeinen Sprengarbeiten ist eine entsprechende Fachkunde notwendig. Diese wird in staatlich anerkannten Lehrgängen erworben. Der Inhalt der Fachkunde ist in den „Grundsätzen für die Anerkennung und Durchführung von Lehrgängen nach dem Sprengstoffgesetz“ festgelegt. Als Sprengverfahren werden insbesondere Sprengungen in Festgestein, Gewinnungssprengungen, Baugrubensprengungen, Grabensprengungen, Profilsprengungen, Sprengungen in Lockergestein, Sprengungen von unbelasteten Bauwerksteilen und Holzsprengungen vermittelt.

In diesem Kompendium werden neben den üblicherweise verwendeten gewerblichen Sprengstoffen und Zündmitteln ausgewählte Sprengverfahren in ihren Grundzügen erläutert. Insbesondere für spezielle Anwendungen wird auf die weiterführende Literatur verwiesen. Insofern erhebt dieses Kompendium keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

1 Gewerbliche Sprengstoffe und Zündmittel

1.1 Sprengstoffe

1.1.1 Vorbemerkung

Explosivstoffe (im vorliegenden Fall sind hier die Sprengstoffe gemeint) dürfen nur bestimmungsgemäß und entsprechend der Gebrauchsanleitung des Herstellers bis zum angegebenen Verwendungsdatum verwendet werden. Sie müssen CE-gekennzeichnet sein. Bei Sprengarbeiten unter Tage muss sichergestellt sein, dass die Explosivstoffe nach den in Deutschland geltenden Bestimmungen hierfür geeignet sind. Für den Einsatz von Sprengstoffen in Bereichen mit der Gefahr durch Schlagwetter und Kohlenstaub müssen diese entsprechend geprüft und zugelassen sein.

1.1.2 Einteilung der Sprengstoffe

Grundsätzlich werden Sprengstoffe in chemisch einheitlich und zusammengesetzt unterteilt (Abb. 1).

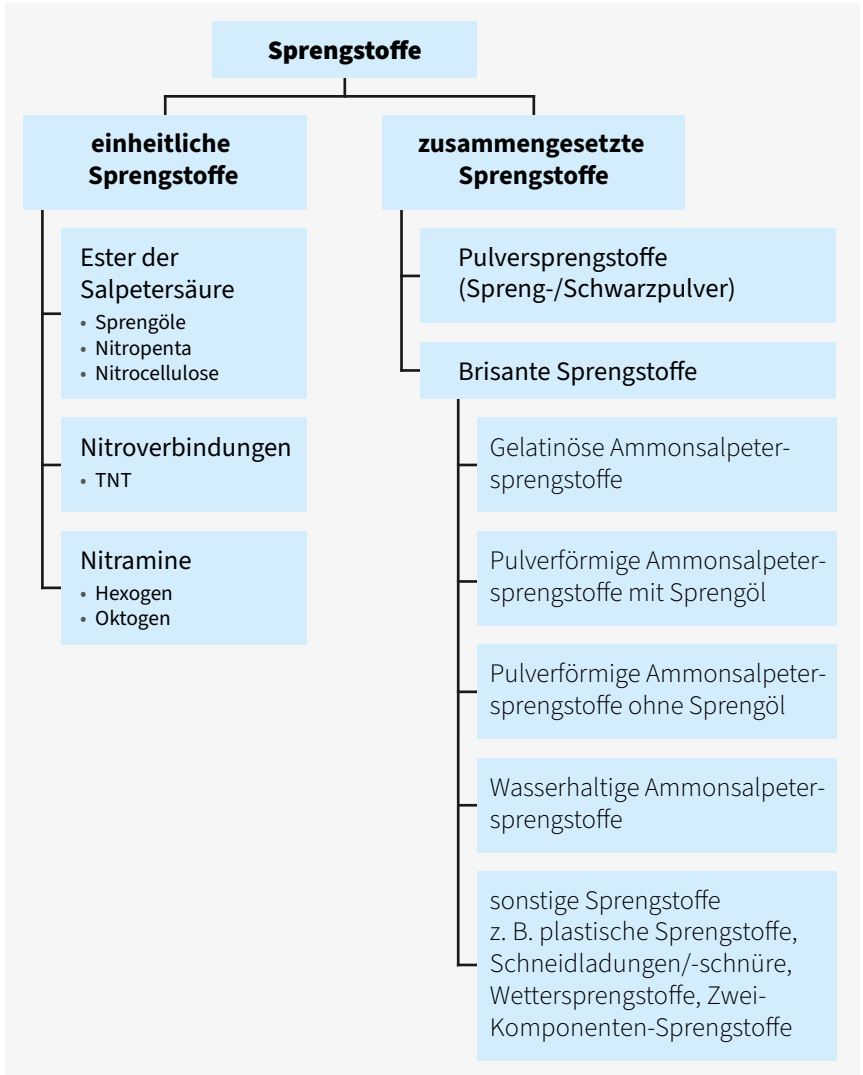


Abb. 1 Einteilung der Sprengstoffe

In Abhängigkeit vom Verwendungszweck unterteilt man Sprengstoffe oftmals auch in militärisch bzw. gewerblich genutzte Sprengstoffe.

1.1.2.1 Pulversprengstoffe (Sprengpulver)

Sprengpulver ist ein nichtbrisanter (deflagrierender) Sprengstoff. Zur Gruppe der Sprengpulver gehört neben dem Schwarzpulver auch der Sprengsalpeter. Der billigere Sprengsalpeter enthält an Stelle des Kalisalpers (KNO_3) Natronsalpeter (NaNO_3). Das Schwarzpulver benutzt man auch heute noch für bestimmte Sprengaufgaben, bei denen eine schiebende Wirkung verlangt wird, insbesondere in der Werksteinindustrie zur schonenden Gewinnung von Blöcken und Platten. Außerdem stellt man aus Schwarzpulver Anzündschnüre, Treibladungen und pyrotechnische Erzeugnisse her.

Sprengpulver ist ein Sprengstoff, der sich durch einfache Flammenanzündung, also ohne Sprengkapsel, auslösen/initiiieren lässt. **Es ist äußerst empfindlich gegenüber Flammen, Funken und Reibung, was beim Umgang mit dem Pulver zwingend beachtet werden muss.**

Sprengpulver ist außerdem sehr feuchtigkeitsempfindlich (hygroskopisch – es ist in der Lage, die Feuchtigkeit der Luft aufzunehmen). Die damit verbundene teilweise Auflösung des Salpers führt zur Verminderung der Leistungsfähigkeit des Pulvers.

1.1.2.2 gelatinöse Ammonsalpersprengstoffe

Gelatinöse Ammonsalpersprengstoffe sind Mischungen, die vorwiegend aus Nitroglycerin und/oder Nitroglycol (Sprengöle), Nitrocellulose, Ammoniumnitrat und Kohlenstoffträgern wie Kohle, Öl oder Holzmehl bestehen.

Der Sprengölgehalt liegt zwischen 20% und 40% und bestimmt entscheidend die Brisanz und die Sprengkraft des jeweiligen Sprengstoffs. Um ein Austreten des Sprengöls aus dem Gemisch zu verhindern, wird Nitrocellulose zum Gelatinieren verwendet.

Die Giftigkeit des Sprengöls (gefäßerweiternde Wirkung, Blutdruckabsenkung, Kopfschmerzen) ist beim Umgang mit diesen Sprengstoffen zu berücksichtigen. Insbesondere ist auf gute Belüftung und Vermeidung von Hautkontakt zu achten. In den letzten Jahren wurden gelatinöse Sprengstoffe entwickelt, die keine nitroaromatischen Verbindungen (DNT und/oder TNT) enthalten.

Alle gelatinösen Ammonsalpetersprengstoffe werden patroniert und in Kalibern zwischen 22 und 120 mm geliefert.

Aufgrund der hohen Brisanz dieser Sprengstoffe, der guten Verarbeitungsmöglichkeiten und der Wasserbeständigkeit handelt es sich um einen Sprengstoff, der für nahezu alle gewerblichen Sprengarbeiten geeignet ist.

1.1.2.3 pulverförmige Ammonsalpetersprengstoffe ohne Sprengöl

Die **ANFO-/ANC-Sprengstoffe** sind sehr handhabungssichere, pulverförmige oder rieselfähig granuliert Gesteinssprengstoffe auf der Basis von AN = Ammoniumnitrat und C = Kohlenstoffträger. ANFO ist die Kurzbezeichnung für „Ammonium Nitrate Fuel Oil“. Das „Fuel oil“ (Mineralöl) ist dabei der Kohlenstoffträger. Sie müssen meist mit einer Verstärkerladung gezündet werden.

ANFO-/ANC-Sprengstoffe werden vorzugsweise aus Ammonsalpeter in Form poröser Prills und etwa 6% flüssigen Kohlenwasserstoffen hergestellt. Eine Leistungssteigerung dieser Sprengstoffe kann durch die Zugabe von Aluminium erreicht werden. Sie werden überwiegend in loser Form in der Ladesäule verwendet. Das Laden erfolgt in der Regel bei senkrechten Laderäumen durch Schütten oder Einrieseln und in waagerechte Laderäume durch Einblasen. Dazu werden „Sprengstoffladegeräte“ mit Schlauch verwendet. Eine gute Rieselfähigkeit, begünstigt durch die Prill-Struktur, ist hierfür Voraussetzung.

Da der hygroskopische Ammonsalpeter ungeschützt ist, sind ANFO-/ANC-Sprengstoffe in nassen Laderäumen nicht anwendbar. Gleichfalls sind sie für die Anbringung als auf-, an- oder untergelegte Ladungen nicht geeignet, da sie nur im Einschluss ihre optimalen Detonationsparameter erreichen.

1.1.2.4 wasserhaltige Ammonsalpetersprengstoffe

Zu den wasserhaltigen Ammonsalpetersprengstoffen zählen sowohl die Emulsionssprengstoffe wie auch die Sprengschlämme (Slurries, Watergel-Sprengstoffe).

Emulsionssprengstoffe sind wasserhaltige Sprengstoffe. Die Basis ist eine Wasser-in-Öl-Emulsion, die aus einer bei höheren Temperaturen gesättigten wässrigen Nitratlösung und Mineralöl besteht. Durch Zugabe dichteregulierender

Mittel (Mikrohohlkörper oder chemische Gasblasenbildner) kann die Sensibilität der Emulsionssprengstoffe eingestellt werden.

Sie können entweder direkt vor Ort in mobilen Mischladefahrzeugen hergestellt und ins Bohrloch verpumpt oder patroniert geliefert werden.

Emulsionssprengstoffe haben ein unter allen Bedingungen ideales Detonationsverhalten und einen dementsprechend hohen Wirkungsgrad. Sie sind empfindlicher gegen sogenannte Totpresseffekte (verminderte Kapselempfindlichkeit und Detonationsfähigkeit infolge eines Dichteanstiegs durch Druckeinwirkung) als gelatinöse oder pulverförmige Sprengstoffe. Dieser Nachteil ist aber durch Anpassung der sprengtechnischen Parameter gut beherrschbar.

Für Gewinnungssprengungen in Steinbrüchen können auch Mischungen aus ANFO-/ANC-Sprengstoffen und Emulsionssprengstoffen eingesetzt werden. Diese bezeichnet man dann als **Heavy-ANFO-Sprengstoffe**. Sie besitzen gegenüber den reinen ANFO-/ANC-Sprengstoffen eine höhere Wasserfestigkeit und eine größere Leistungsfähigkeit.

Watergel-Sprengstoffe bestehen aus hochkonzentrierten wässrigen Lösungen von Ammonsalpeter und anderen Nitraten, in denen über die Löslichkeit hinaus weitere Nitratmengen aufgeschlämmt sind. Des Weiteren beinhalten sie Brennstoffe zur Aufnahme des Sauerstoffüberschusses der Nitrate (Reaktionspartner für den Sauerstoffträger), z. B. Glycol. Die Gelstruktur der Nitratlösung kann durch Andickungsmittel und zusätzlich durch Quervernetzungsmittel wesentlich beeinflusst werden. Sprengschlämme können sensibilisierende Zusätze, wie TNT, Nitropenta, Hexogen u. a. enthalten; auch durch feinstverteilte Luft kann eine Sensibilisierung erzielt werden. Als Brennstoff kommt vor allem Aluminiumpulver zum Einsatz.

Sensibilisierte Sprengschlämme können in Groß- und Kleinkaliber patroniert, aber auch in loser Form in Bohrlöcher gepumpt werden. Sie sind zum Teil leistungsfähiger als reine Emulsionssprengstoffe, besitzen eine hohe Dichte, sind wasserbeständig und in der Regel kapselempfindlich.

1.1.3 Sprengschnüre

Sprengschnur besteht aus einer Seele aus pulverförmigem PETN, das in Spinnmaschinen von Folie umwickelt und mit mehreren Fäden aus Baumwolle oder Kunststoff umspinnen wird. Anschließend wird die entstandene Schnur mit farbigem Kunststoff ummantelt.

Sprengschnur 5 g/m	Leitsprengschnur zur Initiierung von nichtelektrischen Zündern
Sprengschnur 12 g/m	Zündübertragung im Bohrloch
Sprengschnur 20 g/m	Zündübertragung im Bohrloch
Sprengschnur 40 g/m	Zündübertragung im Bohrloch
Sprengschnur 100 g/m	Vorspalt- und Kontursprengungen

Beim Kürzen von Sprengschnüren dürfen nur einschneidige Werkzeuge verwendet werden, geeignete Werkzeuge sind spezielle einschneidige Sprengschnurzangen oder Messer. Sprengschnurenden müssen gegen das Eindringen von Feuchtigkeit geschützt werden. Sprengschnüre dürfen nicht so gelegt werden, dass ihre Verbindungsstellen im Wasser liegen. Es dürfen nur Sprengschnüre verwendet werden, die die Sprengladungen sicher zünden. Herstellerangaben und die Gebrauchsanleitung für den Sprengstoff sind zu beachten.

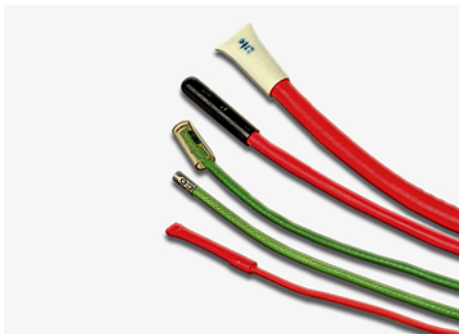


Abb. 2 Sprengschnüre mit Verschlusskappen

1.1.4 Verstärkungsladung (Booster/Primer)

Verstärkungsladungen bestehen aus hochbrisanten Sprengstoffen, wie z. B. TNT, PETN bzw. aus deren Mischungen. Sie werden anstelle von Schlagpatronen zum Zünden (Initiieren) von Sprengstoffen meist niedriger Sensibilität sowohl über als auch unter Tage verwendet.

Sie zeichnen sich durch einen sehr hohen Detonationsdruck in Verbindung mit einer hohen Detonationsgeschwindigkeit aus. Verstärkungsladungen werden mit Sprengzündern initiiert.



Abb. 3 Booster und Primer

1.1.5 Schneidladungen

Schneidladungen stellen eine besondere Form plastischer, kunststoffgebundener Sprengstoffe dar. Man bezeichnet sie auch als lineare Hohlladung.

Ihre Schneidleistung wird bestimmt durch die Art des verwendeten Sprengstoffs einschließlich der Lademenge pro Meter, der geometrischen Struktur (z. B. Öffnungswinkel, Abstand zwischen Ladung und Sprengobjekt – „stand off“) und der Art und Stärke der Metalleinlage.

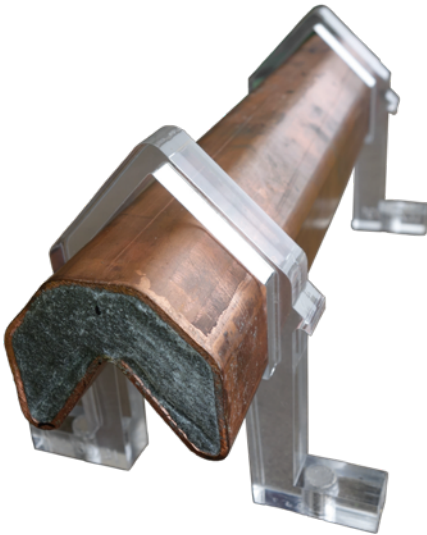


Abb. 4 Schneidladung

1.2 Zündmittel

Zündmittel sind Gegenstände, die explosionsgefährliche Stoffe enthalten und die ihrer Art nach zur detonativen Auslösung von Explosivstoffen bestimmt sind. Zündmittel können wie folgt eingeteilt werden:

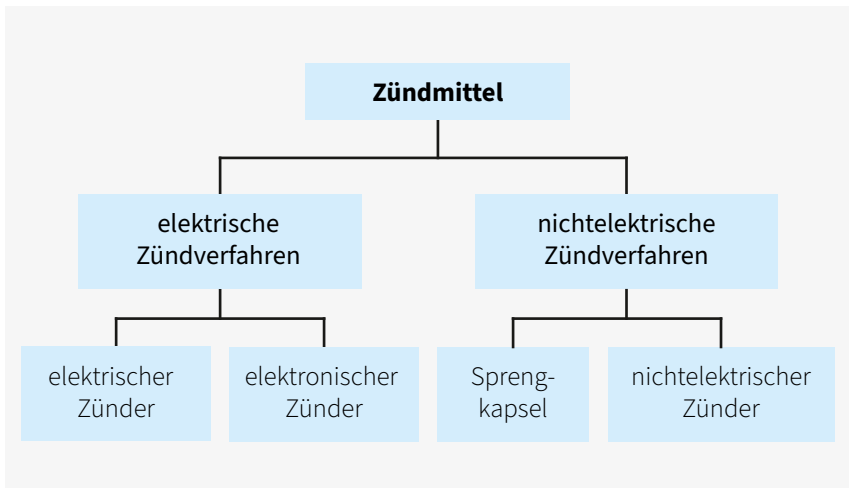


Abb. 5 Einteilung der Zündmittel

1.2.1 Sprengkapsel

Die Sprengkapsel ist eine zylindrische, an einem Ende geschlossene Metallhülse (in der Regel aus Aluminium). Sie enthält als Primärladung (Aufladung) einen Initialsprengstoff (meist Bleiazid), der durch ein Innenhütchen mit zentraler Bohrung geschützt ist. Darüber hinaus befindet sich unter der Primärladung eine Sekundärladung. Als Sekundärsprengstoff (Hauptladung) kommt ein einheitlicher brisanter Sprengstoff zum Einsatz. In der Regel findet hier Nitropenta (PETN) Verwendung. Die Auslösung der Sprengkapsel erfolgt mit Hilfe einer Anzündschnur (Pulveranzündschnur). Haupteinsatzgebiete sind Schneefeld- und Eissprengungen.

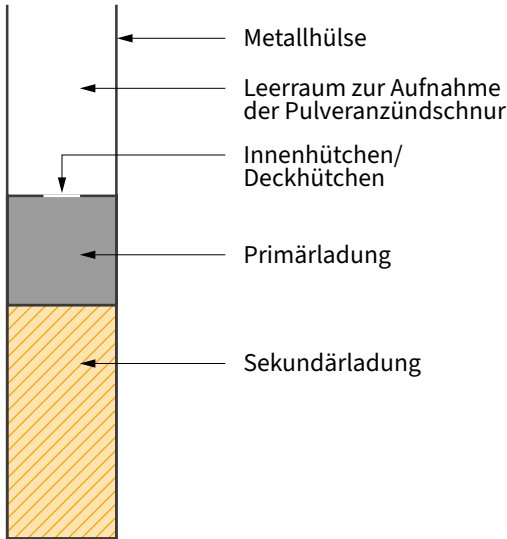


Abb. 6 schematischer Aufbau einer Zündkapsel

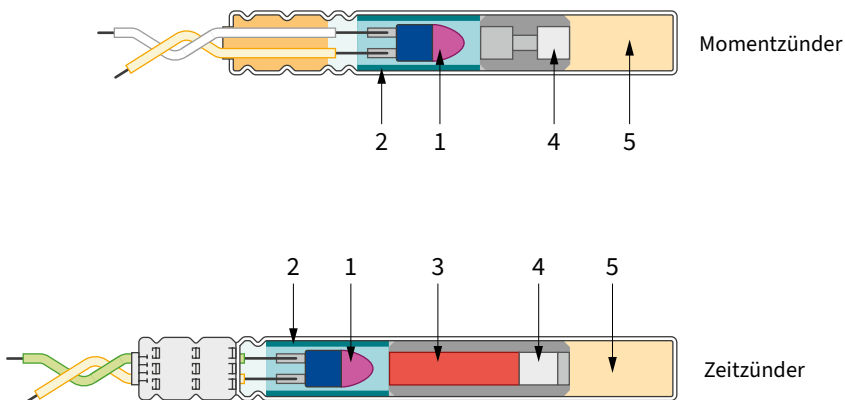
1.2.2 elektrische Zündsysteme

Bei den elektrischen Zündern wird die Primärladung, in der Regel Bleiazid (oder Nitropenta, sofern es sich um primärsprengstofffreie Zünder (NPED-Zünder) handelt), durch Umwandlung von elektrischer Energie in Wärmeenergie entzündet. Hierfür bedient man sich einer Anzündpille, bei der ein Glühdraht durch zwei Polträger gehalten wird und von einem pyrotechnischen Satz umgeben ist. Wird nun an die Polträger eine Spannung angelegt, fließt ein Strom durch den Glühdraht. Dieser wird in Abhängigkeit der Stromstärke erwärmt und entzündet so den pyrotechnischen Satz. Die so entstehende Flamme wirkt auf den freiliegenden Primärsprengstoff (Bleiazid) oder die Initialladung (Nitropenta) ein und zündet diese. Die dadurch entstehende Stoßwelle zündet nachfolgend die unter der Primärladung befindliche Sekundärladung (z. B. Nitropenta, RDX), so dass eine ausreichende Stoßwelle für die sichere Zündung der kapselempfindlichen Sprengstoffe gebildet wird.

1.2.2.1 Zeitverhalten

Man unterscheidet hinsichtlich des Zeitverhaltens der elektrischen Zünder folgende Gruppen von Zündern:

- Momentzünder – die Zündung erfolgt ohne zeitliche Verzögerung
- Verzögerungszünder – die Verzögerung wird durch den Einbau eines pyrotechnischen Verzögerungssatzes zwischen der Anzündpille und der Primärladung realisiert. In Abhängigkeit des verwendeten pyrotechnischen Verzögerungssatzes und der Menge des Satzes kann das Zeitverhalten der Zünder entsprechend eingestellt werden.
 - Kurzzeitzünder: die Zündung erfolgt mit zeitlicher Verzögerung, wobei das Verzögerungsintervall kleiner 100 ms ist, typische Intervalle sind hier 25 ms, 30 ms, 50 ms und 80 ms
 - Langzeitzünder: die Zündung erfolgt mit zeitlicher Verzögerung, wobei das Verzögerungsintervall größer/gleich 100 ms ist, typische Intervalle sind hier 100 ms, 250 ms, 500 ms



(1) Anzündpille, (2) Kunststoffhülse, (3) Verzögerungssatz, (4) Primärladung, (5) Sekundärladung

Abb. 7 schematischer Aufbau elektrischer Zünder

1.2.2.2 elektrische Kennwerte

Jeder elektrische Sprengzünder verfügt über zwei elektrische Kenndaten, die für den Sprengberechtigten von großer Bedeutung sind.

I_A = Ansprechstromstärke (all-fire-current)

Die Ansprechstromstärke ist die Stromstärke, bei der ein elektrischer Zünder mit Sicherheit gezündet wird.

I_N = Nichtansprechstromstärke (no-fire-current)

Die Nichtansprechstromstärke ist die Stromstärke, bis zu der mit Sicherheit keine Zündung erfolgt.

In Deutschland erfolgt die Einteilung der Zünder nach der Stromstärke in drei Arten:

A-Zünder	$I_N = 0,18A$	dürfen in Deutschland nicht zur Ausführung von Sprengarbeiten eingesetzt werden
	$I_A = 0,8A$	
U-Zünder	$I_N = 0,45A$	u nempfindliche Zünder
	$I_A = 1,5A$	
HU-Zünder	$I_N = 4,0A$	hochu nempfindliche Zünder
	$I_A = 25A$	

Die Einteilung der elektrischen Zünder auf europäischer Ebene (EU) erfolgt in Klassen. Grundlage ist die Nichtansprechstromstärke I_{nf} (nf = no fire):

Klasse des Zünders	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV
Nichtansprechstromstärke (I_{nf} in A)	$0,18 \leq I_{nf} < 0,45$	$0,45 \leq I_{nf} < 1,2$	$1,2 \leq I_{nf} < 4,0$	$4,0 \leq I_{nf}$

Vergleicht man die technischen Vorgaben der EU-Norm mit den Kennwerten der nationalen Vorschrift (1. SprengV), ergibt sich für die Zünder folgende Aussage:

- U-Zünder sind Vertreter der Klasse II, da die Nichtansprechstromstärke (I_N bzw. I_{nf}) 0,45 A beträgt.
- HU-Zünder sind Vertreter der Klasse IV, da die Nichtansprechstromstärke (I_N bzw. I_{nf}) 4 A beträgt.

Vereinfacht gesagt,

- alle U-Zünder sind in der Regel Klasse II-Zünder,
- aber nicht alle Klasse II-Zünder sind U-Zünder.

Das Gleiche gilt für HU-Zünder und Klasse IV-Zünder.

Die „Klassifizierung“ in U- und HU-Zünder ist jedoch wichtig, weil davon die Auswahl der Zündmaschine abhängt. Alle zurzeit auf dem Markt zur Verfügung stehenden Zündmaschinen beziehen ihre Grenzwiderstände auf U- bzw. HU-Zünder.

Sowohl das Zeitverhalten als auch das elektrische Verhalten der Zünder ist neben der Kennzeichnung auf dem Zünder selbst auch durch die Drahtfarben erkennbar. Die verwendeten Drahtfarben sollen außerdem sicherstellen, dass nur Zünder mit gleichen Parametern gemeinsam in einem Zündkreis verwendet werden. Die Farben der Zünderdrähte sind in Deutschland in der Spreng TR 100 „Kennzeichnung“ geregelt.

Zeitverhalten	U-Zünder		HU-Zünder	
	weiß	gelb	weiß	blau
Momentzünder	weiß	gelb	weiß	blau
Kurzzeitzünder	grün	gelb	grün	blau
Langzeitzünder	rot	gelb	rot	blau

1.2.3 nichtelektrische Zündsysteme

Im Unterschied zur elektrischen Zündung erfolgt die Initiierung der Primär- und Sekundärladung bei diesem Zündsystem nicht durch eine Anzündpille, sondern durch die Reaktionsfront, die sich im Zündschlauch ausbreitet. Auf der inneren Oberfläche des Zündschlauches befindet sich eine geringe Menge eines Reaktionsgemisches, bestehend aus Hexogen (RDX) und/oder Oktogen (HMX) sowie Aluminium (ca. 13–20 mg/m). Das Reaktionsgemisch kann durch einen Hochleistungsfunken eines speziellen Zündgerätes, durch ein Zündgerät mit Anzündhütchen oder durch eine von einem elektrischen oder elektronischen Zünder eingebrachte Stoßwelle zur Reaktion gebracht werden. Dadurch bildet sich eine Reaktionsfront, die sich mit einer Geschwindigkeit von ca. 2.000 m/s durch den Zündschlauch hindurchbewegt. Der Zündschlauch wird aufgrund der geringen Menge an Explosivstoff, die zur Umsetzung gelangt, äußerlich nicht beschädigt.

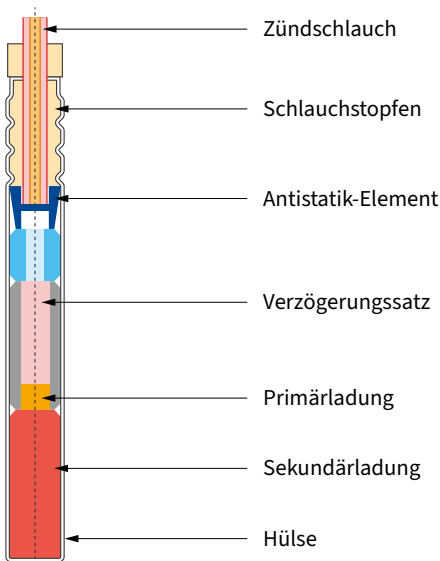


Abb. 8 schematischer Aufbau eines nichtelektrischen Zünders

Es stehen Kurzzeitzündler mit 25 ms und Langzeitzündler mit 100 ms Verzögerungsintervall zur Verfügung. Je nach Hersteller gibt es verschiedene Zeitstufen, die eine Gesamtverzögerungszeit von bis zu 9 s ermöglichen.

Ein wichtiges Element beim nichtelektrischen Zündsystem sind die Oberflächenverzögerer (Zündverzögerer). Sie haben die Aufgabe, die zeitliche Verzögerung von Bohrloch zu Bohrloch zu realisieren. Der Aufbau eines Oberflächenverzögerers ist vergleichbar mit dem eines nichtelektrischen Zünders. Der entscheidende Unterschied zwischen dem Oberflächenverzögerer und dem Zünder besteht in der Sprengkraft der verwendeten Sekundärladung in den Zündverzögerern. Diese ist deutlich schwächer als die im Zünder verwendete Sprengkapsel vom Typ Nr. 8.

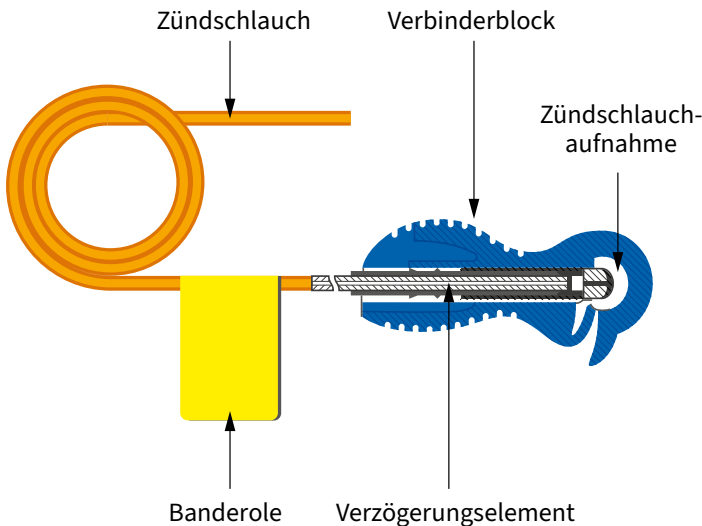


Abb. 9 nichtelektrischer Oberflächenverzögerer

Der Oberflächenverzögerer ist mit einem Verbinderblock versehen, der das Verbinden von Zündschläuchen der nichtelektrischen Zünder bzw. weiterer Oberflächenverzögerer ermöglicht. Somit besteht die Möglichkeit, die einzelnen nichtelektrischen Zünder zusätzlich zum im Zünder befindlichen Verzögerungssatz zeitlich zu verzögern. So kann die Anzahl der Zündzeitpunkte beträchtlich erhöht werden. Die Anzahl der Schläuche, die der Verbinderblock aufnehmen kann, ist herstellerspezifisch.



Abb. 10 nichtelektrische Oberflächenverzögerer

Die Oberflächenverzögerer gibt es in unterschiedlichen Verzögerungszeiten. Die unterschiedlichen Zeiten werden durch die Farben der Verbinderblöcke verdeutlicht und sind herstellerspezifisch.

Beispiel einer Einreihensprengung mit

- Kurzzeitzünder der Zeitstufe 20 und 25 ms Verzögerung \cong 500 ms sowie
- Oberflächenverzögerer mit 25 ms Verzögerung

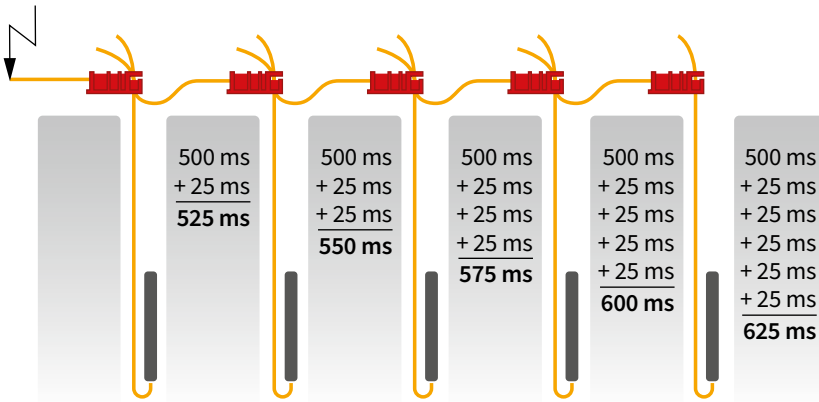


Abb. 11 Aufbau einer nichtelektrischen Zündanlage mit Kurzzeitzündern und Oberflächenverzögerern

1.2.4 elektronische Zündsysteme

Im Kapselboden elektronischer Zünder befindet sich wie bei den elektrischen und nichtelektrischen Zündern eine Sprengkapsel der Stärke Nr.8. Hinter der Sprengkapsel ist eine Anzündpille angeordnet, die der Anzündpille des elektrischen Zünder ähnlich ist. Anstelle des pyrotechnischen Verzögerungssatzes zwischen Anzündpille und Primärladung der Sprengkapsel befindet sich ein Mikrochip und ein Kondensator vor der Anzündpille. Der Mikrochip steuert das Zeitverhalten des elektronischen Zünder. Der Kondensator übernimmt die Aufgabe der Stromversorgung für die Anzündpille (Zündstrom) und den Mikrochip.

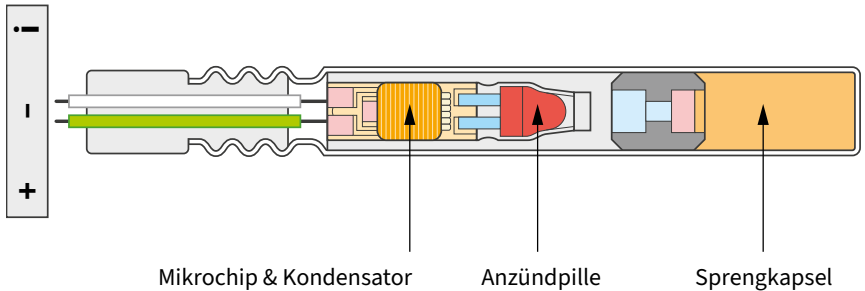


Abb. 12 schematischer Aufbau eines elektronischen Zünders

Elektronische Zündsysteme bestehen aus verschiedenen Systemkomponenten wie z. B. Logger, Blaster, Busleitung und entsprechende elektronische Zünder.

Die Zünder und die anderen Systemkomponenten der einzelnen Hersteller sind nicht kompatibel. **Der Einsatz eines elektronischen Zündsystems bedarf einer systemspezifischen Schulung.**

Elektronische Zündsysteme besitzen in der Regel folgende Merkmale:

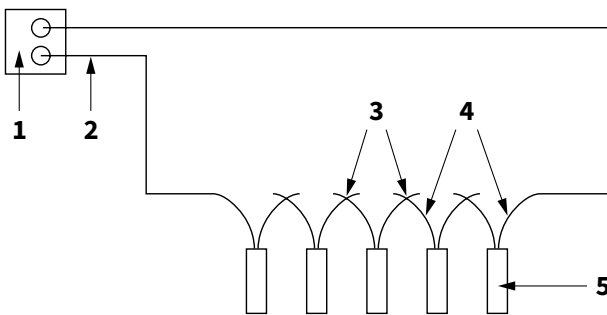
- die Zündsysteme arbeiten mit frei programmierbaren Zündern, eine aufwändige Lagerhaltung entsprechend der erforderlichen Zeitstufen kann somit entfallen;
- diese Zündsysteme ermöglichen Verzögerungszeiten von 0 bis 30.000 ms;
- die Zünder können in einem zeitlichen Abstand von 0,5 ms bzw. 1 ms programmiert werden;
- zwischen Mess-/Zündgeräten und Zündern existiert in der Regel eine Zwei-Wege-Kommunikation, dadurch ergibt sich eine hohe Sicherheit und erforderlichenfalls eine sehr komfortable und zeitsparende Fehlersuche;
- in einem Zündgang können mehrere tausend Zünder gezündet werden.

2 Zündung

Die Zündung von einzelnen Sprengladungen oder ganzer Sprenganlagen erfolgt je nach eingesetztem Zündsystem durch systemzugehörige Zündmaschinen bzw. Zündgeräte. Unabhängig vom eingesetzten Zündsystem ist vor jeder Zündung sicherzustellen, dass alle zur Zündung vorgesehenen Sprengladungen in der Zündanlage eingebunden sind und alle Sprengladungen bei der Zündung zur Umsetzung kommen.

2.1 elektrische Zündung

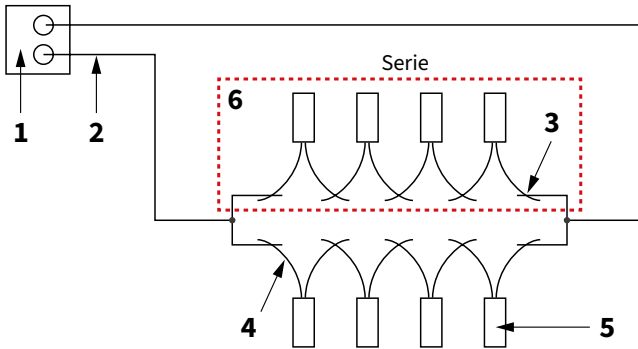
Bei der elektrischen Zündung werden die Zünder in der Regel in einer Reihenschaltung miteinander verbunden. Eine Sonderform ist die Serien-Parallelschaltung (z. B. bei Abbruchsprengungen). Innerhalb eines Zündkreises dürfen nur Zünder eines Herstellers und einer Zünderklasse verwendet werden.



- 1 Zündmaschine
- 2 Zündleitung
- 3 Verbindungsstelle (Kuppelstelle)
- 4 Zünderdraht
- 5 Zünder

$$n_{ZR} = 5$$

Abb. 13 Reihenschaltung



- 1 Zündmaschine
- 2 Zündleitung
- 3 Verbindungsstelle (Kuppelstelle)
- 4 Zünderdraht
- 5 Zünder
- 6 Serie = Zünderkettenteil in RS

$$n_s = 2$$

$$n_{zs} = 4$$

Abb. 14 Serien-Parallelschaltung

Für die Erstellung des Zündkreises können weiterhin Zündleitungen und Verlängerungsdrähte als Verbindungsleitung zwischen einzelnen Zündern sowie zwischen der Zündergruppe und der Zündleitung zum Einsatz kommen. Zündleitungen und Verlängerungsdrähte gibt es in den Ausführungen Stahl oder Kupfer, sie sind an der Farbe der Isolierung zu erkennen.

Die Berechnung des Zündkreiswiderstandes bei der Reihenschaltung erfolgt nach der Formel:

$$R_{ges} = n_z \times R_z + R_v + R_{zL}$$

- R_{ges} : Gesamtwiderstand des Zündkreises
 R_z : Widerstand des Zünders
 R_v : Widerstand des Verlängerungsdrahtes
 R_{zL} : Widerstand der Zündleitung
 n_z : Anzahl der Zünder im Zündkreis

Zündkreisberechnung

Widerstände – gemessen in Ohm [Ω]

U-Zünder (siehe auch Angaben auf Verpackung)

Glühbrücke	ca. $0,6\Omega$
Zünderdrähte in Stahl (je Meter)	$0,4\Omega$

Beispiel: U-Zünder mit 3 m langen Zünderdrähten

Glühbrücke	ca. $0,6\Omega$
3 m lange Zünderdrähte $3\text{ m} \times 2 \times 0,4\Omega/\text{m}$	$2,4\Omega$
Gesamtwiderstand	ca. $\overline{3,0\Omega}$

HU-Zünder (siehe auch Angaben auf Verpackung)

Glühbrücke	ca. $0,05\Omega$
Zünderdrähte in Kupfer (je Meter)	$0,065\Omega$

Beispiel: HU-Zünder mit 4 m langen Zünderdrähten

Glühbrücke	ca. $0,05\Omega$
4 m lange Zünderdrähte $4\text{ m} \times 2 \times 0,065\Omega/\text{m}$	$0,52\Omega$
Gesamtwiderstand	ca. $\overline{0,57\Omega}$

Verlängerungsdrähte

Graue Isolierung (Stahldraht verkupfert)	0,4Ω/m
Grüne Isolierung (Kupferdraht verzinkt)	0,065Ω/m

Zündleitungen werden doppelt als verseilte Leitungen oder Stegleitungen verwendet

Rote Isolierung (Stahldraht verkupfert)	10,0Ω/100 m (doppelt)
Gelbe Isolierung (Kupferdraht verzinkt)	3,6Ω/100 m (doppelt)



Achtung

Bei Verwendung von HU-Zündern (Klasse IV) darf die Zünderdrahtlänge 3,50 m nicht unterschreiten.

Bei Verwendung von HU-Zündern sollten Verlängerungsdraht und Zündleitung aus Kupfer bestehen, um den Gesamtwiderstand möglichst gering zu halten.

Beispiel:

1.	36 Stück U-Kurzzeitzünder mit 3 m langen Stahldrähten		
	$36 \times (0,6\Omega + 3\text{ m} \times 2 \times 0,4\Omega/\text{m})$	=	$36 \times 3,0\Omega$ 108Ω
	65 m Verlängerungsdraht in Stahl	=	$65\text{ m} \times 0,4\Omega/\text{m}$ 26Ω
	300 m Zündleitung in Stahl	=	$300\text{ m} \times 10\Omega/100\text{ m}$ 30Ω
	Gesamtwiderstand		<u>164Ω</u>

Da die oben genannten Widerstandswerte Durchschnittswerte darstellen, empfiehlt es sich in der Praxis, die Widerstände der verwendeten Zünder zu messen und mit diesen Messwerten weiter zu rechnen.

Mit Hilfe eines Zündkreisprüfgerätes wird der Widerstand des elektrischen Zündkreises oder der Widerstand von Teilbereichen des Zündkreises gemessen. Zündkreisprüfgeräte gibt es mit analogen und digitalen Anzeigen.

Zur Überprüfung des Zündkreises ist der zuvor berechnete Zündkreiswiderstand mit dem gemessenen Widerstand zu vergleichen. Weichen die Werte um mehr als 5% voneinander ab, darf nicht gezündet werden und es muss überprüft werden, ob alle Zünder mit dem Zündkreis verbunden wurden oder ein anderer Fehler vorliegt.

Neben der Überprüfung des Zündkreiswiderstandes muss bei der elektrischen Zündung auch eine Nebenschlussmessung durchgeführt werden, um den Isolationszustand des Zündkreises zu überprüfen und so letztendlich Versager durch Strommangel zu vermeiden. Für die Nebenschlussmessung gibt es Isolationsmessgeräte in Form von Aufsatzgeräten für ältere Zündkreisprüfgeräte. Neuere Zündkreisprüfgeräte können auch die Funktion zur Nebenschlussmessung enthalten.

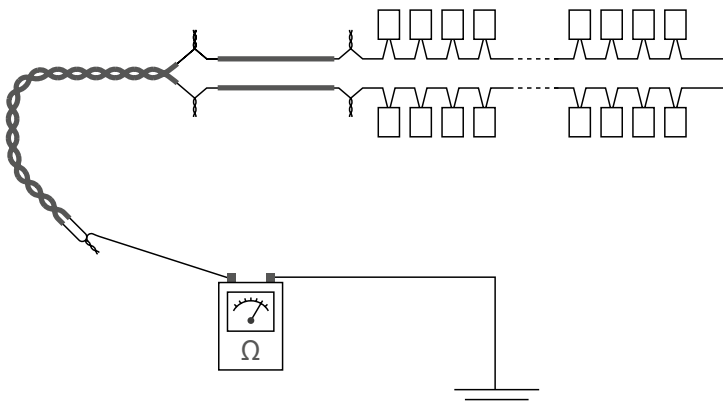


Abb. 15 Aufbau einer Nebenschlussmessung

Bei der Nebenschlussmessung darf der gemessene Widerstand nicht kleiner als das 10-fache des gemessenen Gesamtwiderstandes des Zündkreises sein.

Zur Zündung von elektrischen Zündanlagen werden Kondensatorzündmaschinen eingesetzt. Zündmaschinen dürfen nur für den Zündertyp verwendet werden, der auf dem Typenschild aufgeführt ist, z. B. nur U-Zünder oder aber U-Zünder und HU-Zünder. Zu beachten ist, dass der gemessene Zündkreiswiderstand bei Reihenschaltung nicht höher ist als der auf der Zündmaschine angegebene Höchstwiderstand.

2.2 nichtelektrische Zündung

Der Aufbau nichtelektrischer Zündanlagen und letztendlich die Zündung nichtelektrischer Zünder und Zündanlagen kann auf unterschiedliche Art erfolgen. Grundsätzlich wird zwischen oberflächenverzögerten (Einsatz von Oberflächenverzögerern) und zeitstufenverzögerten (Bohrlochverzögerung) Zündanlagen unterschieden.

So werden bei Gewinnungssprengungen häufig nichtelektrische Zünder in Verbindung mit Oberflächenverzögerern eingesetzt, im Tunnelbau und bei Bauwerksprengungen nichtelektrische Zünder (Zeitstufenverzögerung), die durch eine Leitsprengschnur oder durch Bündelzünder initiiert werden.

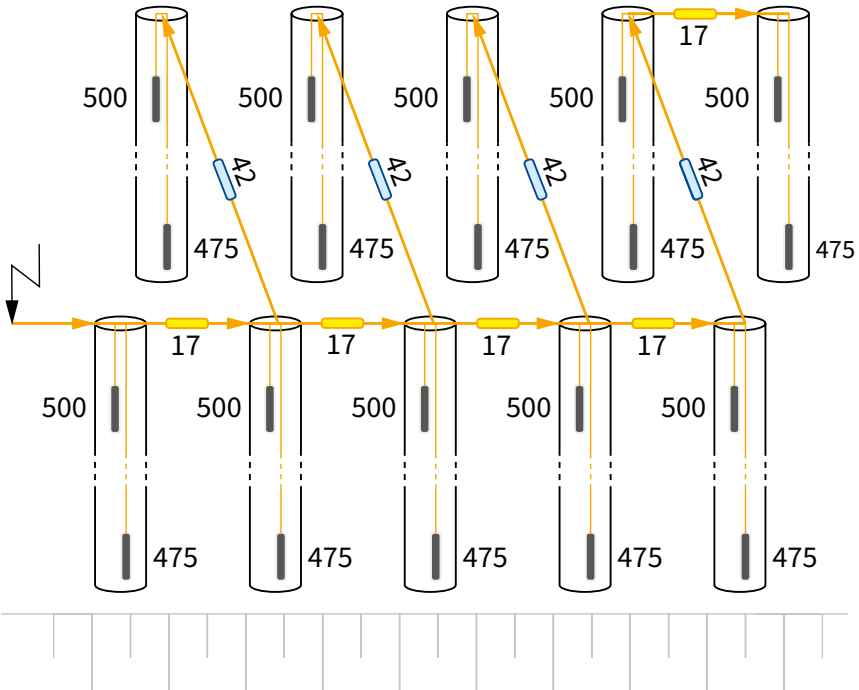


Abb. 16 Zwei-Reihen-Sprengung mit redundanter Zündung

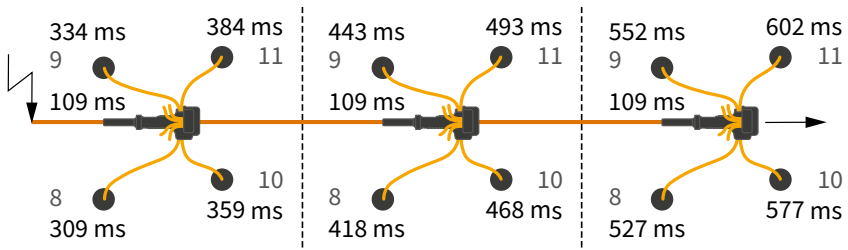


Abb. 17 Grabensprengung (Oberflächen- und Bohrlochverzögerung in Kombination)

Da bei der Zündung nichtelektrischer Zündanlagen die Initiierung der einzelnen Sprengladungen nacheinander erfolgt, ist bei der Planung darauf zu achten, dass Bereiche der Sprenganlage, die zuerst zur Umsetzung kommen, andere Anlagenbereiche nicht beschädigen (Zündvorlauf).

Die Auslösung nichtelektrischer Zündanlagen kann sowohl durch elektrische bzw. elektronische Zünder als auch durch spezielle Zündgeräte sowie durch Leitsprengschnur erfolgen. Weiterhin sind Kombinationen der unterschiedlichen Arten der Zündung in einer Zündanlage möglich.

Die geforderte Überprüfung einer nichtelektrischen Zündanlage ist nur durch eine gewissenhafte Inaugenscheinnahme möglich. Hierbei ist darauf zu achten, dass alle Verbindungen von Zündern, Oberflächenverzögerern und Sprengschnüren fachgerecht ausgeführt wurden und dass eine Unterbrechung der Zündfolge durch ein Abschlagen von Zündschläuchen aufgrund von Splitterflug ausgeschlossen werden kann.

Darüber hinaus muss eine Anlaufstrecke der Zündschläuche von mindestens 1 m gewährleistet sein, es sei denn der Hersteller macht abweichende Angaben. Die Anlaufstrecke ist die Schlauchlänge zwischen dem Initialisierungspunkt und dem Zünder bzw. Oberflächenverzögerer. Damit wird der Aufbau einer stabilen Reaktionsfront (Schockwelle) im Zündschlauch gewährleistet.

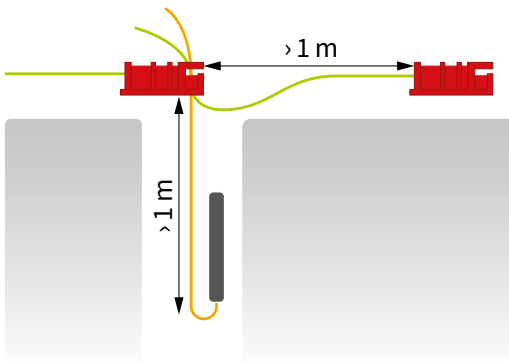


Abb. 18 Darstellung der Anlaufstrecke

2.3 elektronische Zündung

Elektronische Zünder besitzen in der Regel keine Zeitstufen, sie sind frei programmierbar, was u. a. die Lagerhaltung vereinfacht. Zünder eines Herstellers und Systems unterscheiden sich baulich nur durch ihre Zünderdrahtlänge. Damit beim Aufbau einer elektronischen Zündanlage jeder einzelne Zünder vom System erkannt und angesprochen werden kann, besitzen elektronische Zünder eine individuelle Kennung bzw. Zünder-ID.

Grundlegende Arbeitsschritte zur Anwendung elektronischer Zünder:

1. Auslesen der Zünder-ID vom Zünder (Datenlogger) oder Zünderetikett (Scanner oder RFID)
2. Der ausgelesenen Zünder-ID wird eine Verzögerungszeit zugewiesen
3. Erstellen des Zündkreises, programmieren und auslösen der Zünder über das Zündgerät

Ist der elektronische Zündkreis erstellt, so kann mit Hilfe des Systemzubehörs der Zündkreis hinsichtlich der Anzahl der Zünder und auf Isolationschäden überprüft werden. Bei Systemen mit bidirektionaler Kommunikation wird dabei jeder einzelne am Zündkreis angeschlossene Zünder angesprochen und auf eine Antwort gewartet. Antworten Zünder nicht, so werden diese als Fehler dem Anwender gemeldet.

Mit Hilfe elektronischer Zündanlagen kann eine sehr große Anzahl von Verzögerungszeiten realisiert werden. Damit verbunden können insbesondere im Gewinnungsbereich auftretende Sprengerschütterungen verringert werden. Ein weiterer Vorteil besteht in der hohen Zündgenauigkeit dieses Zündsystems. Die Genauigkeit der einzelnen Zündzeitpunkte mit einer Toleranz von < 1 ms kann bei Gewinnungssprengungen die Bagger- und Ladefähigkeit des Haufwerkes erheblich verbessern. Bei Sprengarbeiten im Tunnelbau kann sich dies im Hinblick auf eine hohe Profیلgenauigkeit als vorteilhaft erweisen. Durch die gleichzeitige Zündung der Kranzbohrlöcher kann ein sehr genauer Abriss am Gebirge erfolgen, der zu einem sehr guten Profیل führt. Somit kann ein Großteil bisheriger Nacharbeiten, die bei Über- oder Unterprofil erforderlich waren, entfallen.

3 Sprengverfahren

In dieser DGUV Information werden die Sprengverfahren Reihensprengung, Flächensprengung, Knäppersprengung, Grabensprengung, Fundamentalsprengung und Sprengung von Stubben näher erläutert.

Die Vermessung und Lademengenberechnung von Reihensprengungen ist in der DGUV Information 213-006 ausführlich beschrieben.

3.1 Reihensprengung

Grundsätzlich unterscheidet man bei Gewinnungssprengungen zwischen Ein- und Mehrreihensprenganlagen. Der Bohrlochdurchmesser liegt bei Gewinnungssprengungen in der Regel zwischen 76 mm und 140 mm.

Während bei einer einreihigen Sprenganlage die Vorgabe meistens etwas größer ist als der Bohrlochabstand (Abb. 20), entspricht die Vorgabe weiterer Bohrlochreihen häufig dem Bohrlochabstand innerhalb einer Reihe. Bei Gewinnungssprengungen im Steinbruch werden die Bohrlöcher der verschiedenen Bohrlochreihen in der Regel versetzt angeordnet. Bei niedrigeren Bruchwänden oder bei Sprengarbeiten in Baugruben, bei denen Vorgabe und Seitenabstand kleiner sind, werden die Bohrlöcher häufig quadratisch angeordnet (Abb. 21). Die Gründe, sich für eine Ein- oder Mehrreihensprenganlage zu entscheiden, können vielfältig sein und sind von den örtlichen und geologischen Verhältnissen abhängig.

Einreihige Sprenganlagen:

- Reduzierung von Sprengerschütterungen
- Selektiver Gesteinsabbau

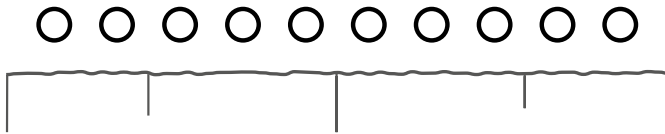
Zweireihige Sprenganlagen:

- Gerader Wandabschluss nach der Sprengung
- Gute Zertrümmerung des Gesteins zwischen den Bohrlochreihen
- Größeres Ausbruchsvolumen bei einem vergleichbaren Planungsaufwand

Mehrreihige Sprenganlagen:

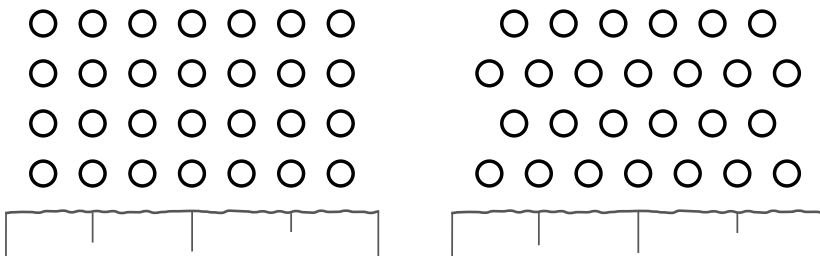
- Größere Sprenganlagen für den Einsatz mechanisch geladener Sprengstoffe
- Gute Zertrümmerung des Gesteins zwischen den Bohrlochreihen
- Größeres Ausbruchsvolumen bei einem vergleichbaren Planungsaufwand
- Sprengarbeiten zur Auflockerung des Gebirges zum Beispiel im Abraum

In einer groben Näherung entspricht die Vorgabe der ersten Bohrlochreihe in etwa dem 40-fachen des Bohrlochdurchmessers. Bei der Planung von Sprenganlagen ist insbesondere die Anforderung zur Vermeidung von Steinflug zu beachten. Moderne Messsysteme zur Ermittlung der Vorgaben sind hier eine große Hilfe.



Verhältnis von Seitenabstand zu Vorgabe **1:1 bis 1:1,5**

Abb. 19 Einreihensprenganlage



Verhältnis von Seitenabstand zu Vorgabe **1:0,8 bis 1:1,2**

Abb. 20 Mehrreihensprenganlage

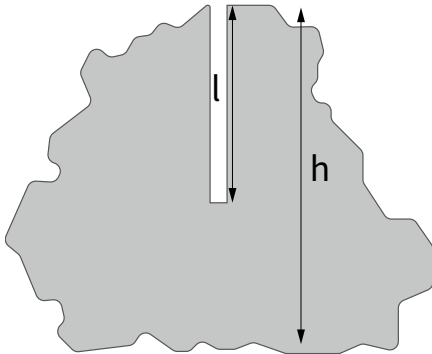
3.2 Flächensprengung

Flächensprengungen bestehen aus mehreren Bohrlochreihen, die Bohrlöcher sind häufig nur wenig geneigt oder senkrecht gebohrt, da die seitliche freie Fläche zur Aufnahme der Volumenvorgabe fehlt oder nicht ausreicht. Mit der Sprengung geht häufig eine deutliche Volumenvergrößerung nach oben einher. Auf einen ausreichenden Endbesatz ist zu achten. Flächensprengungen werden zum Beispiel für

- das Herstellen von Baugruben,
- das Auflockern von Gestein,
- das Sprengen von Abraum und
- das Auffahren neuer Sohlen oder eines Pumpensumpfes durchgeführt.

3.3 Knäppersprengung

Wenn die mechanische Nachzerkleinerung unerwünscht großer Stücke (Knäpper) nicht möglich ist, bietet sich die Zerkleinerung durch Sprengen an. **Hierbei ist die Gefahr von Steinflug besonders hoch.** Daher kommt der Lademengenberechnung eine herausragende Bedeutung zu. Der Sprengbereich sollte großzügig bemessen werden.



Der Sprengstoffaufwand q sollte im Normalfall 50 g/m^3 nicht überschreiten.

Beim Bohrlochknäppern wird der Knäpper auf die Hälfte bis $2/3$ seiner Höhe kleinkalibrig angebohrt.

$$0,5 h < l < 2/3 h$$

Abb. 21 Bohrlochanordnung bei Knäppersprengung

Um Steinflug zu vermeiden, sollte die Form des Knäppers sorgfältig bewertet werden (allseitige Vorgabe beachten).

3.4 Grabensprengung

Wenn der Aushub von Gräben ohne vorherige Auflockerung nicht zu bewältigen ist, bietet sich die Sprengtechnik an. Hierbei sollen in der Regel keine Massen ausgeworfen werden. In vielen Fällen genügt eine baggergerechte Auflockerung des Gesteins.

Berechnung mit der Formel nach Hauser:

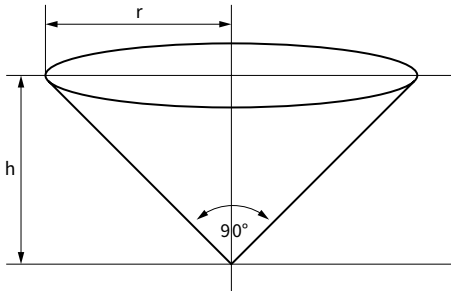


Abb. 22 Volumenberechnung eines Kegels

Volumenberechnung eines Kegels:

$$V = \frac{A \times h}{3} = \frac{r^2 \times \pi \times h}{3}$$

In diesem rechtwinkligen Dreieck sind die beiden Schenkel gleich. Somit ist in der Berechnung h gleich r. Setzt man näherungsweise π gleich 3, so lautet die vereinfachte Formel:

$$V = r^3$$

In der Hauserschen Formel wird das r mit Wirkkreisradius bezeichnet und bekommt das Formelzeichen w.

Aus der Erfahrung weiß man, dass, je nachdem wie eine Sprengladung verdämmt ist, der Sprengerfolg mehr oder weniger groß ist. Dieser Einflussfaktor wird Verdämmungswert d genannt und ist dimensionslos.

Typische Verdämmungswerte d:

- verdämmt Bohrladung (Ladung mittig im Sprengobjekt) 1
- Ladung bündig in das Sprengobjekt eingelegt 2
- angelegte Ladung (verdämmt) 3,5
- angelegte Ladung (unverdämmt) 4,5

Ebenso spielt es eine große Rolle, welches Material gesprengt werden muss. Dies geht in der Hauserschen Formel als Festigkeitskoeffizient c-Wert ein.

$$L = w^3 \times c \times d$$

Bohrlochabstand $a=2w$:

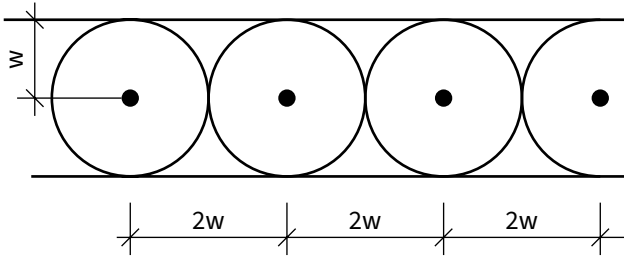


Abb. 23 Wirkkreise mit Bohrlochabstand $a=2w$

Bohrlochabstand $a=w$:

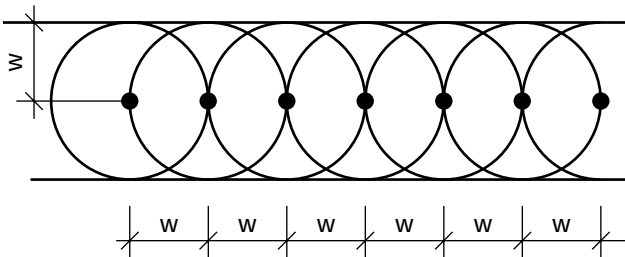


Abb. 24 Überlappende Wirkkreise mit Bohrlochabstand $a=w$

$$L = \frac{w^3 \times c \times d}{2}$$

Im Allgemeinen wird die zweite Formel eingesetzt, da die erste nur zur Berührung der Zerstörungsradien führt.

Eine Grabensprengung wird so gestaltet, dass $w =$ Bohrlochtiefe.

c-Werte für Grabensprengungen im Fels:

Schiefer: $0,3 \text{ kg/m}^3$

Kalk: $0,3\text{--}0,4 \text{ kg/m}^3$

Hartgestein: $0,4\text{--}0,6 \text{ kg/m}^3$

Diese Werte sind Anhaltswerte, sie bedürfen der Überprüfung durch Versuchssprengungen.

Beispiel für die Anwendung der Hauserschen Formel:

Folgender Graben soll durch Sprengen im Kalk gelöst werden:

Grabenbreite: $0,90 \text{ m}$

Grabentiefe: $1,00 \text{ m}$

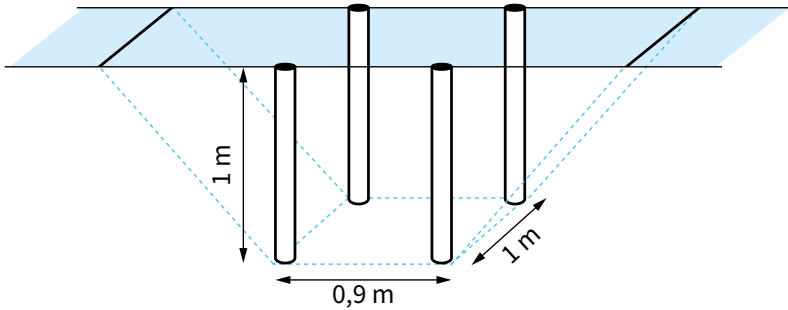
c-Wert: $0,35 \text{ kg/m}^3$

d-Wert: $1,0$

Lademenge pro Bohrloch:

$$L = \frac{w^3 \times c \times d}{2} = \frac{(1,00\text{m})^3 \times 0,35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1}{2} = 0,175\text{kg}$$

Schnitt



Grundriss

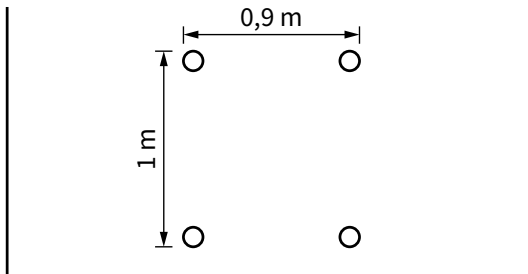


Abb. 25 Schematische Darstellung einer Grabensprengung

Alternativ zur Berechnung mit der Hauserschen Formel kann die Lademengenermittlung in Abhängigkeit von einer Volumenvorgabe erfolgen:

$$L = V_A \times q$$

L = Lademenge in kg

V_A = Ausbruchvolumen in m^3

q = spezifischer Sprengstoffbedarf in kg/m^3

Der c-Wert (spezifischer Sprengstoffaufwand) aus der Formel nach Hauser kann nicht mit dem q-Wert aus der Lademengenermittlung nach Volumen gleichgesetzt werden.

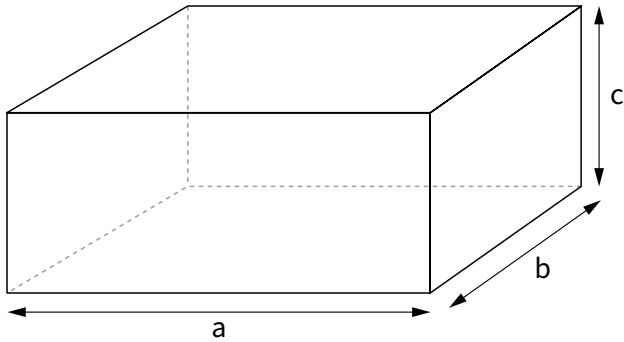


Abb. 26 Volumenberechnung eines Quaders

$$V_A = a \times b \times c$$

Die Anzahl der Bohrlöcher und die Verteilung der Ladung muss dann gesondert betrachtet werden.

3.5 Fundamentsprengung

3.5.1 Sprengen von Betonfundamenten

Wenn die mechanische Zerkleinerung von Betonfundamenten nicht durchführbar oder zu aufwändig ist, bietet sich die Sprengtechnik an.

Die Lademengenberechnung erfolgt wie bei Grabensprengungen mit Hilfe der Formel nach Hauser. Hierbei wird aufgrund der Anzahl und Position der Bohrlöcher die Lademenge pro Bohrloch ermittelt.

Alternativ kann die Gesamtlademenge auch über die Volumenberechnung ermittelt werden. Die Anzahl der Bohrlöcher und die Verteilung der Ladung muss dann gesondert betrachtet werden.

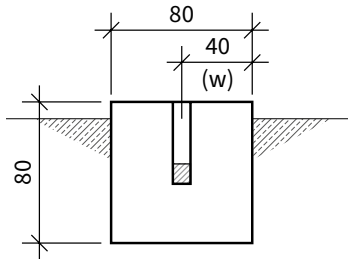


Achtung

Der c-Wert (spezifischer Sprengstoffaufwand) aus der Formel nach Hauser kann nicht mit dem q-Wert aus der Lademengenberechnung nach Volumen gleichgesetzt werden. Beim Sprengen von Fundamenten ist w der Abstand zur nächsten freien Fläche. Im Gegensatz zur Grabensprengung ist w nicht gleich der Bohrlochtiefe.

c-Werte: Beton: 2,0–3,0 kg/m³
 Stahlbeton: 3,0–3,5 kg/m³

Beispiel:



Betonfundament: $c = 3,0 \text{ kg/m}^3$

Breite: $0,80 \text{ m}$

Tiefe: $0,80 \text{ m}$

gewählter Bohrlochabstand $w = 0,4 \text{ m}$

$$L = \frac{w^3 \times c \times d}{2} = \frac{(0,4\text{m})^3 \times 3,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1}{2} = 0,1 \text{ kg}$$

bei Bohrlochabstand $2w = 0,8 \text{ m}$:

$$L = 0,2 \text{ kg}$$

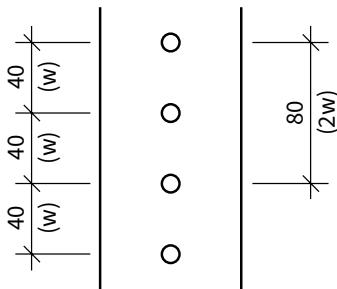


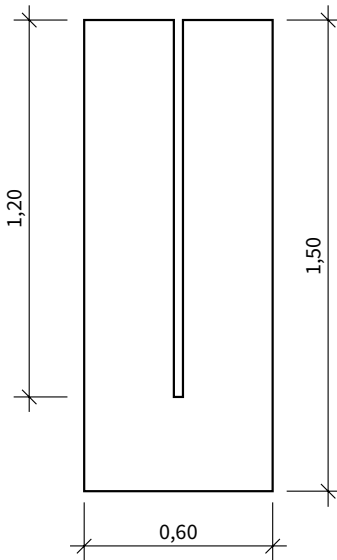
Abb. 27 Schematische Darstellung einer Fundamentsprengung

3.5.2 Sprengen von hohen/schlanken Fundamenten

Bei Fundament- bzw. Materialhöhen über $2w$ wird die Hausersche Formel mit dem Faktor L_z multipliziert.

dabei ist $L_z = \frac{\text{Gesamthöhe}}{2w}$

Beispiel:



Fundamentbreite: 0,6 m

Gesamthöhe: 1,50 m

Bohrlochtiefe: 1,20 m

Bohrlochabstand $w = 0,30$ m

$c = 2,0$ kg/m³

$d = 1,0$

$$L = \frac{w^3 \times c \times d \times L_z}{2}$$

$$\text{dabei ist } L_z = \frac{1,50\text{m}}{2 \times 0,30\text{m}} = 2,5$$

$$L = \frac{(0,30\text{m})^3 \times 2,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,0 \times 2,5}{2} = 0,068\text{kg}$$

Abb. 28 Bemessung einer schmalen und hohen Fundamentsprengung

Gewählter Endbesatz: 0,30 m

Ladesäule: 0,90 m

Gewählt: Sprengschnur 40 g/m

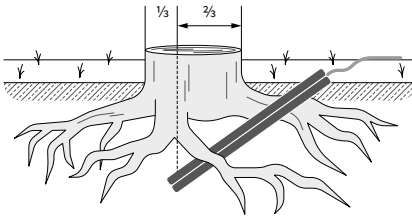
Länge = 1,70 m entspricht 0,068 kg Sprengstoff, von unten her doppelt eingelegt

3.6 Stubbensprengungen

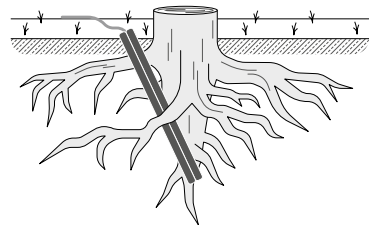
Stubbensprengungen sind Sprengungen zum Anheben, Zerkleinern oder Auswerfen von Baumstubben oder Baumwurzeln.

Für Stubbensprengungen ist grundsätzlich die Fachkunde für Kultursprengungen erforderlich. Die Sprengung einzelner Stubben ist mit der Fachkunde für allgemeine Sprengarbeiten möglich.

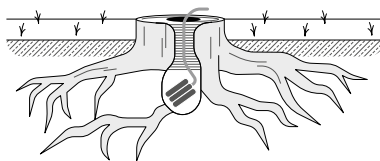
Durch die Sprengung wird überwiegend eine Auflockerung des Untergrundes erreicht. Zur Vermeidung von Schäden an Gebäuden und Bauwerken sowie zur Herstellung flacher Sprengtrichter ist es ratsam, die Stubben nur anzusprenge und anschließend mechanisch zu roden.



Flachwurzler



Pfahlwurzler



morscher Stubben

Abb. 29 Ladungsanordnungen

Die Lademengenbemessung beim Sprengen von Stubben hängt von vielen Faktoren ab:

- Holzart (Hart-, Weichholz)
- Wurzelform (Flach-, Pfahlwurzler)
- Stubbendurchmesser
- Untergrund (fest, lose)
- Schnittalter
- Sprengstoffart
- Standort

Beim Ansprengen (Anreißen der Baumwurzeln für das nachträgliche Roden mit Maschineneinsatz) von Stubben wird jedoch nur die Hälfte der Lademenge eingesetzt.

Lademengen (gelatinöser Sprengstoff) für das Sprengen von Baumstubben in Gramm je 0,10 m Stubbendurchmesser (für Durchmesser von 0,30 bis 0,90 m):

		fester Untergrund	loser Untergrund
Hartholz	Flachwurzler	170 g	300–400 g
	Pfahlwurzler	250 g	350–450 g
Weichholz	Flachwurzler	85 g	200 g
	Pfahlwurzler	150 g	250–350 g

Zuschläge:

- frisch geschnitten: 10–20%
- Durchmesser > 0,90 m: 20%
- Durchmesser > 2,00 m: 50%
- Starke Verwurzelung: 20–30%

Abschläge:

- Schnittalter > 1 Jahr: 10%
- Schnittalter > 2 Jahre: 10–20%
- Schnittalter > 3 Jahre: 25–40%

Beispiel für Lademengenberechnung:

Es ist ein Buchenstubben mit Kranzwurzeln und einem Durchmesser von 1,00 m, im Heidesand stehend, zu sprengen. Er hat ein Schnittalter von 3 Jahren und soll nur angerissen werden.

Als Sprengstoff steht gelatinöser Sprengstoff zur Verfügung. Zur Erhöhung der Sprengwirkung wird unter die Sprengladung ein Stein gelegt.

- Erfahrungswert: für 0,10 m Durchmesser sollten 350 g gelatinöser Sprengstoff eingesetzt werden
- Zuschlag für Durchmesser > 0,90 m: 20% der ermittelten Gesamtlademenge
- Abzüge:
 - 30% für Anreißen des Stubbens
 - 30% für 3-jähriges Schnittalter
 - 10% für Erhöhung der Sprengwirkung durch untergelegten Stein
 - 70% Abzug gesamt

Somit ergibt sich eine Lademenge von

$10 \times 0,1 \text{ m} \times 350 \text{ g/m gelatinöser Sprengstoff} = 3500 \text{ g}$

Zuschlag von 20%: =700 g

Gesamtabzug von 70% = 2940 g

Die einzusetzende Lademenge beträgt: $3500 \text{ g} + 700 \text{ g} - 2940 \text{ g} = 1260 \text{ g}$ gelatinöser Sprengstoff.

4 Emissionen

Emissionen, die am Ort einer Sprengung entstehen, sind insbesondere Erschütterungen, Lärm, Schwaden und Staub, die bei der Planung von Sprengarbeiten im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung betrachtet werden müssen.

Emissionen am Entstehungsort können zu Immissionen am Ort der Einwirkung führen.

4.1 Erschütterungen

Erschütterungsimmissionen sind schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne von §3 Abs.1 BImSchG, wenn sie nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen (Erschütterungsrichtlinie vom 06.03.2018; Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)).

In der Erschütterungsrichtlinie wird auf die DIN 4150 verwiesen:

- DIN 4150-1 Vorermittlung von Schwingungsgrößen
- DIN 4150-2 Einwirkung auf Menschen in Gebäuden
- DIN 4150-3 Einwirkung auf bauliche Anlagen

Bei der Durchführung von Erschütterungsmessungen sind die Anforderungen nach der DIN 45669-2 zu beachten. Die Messgeräte, die benutzt werden, müssen die Anforderungen gemäß DIN 45669-1 erfüllen. Die Messstellen sind vorzugsweise auf der Gebäudeseite anzuordnen, die der Erregung zugewandt ist.

Für die Beurteilung der Gesamtbauwerks-Erschütterungen sind die horizontalen Schwinggeschwindigkeiten in der obersten Deckenebene maßgebend. Es wird der größte Wert der beiden horizontalen Einzelkomponenten zugrunde gelegt. Alternativ zu einer direkten Messung in der obersten Deckenebene kann bei der Beurteilung kurzzeitiger Erschütterungen auch am Gebäudefundament gemessen werden.

Die DIN 4150 Teil 3 legt Verfahren für die Ermittlung und Beurteilung der durch Erschütterungen verursachten Einwirkungen auf bauliche Anlagen fest. Die Norm nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nach den bisherigen Erfahrungen nicht eintreten. Aus der Überschreitung der Werte folgt nicht, dass Schäden auftreten müssen.

Die nachfolgende Tabelle 3, die der DIN 4150 Teil 3 entnommen ist, nennt Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i, \max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke in Abhängigkeit von den Gebäudearten. Die frequenzabhängigen Anhaltswerte für Fundamenterschütterungen berücksichtigen das Übertragungsverhalten vom Fundament auf die oberste Deckenebene.

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $V_{i, \max}$ in mm/s				
		Fundament Frequenz			Oberste Deckenebene, horizontal	Vertikale Deckenschwingung
		1-10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz*	alle Frequenzen	
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20-40	40-50	40	20
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5-15	15-20	15	20
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3-8	8-10	8	(20)** ***

* Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.

** Bei der Gebäudeart nach Zeile 3 kann zur Verhinderung leichter Schäden eine deutliche Abminderung dieses Anhaltswertes notwendig werden.

*** Die Erschütterungsrichtlinie geht von Einzelfalluntersuchungen aus.

Abb. 30 Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit nach DIN 4150

4.2 Lärm, Staub und weitere Emissionen

Emissionen müssen soweit wie möglich reduziert werden.

Sprengschall:

Mit erhöhten Luftdruckwellen/Lärmbelastigungen muss gerechnet werden, wenn

- die Detonation nicht im Einschluss erfolgt oder
- die Sprengladung zu gering verdammt wurde.

Die wesentlichste Maßnahme zur Minimierung bzw. Vermeidung von Luftdruckwellen ist eine optimale Verdämmung (z. B. durch ausreichenden Endbesatz). Dies kann man u. a. durch die Mächtigkeiten der Verdämmung und des verwendeten Materials erreichen.

Weitere mögliche Maßnahmen:

- Einbau von Zündern und Sprengschnurenden in das Bohrloch
- Abdecken von Sohlbohrlöchern
- Sprengen zu Tageszeiten verminderter Stöempfindlichkeit

Staub:

Der Staub, der bei Sprengungen wahrgenommen wird, ist zum einen das Resultat aus dem Zermalmungseffekt in der Detonationszone. Zum anderen kann er das Ergebnis von äußeren Bedingungen sein, z. B. verursacht durch den Aufprall des Sprengobjektes in das vorbereitete Fallbett. Die Staubintensität ist demzufolge abhängig von den zu sprengenden Materialien und den Rahmenbedingungen. Von Vorteil ist es, wenn bereits bei der Planung des Sprengvorhabens geeignete Maßnahmen der Staubminimierung bzw. -bekämpfung berücksichtigt werden.

Mögliche Maßnahmen:

- Anfeuchten des zu sprengenden oder gesprengten Materials mit Wasser
- Geeignetes Besatzmaterial
- Windrichtung beachten

Schwaden:

Sprengschwaden enthalten immer gesundheitsgefährliche Anteile an toxischen Gasen (CO und/oder NO_x). Diese Gase befinden sich unmittelbar an der Sprengstelle, aber z. B. auch im Haufwerk.

Durch entsprechende Sicherheitsvorkehrungen ist zu vermeiden, dass Personen einem erhöhten Expositionsrisiko ausgesetzt werden. Dieses kann z. B. erreicht werden:

- indem Sprengstoffe verwendet werden, deren Schwaden wenig toxische Gase enthalten (z. B. Emulsionssprengstoffe);
- indem die Sprengstelle erst dann betreten wird, wenn die Sprengschwaden abgezogen sind.

5 Quellen und Literaturverzeichnis

Europäische Richtlinien

- Richtlinie 2014/28/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung auf dem Markt und die Kontrolle von Explosivstoffen für zivile Zwecke
- Richtlinie 2008/43/EG der Kommission vom 4. April 2008 zur Einführung eines Verfahrens zur Kennzeichnung und Rückverfolgung von Explosivstoffen für zivile Zwecke gemäß der Richtlinie 93/15/EWG des Rates
- Richtlinie 2012/4/EU der Kommission vom 22. Februar 2012 zur Änderung der Richtlinie 2008/43/EG zur Einführung eines Verfahrens zur Kennzeichnung und Rückverfolgung von Explosivstoffen für zivile Zwecke gemäß der Richtlinie 93/15/EWG des Rates

Gesetze, Verordnungen, Regeln

Bezugsquelle: Buchhandel und Internet: z. B. www.gesetze-im-internet.de, www.baua.de

- Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz – SprengG)
- Erste Verordnung zum Sprengstoffgesetz (1. SprengV)
- Zweite Verordnung zum Sprengstoffgesetz (2. SprengV)
- Dritte Verordnung zum Sprengstoffgesetz (3. SprengV)

Technische Regeln

- Technische Regel zum Sprengstoffrecht Kennzeichnung von explosionsgefährlichen Stoffen, deren Verpackung und Sprengzubehör, Spreng TR 100
- Technische Regel zum Sprengstoffrecht Sprengarbeiten, Spreng TR 310

DGUV Vorschriften- und Regelwerk

Bezugsquelle: Bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger und unter www.dguv.de/publikationen

- DGUV Vorschrift 29 „Steinbrüche, Gräbereien und Halden“ (Webcode: p000300)
- DGUV Regel 113-601 „Gewinnung und Aufbereitung von mineralischen Rohstoffen“ (Webcode: p113601)
- DGUV Information 213-110 „Sprengarbeiten“ (Webcode: p213110)
- DGUV Information 213-006 „Vermessung und Berechnung von Bohrlochsprengungen“ (Webcode: p213006)

Allgemein anerkannte Regeln der Technik

- Richtlinie Bauweise und Einrichtung der Lager für Sprengstoffe und Zündmittel, Spreng LR 210
- Richtlinie Diebstahlsicherung der Lager für Explosivstoffe und Gegenstände mit Explosivstoff, Spreng LR 230
- Richtlinie Aufbewahrung kleiner Mengen, Spreng LR 410

Normen

Bezugsquelle: DIN Media GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin und VDE-Verlag, Bismarckstraße 33, 10625 Berlin

- DIN 20163 Ausgabe 2024-09 „Sprengtechnik – Begriffe, Einheiten, Formelzeichen“
- DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“
- DIN 45669 „Messung von Schwingungsimmissionen“

Weiterführende Literatur

- **„Explosivstoffe“**, Josef Köhler, Rudolf Meyer, Axel Homburg
Das Fachbuch „Explosivstoffe“ beschreibt mehr als 550 Begriffe in alphabetischer Reihenfolge. Etwa 1.500 Suchworte befinden sich im Schlagwortregister. Die Wiedergabe der englischen und französischen Übersetzungen und die Erklärung von Kurzbezeichnungen machen dieses Buch zu einem umfassenden Lexikon.
ISBN: 978-3-527-32009-7
- **„Zünden von Sprengladungen“**, Gerd Vogel
Das Fachbuch „Zünden von Sprengladungen“ bietet umfangreiche Informationen über die Welt der Sprengtechnik.
ISBN: 978-3-926523-42-6
- **„Sprengtechnik – Anwendungsgebiete und Verfahren“**, Hellmut Heinze
Neben den sprengtechnischen theoretischen Grundlagen ermöglicht dieses Fachbuch einen umfassenden Einblick in nahezu alle Teilbereiche der Sprengtechnik. So erstreckt sich das Kapitel Sprengverfahren von Sprengungen im Gestein und Gebirge über Abbruchsprengungen bis hin zu speziellen Verfahren.
ISBN: 978-3-89998-254-1
- **„Sprengtechnik und Umwelt in der Praxis“**, Rolf Schillinger,
Dieses kompakte Praxisbuch enthält alles, was Sprengberechtigte vor Ort unbedingt wissen müssen, und ist ein wertvoller Leitfaden zur Lösung ihrer Aufgaben. Aufgrund der anschaulichen Aufbereitungsform eignet es sich auch für den Einsatz in der sprengtechnischen Ausbildung.
ISBN: 978-3-44647-608-0

**Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40

10117 Berlin

Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)

E-Mail: info@dguv.de

Internet: www.dguv.de

