

Hummig, Wolf-Ingo:

LEHRBUCH ZUM STAATLICH ANERKANNTEN SONDERLEHRGANG PYROTECHNIK

Pyrotechnik und Sprengeffekte für Film- und Fernsehproduktionsstätten, Freilichttheater und Schadensdarstellungen; Know-How, ausführlicher Erläuterung der Praxis, Vorschriften sowie gesetzliche Regelungen.

Der Inhalt entspricht dem staatlich vorgeschriebenen Lehrplan.

Im Lehrgang werden etwa 100 Sprengeffekte durchgeführt, somit ist dies der umfangreichste Sonderlehrgang in Deutschland.

Die Angaben basieren auf dem Stand der Gesetze und Vorschriften wie sie im Januar 2009 gültig waren. Nachdruck, insbesondere für Lehr- und Unterrichtszwecke, auch auszugsweise, nicht gestattet. Betriebsinternes Kopieren erlaubt.

Danksagung

unserem Herrn Jesus Christus, dem der gesamte Erfolg der Firma HUMMIG EFFECTS zu verdanken ist. Während den monatelangen Arbeiten für dieses Buch sorgte der Herr für eine Auftragslage, die uns noch genügend Zeit ließ, aber auch ausreichend finanzielle Mittel brachte, um dieses Buch zu schreiben.

Wolf-Ingo, Franziska, Lucas, Philipp, Moritz und Mebel Hummig und Aleksander Großmann

3. erweiterte und veränderte Auflage, 2009
ISBN-Nr.: 978-3-931360-22-1
Preis: 80,- EUR

© 2009 HUMMIG EFFECTS e. K., D-82378 Peißenberg
Postfach 52, Bergwerkstraße 9-11
Telefon +49 (0) 8803 6369-0 Telefax +49 (0) 8803 6369-190
Druck, Satz, Bindung: HUMMIG EFFECTS e. K.
- Printed in Germany -

Titelbild: Explodierendes Auto, mit Benzin und Schwarzpulver;
Fernsehserie „Der Bulle von Tölz“



Vom Verlag Hummig Effects sind folgende Lehrbücher (4 Bände) erschienen:

- ① Lehrbuch zum staatl. anerkannten Bühnenpyrotechnikerlehrgang ISBN 978-3-931360-13-9
- ② Lehrbuch zum staatl. anerkannten Sonderlehrgang Pyrotechnik ISBN 978-3-931360-22-1
- ③ Lehrbuch zum staatl. anerkannten Großfeuerwerkerlehrgang ISBN 978-3-931360-32-0
- ④ Lehrbuch zum Lehrgang „Mechanische Spezialeffekte & Pyrotechnik“ .. ISBN 978-3-931360-46-7

Lehrplan / Inhaltsverzeichnis

(lt. 1. SprengV Anlage 18.1)

Sonderlehrgang für den Umgang - ausgenommen das Herstellen und das Wiedergewinnen - mit explosionsgefährlichen Stoffen in Film- oder Fernsehproduktionsstätten (nach § 32 Abs. 3 der 1. SprengV)

Lehrplan / Inhaltsverzeichnis	3
0 Einführung	9
0.1 Organisatorisches zum Lehrgang	9
0.2 Pyrotechnik für Film- und Fernsehaufnahmen	12
1 Pyrotechnische Sätze, Gegenstände und Anzündmittel sowie andere Explosivstoffe	16
1.1 Allgemeine Begriffsbestimmungen	16
1.2 Pyrotechnische Sätze, Aufbau, Wirkungsweise, Eigenschaften, die gebräuchlichsten Satzarten, Schwarzpulver	17
1.3 Pyrotechnische Gegenstände, Aufbau, Wirkungsweise, Verwendung, die gebräuchlichsten pyrotechnischen Gegenstände, pyrotechnische Munition	23
1.4 Pyrotechnische Anzündmittel, Aufbau, Wirkungsweise, Verwendung, die gebräuchlichsten Arten sonstiger Spezialzündungen	47
1.5 Andere Explosivstoffe und Gegenstände mit Explosivstoff, Sprengeffekte	95
1.5.1 Pulversprengstoffe (Schwarzpulver)	97
1.5.2 Sprengkräftige Zünder / Filmeffektzünder	101
1.5.3 Sprengschnüre für Sprengeffekte	110
1.5.4 Sprengstoffe für Sprengeffekte	115
1.5.5 Darstellungsmittel für Sprengeffekte	123
1.5.6 Shocktube – Blitzschlauch	133
1.5.7 Weitere Effektmaterialien	136
1.5.8 Pyrotechnische Gegenstände der Klasse T	140
1.5.9 Feuerwerkskörper der Klasse IV für Sprengeffekte	144
1.5.10 Gas für Explosionseffekte	147
1.6 Einsatzbeispiele und Brandschutz	156
1.6.1 Abschussvorrichtungen, Mörser	156
1.6.2 Sprengeffekte mit Sprengschnur	197

1.6.3 Sprengeffekte mit Sprengstoffpatronen	208
1.6.4 Darstellung von Autoexplosionen	213
1.6.5 Explosionsdarstellungen und Stunts	223
1.6.6 Kugeleinschläge in unbelebte Objekte	228
1.6.7 Realistisch wirkende Körpereinschläge	232
1.6.8 Einsatzbeispiele für Filmeffektzünder	240
1.6.9 Allgemeine Praxistipps für Sprengeffekte	250
1.6.10 Praxistipps für Modellexplosionen	259
1.6.11 Praxistipps für Katastrophenschutzübungen	265
1.6.12 Feuereffekte für Filmaufnahmen	279
1.6.13 Brandschutz für Pyrotechniker	282

2 Rechtsvorschriften **294**

2.1 Rechtsvorschriften über das Bearbeiten, das Verarbeiten, das Aufbewahren, das Verwenden, das Vernichten sowie die Beförderung, das Erwerben sowie das Überlassen und die Empfangnahme von explosionsgefährlichen Stoffen innerhalb der Betriebsstätten und an Dritte außerhalb des Betriebes	294
2.1.1 Zulassung	294
2.1.2 Erlaubnis	295
2.1.3 Befähigungsschein	296
2.1.4 Anzeigepflichten	297
2.1.5 Schutzvorschriften, Verbote	299
2.1.6 Lärmschutzvorschriften	300
2.1.7 Kennzeichnungs- und Verpackungsvorschriften	300
2.1.8 Aufbewahrungsvorschriften	302
2.1.9 Aufbewahrungsvorschriften für Sprengmittel	305
2.1.10 Beförderungsvorschriften für Güter der Klasse 1 bis max. 20 kg netto	309
2.2 Rechtsgrundlagen	314
2.2.1 Sprengstoffgesetz (SprengG)	314
2.2.2 1. Verordnung zum Sprengstoffgesetz (1. SprengV)	330
2.2.3 2. Verordnung zum Sprengstoffgesetz (2. SprengV), Tabelle Anl. 6/6a	338
2.2.4 Gefahrgutverordnung Straße und andere Beförderungsvorschriften	349
2.2.5 Waffengesetz (WaffG), Erste und Dritte Verordnung zum Waffengesetz	357
2.2.6 Kriegswaffenkontrollgesetz (KWKG), Merkblätter über das Unbrauchbarmachen von Kriegswaffen	371

2.2.7 Strafgesetzbuch	373
2.2.8 Bürgerliches Gesetzbuch	375
2.2.9 Bußgeldvorschriften	376
2.2.10 Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Sprengstoffgesetz (SprengVwV)	377
3 Umgang mit zugelassenen pyrotechnischen Sätzen, Gegenständen, Anzündmitteln sowie anderen Explosivstoffen und Gegenständen mit Explosivstoff	384
3.1 Bearbeiten, Verarbeiten, Verwenden	384
3.1.1 Geeignete Räume	384
3.1.2 Geräte, Werkzeuge, Hilfsmittel	387
3.1.3 Arbeitsvorgänge, z. B. Mischen, Trocknen, Laborieren und weitere Fertigarbeiten, Experimentalvortrag	388
3.1.4 Satzmengen am Arbeitsplatz, Abfälle	390
3.2 Vernichten, Art und Ort der Vernichtung, Mengenbeschränkung, Gefahren, Vernichten von Sprengmitteln	390
3.3 Abstellen und Aufbewahren, (Beispiele aus der Praxis), Lager- und Verträglichkeitsgruppen, Mengen, Abstände, Kleinmengenregelung, Kennzeichnung	393
3.4 Verwenden	403
3.4.1 Sicherheitsabstände	403
3.4.2 Sicherheitsmaßnahmen	404
3.4.3 Sicherheitsmaßnahmen für das Abbrennen von pyrotechnischen Gegenständen der Kategorie 4 (F4)	407
3.4.4 Sicherheitsmaßnahmen PM I, PM II	412
3.4.5 Sicherheitsmaßnahmen Sprengeffekte	414
3.5 Spezielle Werkstoffkunde Sprengmittel	420
3.6 Ersatz pyrotechnischer Mittel durch weniger gefährliche Vorrichtungen, Ersatz sprengtechnischer Mittel	430
3.7 Erweiterte Waffenkunde	436
4 Berufsgenossenschaftliche Bestimmungen	443
4.1 Unfallverhütungsvorschrift Explosivstoffe Allgemeine Vorschrift BGV B5 (bisher VBG 55a)	446
4.2 Pyrotechniker-Informationsbroschüre GUV-I 812	454
4.3 UVV "Bühnen und Studios" GUV-V C1 / GUV-I 810	478
4.4 GUV-I 810 Informationsbroschüre Arbeitssicherheit	483
4.5 UVV Sprengarbeiten BGV C24	493

5 Praktische Übungen	508
5.1 Versuche zur Ermittlung der Empfindlichkeit und Wirkung von pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen	508
6 Besprechung von Unfällen	522
7 Aussprache	530
8 Lehrgangsdauer und Teilnehmerzahl	538
9 Lehrkräfte	539
10 Prüfung	541
11 Zeitvorgabe	543
12 Quellenverzeichnis	544
13 Bildnachweis	546
14 Index	547

Vorwort

Bei der Erarbeitung dieses 2. Bandes, als fortführendes Lehrbuch zu Band 1, wurde größter Wert auf einfaches Erlernen der in Film- und Fernsehproduktionsstätten erforderlichen Fachkunde gelegt. Um die gesetzlichen Zusammenhänge übersichtlich und verständlich zu gestalten, ist es unvermeidbar, dass sich einzelne, wichtige Zusammenhänge an mehreren Stellen unter verschiedenen Gesichtspunkten wiederholen.

Beim Durchlesen und Beantworten unserer 350 Prüfungsfragen im Lehrgang wird der wichtigste behandelte Stoff nochmals komplett ins Gedächtnis gerufen und dadurch besonders eingepägt. Zur Prüfung werden jeweils 50 Fragen ausgewählt und ähnlich der Führerscheinprüfung beantwortet. Bei etwa 10 Prüfungsfragen werden schriftliche Antworten gefordert. Der Prüfungsfragenkatalog zum Filmpyrotechnikerlehrgang ist als Broschüre unter der ISBN-Nr.: 978-3-3931-360-29-0 erhältlich.



Abb. 1: Unterrichtsraum der Pyrotechnikerschule; „Herzogstandhaus“



1.575 m

Abb. 2: Mit der Seilbahn geht es hoch zum Herzogstand, 300 Meter weiter ist das Schulungsheim

0 Einführung

0.1 Organisatorisches zum Lehrgang

Sonderlehrgang für den Umgang - ausgenommen das Herstellen und das Wiedergewinnen - mit explosionsgefährlichen Stoffen in Film- oder Fernsehproduktionsstätten.

Dieser Lehrgang mit abschließender Prüfung dient dem Nachweis der Fachkunde i. S. § 8 SprengG, um eine Erlaubnis nach § 7 oder § 27 SprengG oder den Befähigungsschein nach § 20 SprengG erweitern zu lassen für:

Effekte im Freien (Freilichttheater) und Effekte für Film- und Fernsehaufnahmen,

Umgang mit anderen explosionsgefährlichen Stoffen,

Umgang mit brisanten Sprengstoffen und dazugehörige Zündmitteln.

Viele Film- und Fernsehunternehmen verlangen diese Erweiterung von vornherein, gleichgültig ob im Freien gearbeitet wird oder ob Sprengeffekte dort beabsichtigt sind. In letzter Zeit kam es immer öfter vor, dass auch die Aufsichtsbehörde den „Filmpyrotechnikerschein“ verlangte, wenn eine Kamera läuft. Andererseits fordert die GUV-I 810 schon für Effekte im Freien die Teilnahme am Sonderlehrgang.

Zur Teilnahme am Lehrgang benötigen Sie:

1. Eine Unbedenklichkeitsbescheinigung Ihrer zuständigen Aufsichtsbehörde als Nachweis der Zuverlässigkeit.

Hinweis: Die Prüfung der Zuverlässigkeit kann nicht mehr entfallen, wenn der Inhaber eines Befähigungsscheines die Zulassung zu einem Sonder- oder Wiederholungslehrgang beantragt.

2. Die körperliche Eignung ist (in Zweifelsfällen) durch ein ärztliches Zeugnis, insbesondere über die Seh- und Hörfähigkeit nachzuweisen. Viele Aufsichtsbehörden verlangen von vorn herein ein Attest.
3. Zum Sonderlehrgang wird in der Regel nur zugelassen, wer an einem entsprechenden Grundlehrgang teilgenommen hat. Dazu zählen lt. § 35, Absatz 3, Ziffer 2, 1. SprengV der „Bühnenpyrotechnikerlehrgang“ (siehe Band 1) und der „Großfeuerwerkerlehrgang“ (siehe Band 3). Zusätzlich muss lt. § 35, Abs. 3, Ziff. 3 der 1. SprengV die Teilnahme an der Erzeugung von 10 verschiedenartigen pyrotechnischen Effekten oder Sprengeffekten nachgewiesen werden. Über deren Art, Umfang und Zeitpunkt sind Aufzeichnungen zu führen, die von der jeweils verantwortlichen Person zu unterzeichnen sind.

Ein Heft mit über 250 Beispielen pyrotechnischer Effekte und Sprengeffekte kann angefordert werden. Welche Effekte die Pyrotechnikerschule anerkennen kann, können Sie dort entnehmen.

Die Lehrgangsdauer beträgt 5 Tage. Sie umfasst 32 Pflichtstunden und 6 zusätzliche, freiwillige Unterrichtsstunden.



Abb. 3: Erster Filmpyrotechnikerlehrgang der *Pyrotechnikerschule* im März 1998; alle Teilnehmer bestanden die Prüfung erfolgreich

1.4 Pyrotechnische Anzündmittel, Aufbau, Wirkungsweise, Verwendung, die gebräuchlichsten Arten, sonstiger Spezialzündungen

1. Elektrische Anzünder und Zündgeräte

Der am häufigsten verwendete pyrotechnische Artikel ist der Elektroanzünder, auch Satzauslöser oder Brückenanzünder genannt. Dieser löst ohne Verzögerung aus und wird fachlich richtig elektrischer Anzünder genannt. Diese Bezeichnung sagt gleichzeitig aus, dass kein Explosivstoff enthalten ist. Die Bezeichnung "Satzauslöser A" bzw. "Brückenanzünder A" bedeutet, dass der Anzünder, zu der empfindlichen Klasse gehört (es gibt auch U = unempfindlich und HU = besonders unempfindlich gegen Streuströme). Die Vorschrift besagt, dass dieser bis zu einem Stromdurchfluss von 180 mA nicht losgehen darf.

Anzündertyp	darf nicht auslösen bis	muss auslösen bei
Typ „A“	0,18 A	0,6 A / 10 ms
Typ „U“	0,45 A	1,3 A / 10 ms
Typ „HU“	4 A	25 A

Die verwendeten Anzünder gibt es in vielen Ausführungen. So zum Beispiel:

1. Brückenanzünder ohne PVC-Hülle zum Anzünden von Pulvern und dergleichen,
2. Brückenanzünder mit PVC-Hülle für fast alle Zwecke, besonders wo der Anzünder in ein Röhrchen gesteckt werden soll.
3. Brückenanzünder mit PVC-Hülle und Querlochbohrung zum Anzünden von Pyroschnur, die durch die Querlochbohrung gefädelt wird. Bei Anzündlitze dient die Quer-

lochbohrung zur Druckentlastung. Nur diese Methode gewährleistet eine sichere Anzündung. Sie sind auch für "mechanische Auslösungen" verwendbar; so z. B. zum Aktivieren von Löscheinrichtungen, oder zum Auslösen eines, an einem Perlonfaden aufgehängten, Gegenstandes. Eine eingefädelt Perlonfaden brennt durch und der Gegenstand fällt;

4. Anzünder mit verschieden großen Hülsen aus Aluminium, Messing und Kunststoff für eine mehr oder weniger große Pulverbeiladung,
5. Filmeffektzünder mit Explosivstoff,
6. Pulveranzünder mit Schwarzpulverbeiladung

Für selbstgebaute Zündgeräte möchten wir folgende Mindestwerte zur Berechnung empfehlen:

- erforderliche Spannung je A/U-Anzünder = 2 Volt
- erforderlicher kurzzeitiger Strom je A-Anzünder = 0,6 Ampere (ein A-Anzünder darf bei 180 mA Stromfluss bei 5 Minuten Dauer nicht losgehen, soll aber bei 0,6 A in 10 ms auslösen). In der Praxis gehen A-Anzünder etwa bei 0,3 A los; 0,5 A sollten aber bei Einzelanzündung fließen; 0,8 A bei Reihenschaltung.
- erforderlicher kurzzeitiger Strom je U- Anzünder = 1,3 Ampere, mindestens jedoch 1 Ampere
- zu beachtender Widerstand je A-Anzünder = 2 Ohm zu beachtender Widerstand je U-Anzünder = 1 Ohm

Die Prüfung erfolgt bei etwa 10 mA Prüfstrom, bis 25 mA sind erlaubt, bis 180 mA darf kein Anzünder auslösen.

Verwendet man für die Anzündkreisleitungen einen Drahtquerschnitt von etwa 0,75 mm² Kupfer, so brauchen Leitungslängen bis etwa 50 Meter nicht besonders berücksichtigt werden, insbesondere dann nicht, wenn Elektroanzünder mit Kupferanschlußdrähten verwendet werden.

Achtung: eine Batterie allein ist kein erlaubtes Zündgerät. Es müssen mindestens zwei Schaltelemente, von denen eines ein Taster sein soll, vorhanden sein um eine Zündung auszulösen, am besten mit Schlüsselschalter.

Zündgeräte sind insbesondere geeignet, wenn sie mit Schutzkleinspannung von 42~/60- V betrieben werden. Eine unbefugte und unbeabsichtigte Auslösung muss ausgeschlossen sein.

Solche Anzündmethoden dürfen in der Sprengtechnik nicht angewendet werden. Hier werden mit sehr hohen Spannungen alle Zünder (z. B. eine Bohrlochreihe) gleichzeitig gezündet. Die hohe Spannung ist erforderlich, um eine geforderte Zündzeit von 5 Millisekunden zu erreichen, damit genaueste Zeitabläufe mit Abstufungen von etwa 20 Millisekunden eingehalten werden um bestimmte Sprengergebnisse zu erreichen.

Ein außergewöhnliches Zündgerät für pyrotechnische Zwecke ist das bei uns erhältliche Funkzündgerät "Pyrotec" mit 1000 Kanälen. Es überbrückt Entfernungen bis 800 m. Durch codierte Übertragung ist eine Fehlauslösung undenkbar. Der Sender hat eine Steppfunktion, d. h. bei jeder Betätigung der Feuertaste wird ein Kanal weiter geschaltet. Es können unbegrenzt viele Effekte synchron angezündet werden, da beliebig viele Empfänger eingesetzt werden können. Jeder Empfängerausgang kann bis zu 20 Anzünder gleichzeitig anzünden. Mit einer Reichweitenfunktion und einer Funktion zum Messen von Störfeldern wird die Betriebssicherheit wesentlich erhöht. Die Anlage ist mit einer Akkuladung etwa 40 Stunden betriebsbereit. Ein entscheidender Vorteil dieses Zündgerätes liegt darin, dass jeder Empfänger einen Hochleistungsakku besitzt und stets direkt am Effekt eingesetzt werden kann, so dass Verluste durch lange Leitungswege völlig ausgeschlossen werden. Die Zündverzögerung



Abb. 22: Funkzündgerät von Safex; 1-Kanal, zusätzlich Stepper 9-Kanal

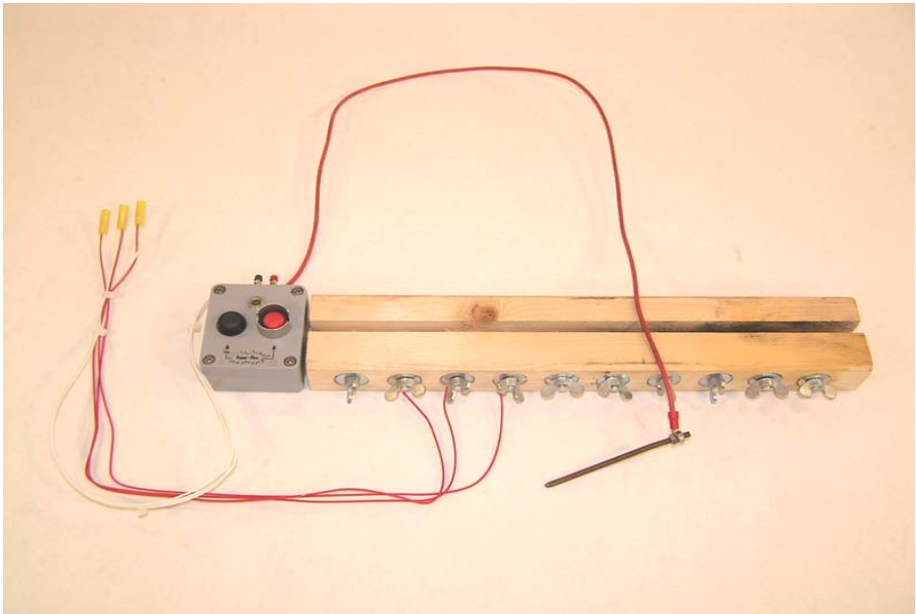


Abb. 23: Selbstgebautes Nagelbrett mit Taschenzündgerät



Abb. 24: 5-Kanal Funkzündgerät mit Schallauslösung

ist im Vergleich zu anderen Anlagen mit 0,05 sec. sehr kurz. Für Anwendungen im Spezialeffektbereich gibt es einen kleinen Empfänger mit 5 frei programmierbaren Ausgängen und einem Display mit 3 Textzeilen. Die Abmessungen sind mit 65mm x 133mm x 27mm gut geeignet, um den Empfänger am Körper tragen zu können. Die Stromversorgung erfolgt über 2 Mignonzellen. Mit dieser geringen Batteriespannung werden intern 30 Volt erzeugt. Diese Spannung wird mit Kondensatoren gepuffert und zur Anzündung verwendet. Dabei besitzt jeder Ausgang einen separaten Kondensator. Die Betriebszeit mit Alkalizellen beträgt mehr als 24 Stunden. Ein eingebautes Mikrofon ermöglicht die Auslösung durch Schall, wobei die Freigabe kurz zuvor per Funk erfolgt. Zwei Sonderfunktionen machen ihn für akustisch auszulösende Körpereinschüsse unverzichtbar.

1. Jeder der fünf Kanäle kann einzeln per Funk freigeschalten



Abb. 25: Funkzündsystem: 1400 Kanäle, Typ Explo

werden und wird erst über ein eingebautes Mikrofon per Schall (Schuss-, Explosions- oder Fallgeräusch) mit einstellbarer Empfindlichkeit ausgelöst.

2. Alle fünf Kanäle können gleichzeitig frei geschaltet werden und jedes Schussgeräusch, z. B. MP-Feuer, schaltet einen Kanal weiter.

So kann z. B. ein Pistolenschuss einen Körpereinschuss mit Squib auslösen, ohne dass man merkt, dass es zwei Geräusche sind. Beides, der Schuss und der daraufhin gezündete Squib erscheinen als ein Schallereignis. Das Gerät gibt es auch mit externer Antenne für größere Entfernungen und mit externem Richtmikrofon, so dass zwischen Schuss von vorn oder hinten eingestellt werden kann.

Ein weiteres Funkzündgerät von der Firma Explo hat ähnliche Eigenschaften, ist nicht ganz so komfortabel, kostet aber nur

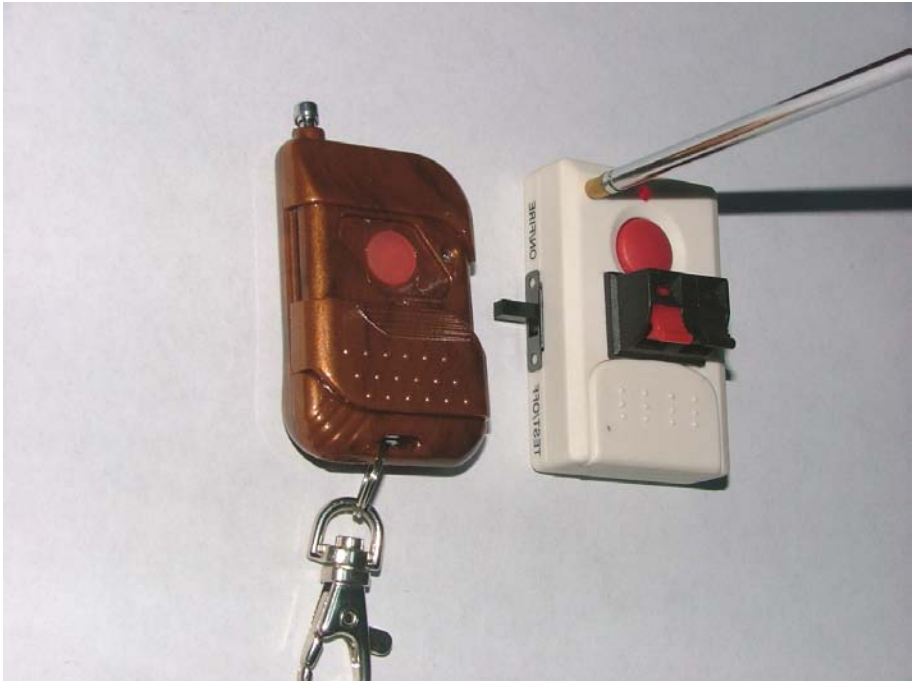


Abb. 26: Einkanal-Funkzündgerät (Wird mit versprengt)

etwa die Hälfte. Dadurch ist es leichter möglich viele Empfänger und einen Ersatzsender zu kaufen. Auch für diese Geräte sind wir Händler.

Eine kostengünstigere Alternative ist ein einfaches 12 Kanal Funkzündgerät mit Kodierung sowie ein 1 Kanal Funkzündgerät, speziell als Einwegzündgerät, wenn es mit einem beweglichen Objekt beim Effekt mit zerstört wird.



Abb. 27: Preisgünstiges 12-Kanal-Funkzündgerät; 200,- EUR von NISHIKI

2. Weitere Anzündmittel

Anzündlichter haben einen Reibkopf, brennen 1 bis 5 Minuten und werden verwendet, um Stoppinen, Lunten oder Anzündlitzen anzuzünden.

Stoppinen sind aus Baumwollgarn hergestellte und mit Schwarzpulverbrei "beklebte" Schnüre (ungedeckte Stoppine). Gedeckte Stoppine ist mit einem papierähnlichen Schlauch umgeben und brennt durch diese Verdämmung erheblich schneller ab. Sie wird zur Übertragung von Anzündflammen eingesetzt.

Anzündlitze besteht aus einem Kupferdraht (verbrennt nicht, ist aber für die Brenngeschwindigkeit wichtig), der mit Schwarzpulver und Wollfäden umgeben ist. Sie ist außen mit Leim bestrichen. Auch sie wird zur zeitlich exakt verzögerten Übertragung

von Anzündflammen verwendet.

Lunt sind mit Salpeter oder anderen Sauerstoff abgebenden Chemikalien getränkte Schnüre, die nach dem Anzünden langsam vor sich hin glimmen. Sie werden zur Anzündung pyrotechnischer Sätze und zum Abfeuern von Luntenschlosswaffen benutzt.

Pulveranzündschnüre bestehen aus einem Textilschlauch, der mit Schwarzpulver gefüllt und mit Kunststoff überzogen ist. Die vorgeschriebene Brennzeit ist 120 Sekunden je Meter. Sie sind in wasserdichter Ausführung (Farbe schwarz) und in normaler Ausführung (Farbe gelb) und als Feuerwerksanzündschnur erhältlich.

Reißanzünder sind kleine mechanische Anzünder die an einem Draht gezogen eine kleine Anzündflamme ergeben.

Anzünd- und Anfeuerungssätze sind leicht entzündliche Sätze, die zum Anzünden von schwer zu entzündenden Sätzen eingesetzt werden.

3. Frühzündgefahren

Fremdströme verschiedener Art, Größe und Herkunft können Anzünder gefährden oder im Extremfall vorzeitig auslösen. Diese verschiedenen Gefährdungen bezeichnet man allgemein als Frühzündgefahr. Bei Fremdstromgefahr geht es um meist schwer erkennbare elektrische Energien, die elektrische Anzünder auslösen können, wenn nicht die entsprechenden Regeln beachtet werden. Ein sorgloser Umgang mit dem Fremdstromproblem wäre genauso falsch wie übertriebene Angst. Zuerst nun die Arten der Fremdstromgefahren:

Streuströme

Streuströme sind Ströme, die außerhalb der zur Stromführung bestimmten Leiter fließen. Sie fließen über die Erde, Gebäude-

teile und Eisenkonstruktionen.

Induktionsströme

Induktionsströme resultieren aus wechselnden Magnetfeldern mit Einfluss auf eine ruhende Leiterschleife, in diesem Fall auf den Zündkreis. Mögliche Fremdstromquellen, die in geschlossenen Zündkreisen einen Induktionsstrom in den Anzündern hervorrufen können, sind:

- Hochfrequente elektromagnetische Sender-Wellen,
- elektromagnetische Felder von Wechselstromleitungen und -anlagen wie z. B. Starkstromleitungen, Transformatoren und starke Motoren,
- elektromagnetische Felder bei Kurzschlüssen.

Gewitterelektrizität

Bei Freilichtveranstaltungen ist Frühzündung durch Gewitterelektrizität durchaus ein beachtenswerter Faktor.

Faustregel: Zeitabstand Blitz-Donner ca. 10 sec. entspricht 3 km Entfernung und bringt Gefahr.

Folgende Schutzmaßnahmen, sollten grundsätzlich eingehalten werden:

- ordnungsgemäßer Zustand der, die Zündanlage umgebenden Hauselektrik sicherstellen,
- gute Isolation des Zündkreises,
- geringe Induktionsfläche des Zündkreises,
- wenn mehrere Anzünder gleichzeitig ausgelöst werden sollen, möglichst Reihenschaltung anwenden, Voraussetzung ist allerdings gleiche Widerstandsgruppe der Anzünder,
- Abstand zu Starkstromkabeln, Transformatoren und Funkgeräten halten (empfohlener Abstand aus der Praxis, 2 Meter),
- bei Gewitterelektrizität keine gefährlichen Effektanordnungen im Freien aufbauen,

- bei begründeter Fremdstromgefahr, Verwendung von Brückenanzündern U.

Wenn ein Fremdstrom in einem Zündkreis mehr als 180 mA beträgt, könnte eine Frühzündung ausgelöst werden.

4. Anzündversager

Anzündversager können entstehen durch:

- Mit Feuchtigkeit oder Brennflüssigkeit benetzte Anzündpille, Abhilfe: Bei Anzündung von Brennflüssigkeiten und Brandpasten soll die Anzündpille mit Silikonkautschuk abgedichtet werden,
- eingeklemmte Isolierung, Abhilfe: Mit Testeinrichtung oder Ohmmeter vor der Anzündung feststellbar,
- zu viele Anzünder in Reihe oder parallel geschaltet Abhilfe: Die für das Zündgerät angegebene Anzünderzahl in Reihe und parallel nicht überschreiten,
- Spannungsquelle zu schwach oder entladen, Abhilfe: vor jedem Einsatz laden und Lasttest durchführen,
- zu viele unempfindliche Anzünder (U-Anzünder) Abhilfe: Entsprechend starkes Zündgerät einsetzen,
- Verwendung von Anzündern unterschiedlicher Widerstandsgruppen (verschiedene Effekte) Abhilfe: Parallelschaltung anwenden.

Zündkreisberechnungen sind in der Filmpyrotechnik nicht sehr verbreitet.

Elektrische Anzündversager gelten erst nach angemessener Wartezeit als handhabungssicher, Pulverschnuranzünder und Stoppinen erst nach 15 Minuten.

5. Spezialzündungen für Sprengeffekte

Vorbemerkung: Man unterscheidet zwischen den Begriffen Zünden und Anzünden. Von Anzünden ist dann zu sprechen, wenn es sich um den Beginn der chemischen Reaktion mit einer Umsetzungsgeschwindigkeit von weniger als 1.000m/sec handelt. Dazu zählen alle pyrotechnischen Gegenstände sowie alle schwarzpulverhaltigen Mischungen. Von Zünden spricht man, wenn die Umsetzungsgeschwindigkeit über 1.000 m/sec beträgt und somit detonativ ist.

Sprengeffekt-Ladungen können gezündet oder angezündet werden durch Verwendung von:

- Schwarzpulveranzündschnur (Stoppine)
- Elektrischen Anzündern (bisher Brennzünder)
- Filmeffektzündern
- Elektrischen Zündern (bisher Sprengzünder)
- Anzündschnurzündern (Anzündschnur mit Sprengkapseln)
- Sprengschnur

Die elektrische Zündung wird am häufigsten eingesetzt, da hier vor allem der Zündzeitpunkt und eine Zündfolge exakt festgelegt werden kann. Zum Zünden von Sprengladungen sind A-Zünder wegen ihrer Empfindlichkeit in Deutschland seit 1973 nicht mehr zulässig (1. SprengV § 27), für Sprengeffektladungen gilt diese Einschränkung jedoch nicht.

Elektrische Anzünder, wie in der Pyrotechnik üblich, dürfen für Sprengpulver bei Sprengarbeiten (spezielle Sorten von Schwarzpulver) entsprechend der BGV C 24, § 17 nicht verwendet werden. Stattdessen werden Pulveranzünder verwendet; das sind elektrische Anzünder mit Schwarzpulverbeiladung. Auch diese Einschränkung gilt nicht für Sprengeffekte.

Obwohl diese beiden Regelungen nicht für den Filmpyrotechniker zutreffend sind, weil dieser ja nicht sprengen darf, sollte

man sie zur eigenen Sicherheit, wo es nötig erscheint, berücksichtigen.

Bei Sprengarbeiten (i. S. der BGV C 24) dürfen elektrische Zünder nur mit zugelassenen Zündmaschinen gezündet werden. Da der Filmpyrotechniker nur Sprengeffekte, jedoch keine Sprengarbeiten ausführen darf, benötigt er nur eine zugelassene Zündmaschine für den Fall, dass die Aufsichtsbehörde dies als Auflage verlangt.

Aus diesem Grund und als Grundwissen, wird anschließend auch die Verwendung von Zündmaschinen detailliert erläutert.

Zündmittel werden unterteilt in:

Sprengkräftige Zündmittel enthalten sprengkräftige Bestandteile, die die Initiierung einer Detonation ermöglichen (z. B. Sprengkapsel, Zünder und Sprengschnur und einige Filmeffektzünder).

Nicht sprengkräftige Anzündmittel enthalten keine sprengkräftigen Bestandteile (z. B. Anzünder, Pulveranzündschnur). Sie können nur in Verbindung mit einem sprengkräftigen Zündmittel eine Detonation initiieren.

Die Zündmittel im Einzelnen:

Sprengkapseln sind kleine, einseitig offene Metallröhrchen mit einem Durchmesser von 7 mm und einer Länge von 40 mm. Sie sind mit einem Initialsprengstoff als Primärladung und einem brisanten Sprengstoff von ca. 1 Gramm als Hauptladung gefüllt. Sie werden zum Einleiten der Detonation von brisanten Sprengstoffen oder Sprengschnüren verwendet. Die kleine Primärladung besteht meist aus Bleiacid und wird durch die Anzündflamme eines elektrischen Anzünders oder einer Anzündschnur durch das Loch im Deckhütchen der Sprengkapsel entzündet. Die Anzündung der Primärladung schlägt sofort in eine Detonation um. Dieser Initialimpuls wird durch die Hauptladung ver-

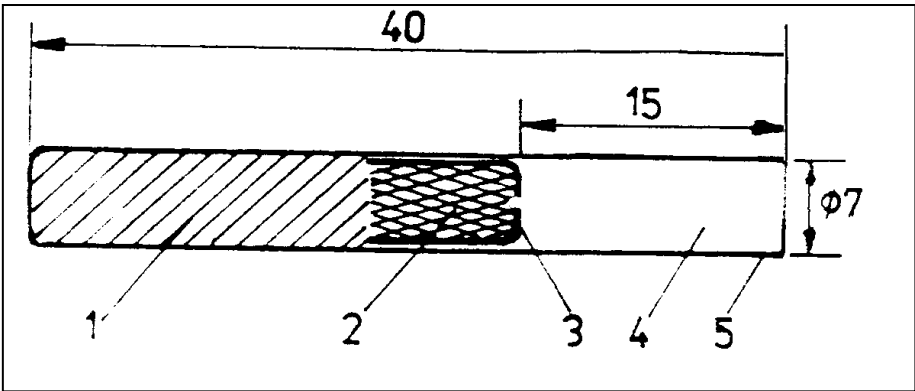


Abb. 28: Sprengkapsel; (1) Sekundärladung, (2) Primärladung, (3) Deckhütchen, (4) Leerraum, (5) Metallhülse

stärkt, welche dann die Sprengladung initiiert.

Die Zündstärke der gewerblichen Sprengkapseln und Sprengzünder ist genormt und wird mit Zahlen von 1 bis 10 angegeben. Manche schwer initiiierbare Sprengstoffe benötigen die Stärke 10. Die gebräuchlichste Sprengkapsel ist die Stärke Nr. 8. Die Hauptladung ist stark genug, um den Detonationsstoß auf brisante Sprengstoffe oder auf eine Sprengschnur zu übertragen. Bei besonders schwer initiiierbaren Sprengstoffen, wie z.B. bei dem pulverförmigen Sprengstoff Andex wird mit Sprengschnur gezündet.

Die Sprengkapseln sind sehr empfindlich und werden in einem kleinen Holzkästchen mit Bohrungen für jede Kapsel, geschützt mit Sägemehl, verwahrt.

Sprengkräftige Zünder werden unterteilt in massenexplosionsfähige Zünder (ME), Lagergruppe 1.1B und nicht massenexplosionsfähige Zünder (NME) Lagergruppe 1.4B. Ferner gibt es noch Unterwasserzünder die gegenüber der normalen Ausführung bei mehr als 2 Meter Wassertiefe funktionssicher sind. Normale Zünder müssen laut Prüfvorschrift ihre Funktionssicherheit in 2 Meter Wassertiefe über 6 Stunden erhalten. Schlagwettersichere Zünder (Bergbau) und seismische Zünder sind Momentzünd-



Abb. 29: Sprengkapseln sicher verpackt in einer Holzschachtel mit Sägespänen

der mit einer festgelegten Reaktionszeit < 4 ms).

Ein Paket mit elektrischen Zündern oder Anzündern (Höchstzahl 100 Stück), muss mit einem gelben Zettel und dem Buchstaben A oder U bzw. mit einem blauen

Zettel und den Buchstaben HU versehen sein. Weiterhin dürfen folgende Angaben nicht fehlen:

- Anzahl der Zünder bzw. Anzünder,
- Material des Drahtes und Drahtlänge,
- vorgeschriebene Drahtfarbe,
- Jahres- und Monatszahl der Herstellung,
- bei U-Zündern oder U-Anzündern: der Brücken- und Gesamtwiderstand,
- bei HU-Zündern: der Gesamtwiderstand,
- bei Zeitzündern: das Verzögerungsintervall und die Anzahl der Zeitstufen,

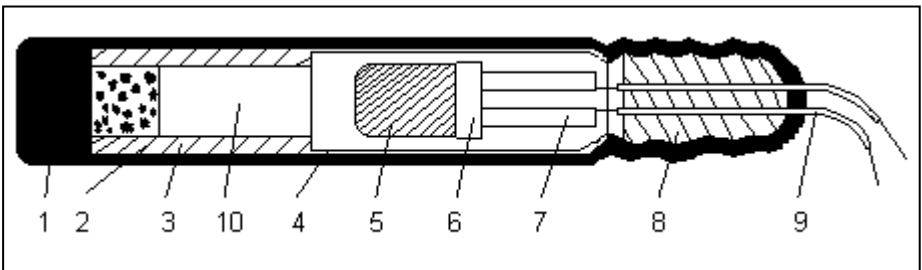


Abb. 30: Aufbau eines Kurzzeitzünders; (1) Sekundärladung, (2) Primärladung, (3) Stahlhülse, (4) Isolierschlauch, (5) Zündsatz, (6) Distanzhalter, (7) Kontaktlamelle, (8) Stopfen, (9) Zünderdrähte, (10) Verzögerungssatz



Abb. 31: Demonstration der Wirkung eines Sprengzünders in Wasser
 – "schlagwettersicher" (Kupferhülse) oder "nicht schlagwettersicher" (Alu-Hülse).

Die Einteilung in Widerstandsgruppen, wie bei den A-Zündern, ist bei U- Zündern wegen des niedrigen Brückenwiderstandes und seiner geringen Streubreite nicht erforderlich.

Es dürfen für einen Sprengeffekt (also eine Ladung, bzw. ein Zündvorgang) nur Zünder oder Anzünder des gleichen Typs, also A- oder U-Zünder, eines Herstellers verwendet werden.

Momentzünder, diese detonieren innerhalb weniger Millisekunden nach dem Stromimpuls. Die Drahtfarbe ist gelb-weiß. (gelb für U-Type, weiß für Moment)

Kurzzeitzünder enthalten einen pyrotechnischen Verzögerungssatz. Das Verzögerungsintervall zwischen den einzelnen Zeitstufen liegt unter 100 Millisekunden, meist 20 oder 30 ms. Die Reihenfolge der Zündung ist: 1. Zündpille, 2. Verzögerungssatz, 3. Primärladung, 4. Sekundärladung (Hauptladung). Die Drahtfarbe

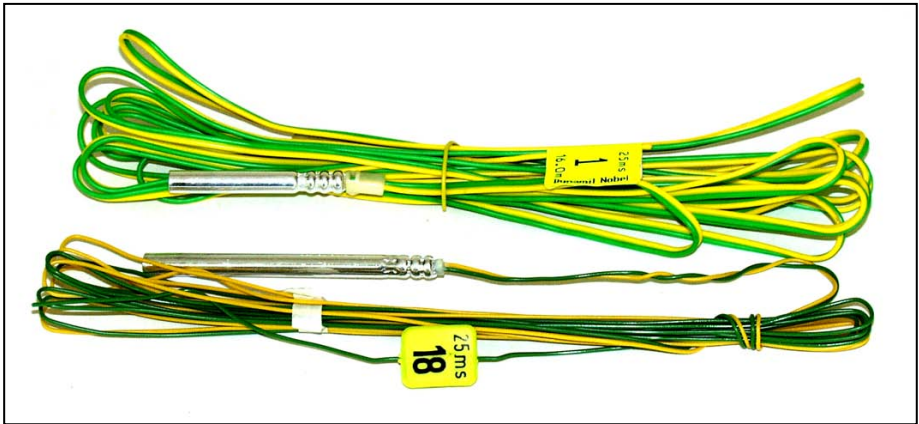


Abb. 32: Kurzzeitzünder, verschiedene Zeitstufen

für U-Kurzzeitzünder ist gelb-grün (gelb für U-Type, grün für Kurzzeit), die Drahtfarbe für HU-Kurzzeitzünder ist blau-grün (blau für HU-Type, grün für Kurzzeit). Kurzzeitzünder der Fa. Dynamit-Nobel beispielsweise haben die Zeitstufen 1 bis 18 mit einer Verzögerungszeit von 20 ms oder 30 ms.

Langzeitzünder unterscheiden sich von den Kurzzeitzündern durch den längeren Zeitintervall von mehr als 100 ms, meist 250 ms oder 500 ms. Die Drahtfarbe ist gelb-rot (gelb für U-Type, rot für Langzeit). Langzeitzünder der Fa. Dynamit Nobel mit 250 ms haben die Zeitstufe 1-18, 20, 22, 24 und solche mit 500 ms haben die Zeitstufen 1 - 12.

Elektronische Zeitzünder enthalten eine programmierbare

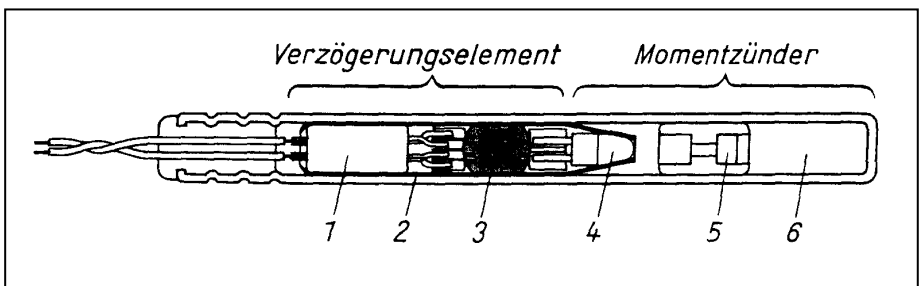


Abb. 33: Skizze elektronischer Zünder; (1) Kondensator, (2) Isolierschlauch, (3) Chip, (4) Anzündsatz, (5) Primärladung, (6) Sekundärladung

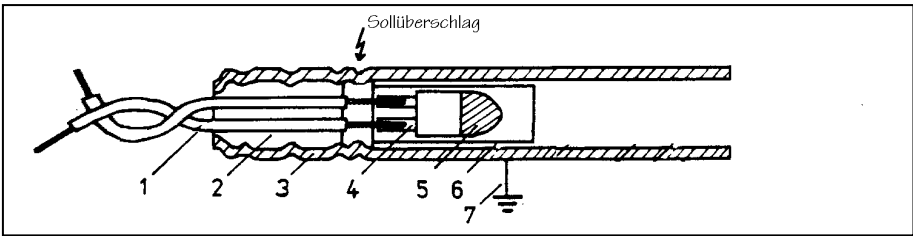


Abb. 34: Sollüberschlagsstelle (Elektropfeil) für elektrostatische Aufladung in einem Zünder; (1) Zünderdraht, (2) Stopfen, (3) Zünderhülse, (4) Kontaktlamelle, (5) Zündersatz, (6) Isolierschlauch, (7) Erdschluss

elektronische Einheit. Die Verzögerungszeiten von 1 ms bis 100 ms, können am Programmier- und Steuergerät vorgewählt werden. Die Zünder werden durch Fremdströme nicht gefährdet, da diese nur dann zünden, wenn ein entsprechender Code übermittelt wird. Im ungünstigsten Fall werden die Zünder durch Fremdströme funktionsunfähig.

U-Zünder haben eine Schutzeinrichtung gegen elektrostatische Entladungen. Diese Schutzeinrichtung besteht aus einer Soll-Überschlagsstelle für Hochspannung zwischen der Zünderhülse und der Kontaktlamelle. Durch diese Einrichtung wird die in der Kapazität der Zünderdrähte und der Zünderhülse gespeicherte Energie ab einem bestimmten Wert gefahrlos über die Zünderdrähte und die Glühbrücke abgeleitet.

Zum Einprägen:

- Ein elektrischer Anzünder, mit einer Sprengkapsel fest verbunden, ist ein Momentzünder.
- Ein elektrischer Anzünder mit Pulveranzündschnur und einer Sprengkapsel fest verbunden, ist ein Verzögerungszünder.
- Ein elektrischer Anzünder ohne weitere Komponenten, wird auch Brennanzünder genannt.
- Ein elektrischer Anzünder mit Pulverbeiladung ist ein Pulveranzünder.
- Eine elektrische Anzündpille mit nachfolgenden Primär- und Sekundärladung ist ein Momentzünder.



Abb. 35: Demonstration der Wirkung: Sprengzünder in Schweinepfote

– Eine elektrische Anzündpille mit nachfolgenden Verzögerungssatz, Primär- und Sekundärladung ist ein Millisekundenzünder oder ein Langzeitzünder.

Als weitere Zündmittel seien noch kurz erläutert:

Anzündschnur-Zeitzünder sind Anzünder mit einem Pulveranzündschnurstück und einer dazugehörigen Hülse aus Kunststoff mit eingesteckter Sprengkapsel.

Pulveranzündschnüre mit einer mittleren Brenndauer von $120 \text{ sec/m} \pm 5 \text{ sec.}$ werden verwendet zum Anzünden von Sprengpulver (Schwarzpulver) und zum Verzögern der Zündung bei Sprengkapseln oder Pulversprengstoffen.

Pulverförmige Sprengstoffe sind detonative Sprengstoffe wie z. B. An dex

Sprengpulver sind deflagrierende Sprengstoffe auf Schwarzpulverbasis.



Abb. 36: Anbringen von Sprengschnur an einem Benzinkanister

Sprengschnüre bestehen aus einem textilen Schlauch, der mit detonierendem Sprengstoff, meist Nitropenta, gefüllt ist. Dieser ist mit einem Kunststoff als Feuchtigkeitsschutz überzogen. Es handelt sich um eine Sprengstoffladung von praktisch unbegrenzter Länge. Die meist verwendete Sprengschnur zum Zünden besteht aus einem 5 - 6 mm dicken Schlauch (meist grün) mit einem Laufmetergewicht von 12,5 g/m. Die Detonation kann durch eine Sprengkapsel, einen Sprengzünder oder durch eine andere Sprengschnur eingeleitet werden. In der Filmpyrotechnik werden oft spezielle Mikrodetonatoren zum Zünden verwendet. Hilfsmittel zum Anzünden von Pulveranzündschnüren sind:

Anzündlitze, sie kann mit einem Querlochanzünder, einer offenen Flamme oder durch Verwendung einer Verbinderhülse eine Pulveranzündschnur entzünden.

Kerbschnur, das ist ein Pulveranzündschnurstück, das in Ab-

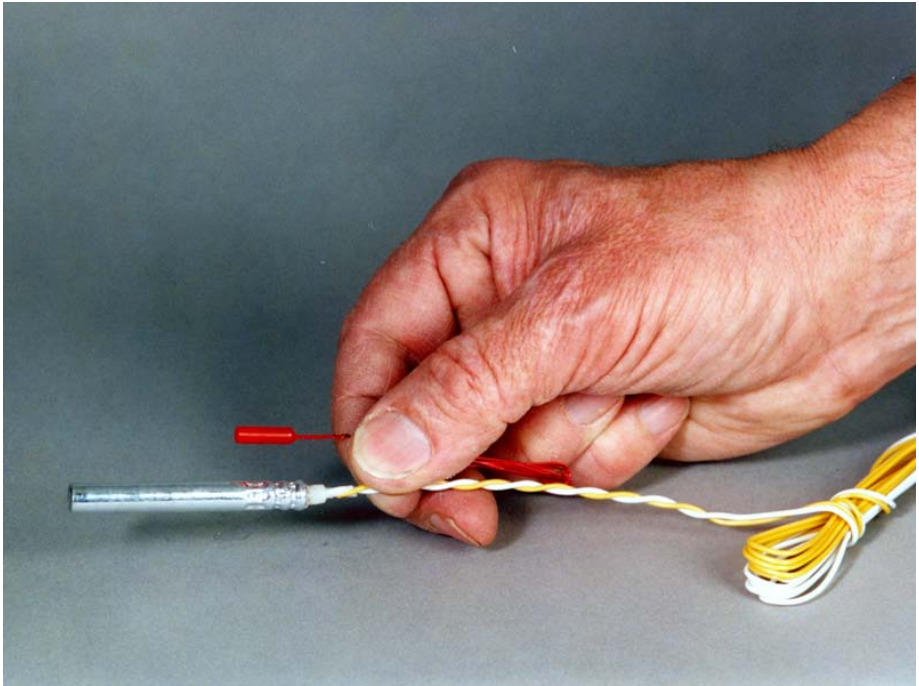


Abb. 37: Vergleich: Sprengzünder zu Microdetonator

ständen von 2 - 3 cm bis zur Pulverseele mehrfach eingekerbt ist, so dass an jeder Kerbstelle ein kleiner Feuerstrahl austritt. Diese Kerbstellen werden gegen das andere anzuzündende Pulveranzündschnurstücke gerichtet.

Anzündschnur-Sammelanzünder sind einseitig geschlossene Papphülsen. Am geschlossenen Ende befindet sich ein Schwarzpulversatz, der zum gemeinsamen Anzünden mehrerer Pulveranzündschnüre, durch die Zuleitungsanzündschnur, verwendet wird.

Anzündlichte sind ähnlich einem großen Sturmstreichholz. Sie haben eine Brennzeit von 60 Sekunden für Sprengarbeiten oder bis etwa 5 Minuten und mehr für pyrotechnische Zwecke. Sie werden zum Anzünden von Anzündlitze und Anzündschnüren verwendet. Am Ende der Brennzeit leuchten die für Sprengarbeiten zulässigen Anzündlichter ca. 10 Sekunden lang in roter

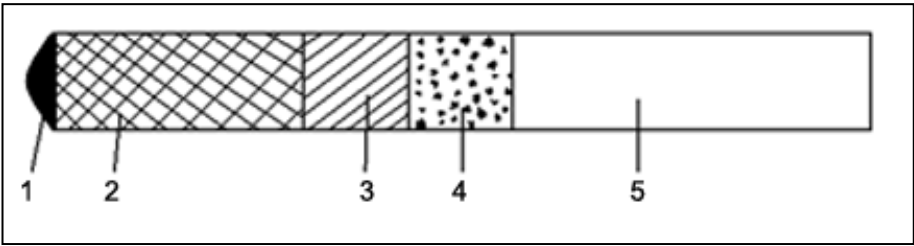


Abb. 38: Zündlicht für Sprengarbeiten; (1) Reibfläche, (2) Brennsatz, (3) Brennsatz für Warnlicht, (4) Füllstoff, (5) Leerraum

Farbe (Warnlicht - Sprengstelle verlassen!!).

Sprengverzögerer, auch Detonationsverzögerer genannt, bestehen aus einer Aluminiumhülse mit einem mittig angebrachten Verzögerungssatz und beidseitigen Initialladungen. Sie dienen der verzögerten Weiterleitung der Detonation zu mehreren Sprengladungen. Sie werden dazu, durch beiderseitiges Anwürgen, in die Leitsprengschnur eingefügt. Die Verzögerungszeiten betragen meist 20 ms und 50 ms. Durch den symmetri-

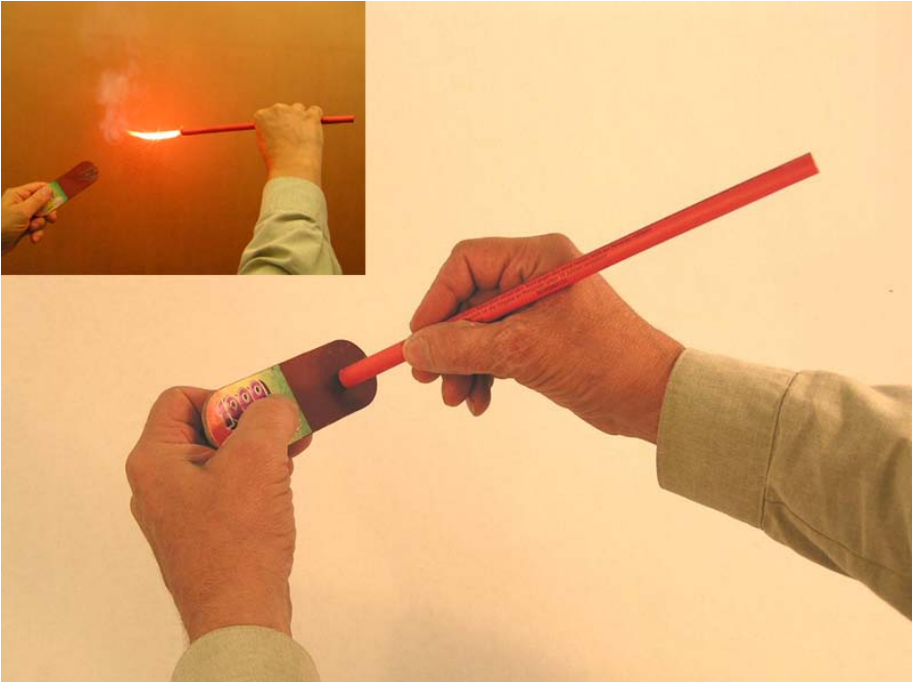


Abb. 39: Anzündlicht mit Reibfläche

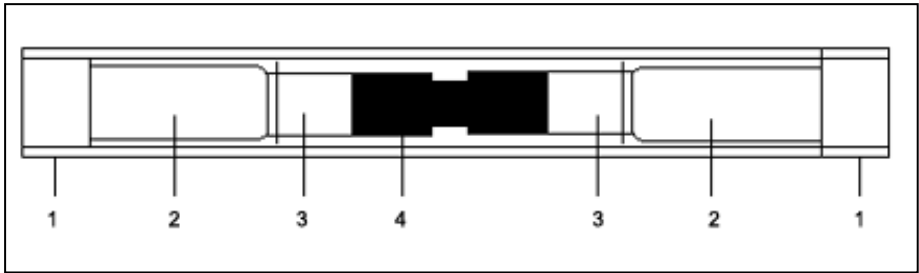


Abb. 40: Sprengverzögerer; (1) Außenhülse, (2) Innenhülse, (3) Initialladung, (4) Verzögerungssatz

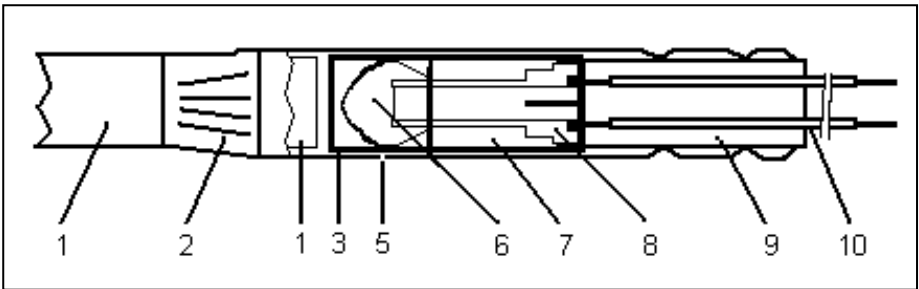


Abb. 41: Anzündschnurzeitzünder; (1) Pulveranzündschnur, (2) Zündhülse, (3) Isolierschlauch, (5) Entgasungsloch, (6) Zündpille, (7) Distanzhalter, (8) Kontaktlamelle, (9) Stopfen, (10) Zünderdraht

schen Aufbau können sie beliebig, ohne auf die Detonationsrichtung zu achten, in die Sprengschnur eingefügt werden.

Sprengzubehör sind Gegenstände, die zur Auslösung einer Sprengung oder zur Prüfung der auslösenden Vorrichtungen bestimmt sind und die keine explosionsfähigen Stoffe enthalten. Dazu gehört z.B. Zündzubehör.

Zündzubehör ist Sprengzubehör, das in irgendeiner Art und Weise zum Zünden verwendet wird. Dazu gehören vor allem Zündmaschinen, Zündmaschinenprüfgeräte, Zündkreisprüfer und Streustrommessgeräte.

Zündmaschinen sind transportable Geräte zum Auslösen elektrischer Zünder mit eigener Stromquelle. Dem, auf dem Gehäuse angebrachten, Typenschild kann man den Hersteller, die Fabriknummer und die Leistungsdaten entnehmen.

So bedeuten die Bezeichnung der Zündertypen A, U oder HU und

die dahinter stehende Zahl, dass diese Anzahl Zünder, mit 3,5 Meter langen Stahldrähten (Gesamtwiderstand 3,5 Ohm) mit dieser Zündmaschine gezündet werden können. Bei Zündmaschinen für Reihenschaltung sind dabei jeweils zusätzlich 20 Ohm für den Widerstand von Zündleitung und Verlängerungsdrähten berücksichtigt.

Bei der Auswahl einer Zündmaschine ist jedoch der Höchstwiderstand (auf dem Typenschild als Grenzwiderstand angegeben) entscheidend.

Vorwiegend werden Kondensatorzündmaschinen verwendet, weil hier in Ruhe ein Kondensator aufgeladen wird, der dann beim Zünden einen kurzen, kräftigen Zündimpuls abgibt. Die Kapazität des Kondensators bestimmt die Leistungsfähigkeit der Zündmaschine.

Ist die Zündspannung durch Drehen der Kurbel erreicht, wird der Kondensator selbständig vom Generator abgeschaltet und

mit den Anschlussklemmen verbunden oder die Stromabgabe erfolgt erst durch einen Drucktaster, nachdem eine Glimmlampe die Zündbereitschaft anzeigt.

Ein "K" nach der Typenbezeichnung zeigt an, dass es sich um eine Kurzzeitzündmaschine (schlagwettersicher) mit einer Zündzeit von weniger als 4 ms handelt. Das bedeutet, dass Langzeitzündmaschinen (nicht schlagwettergesichert) eine Zündstromdauer von mehr als 4 ms haben.



Abb. 42: Hochspannungs-Zündmaschine

Kondensatorzündmaschinen haben ein feuchtigkeitsgeschütztes, dichtes Gehäuse. Trotzdem sollten sie, schon wegen der außen liegenden Anschlussklemmen, an trockenem Ort aufbewahrt werden, damit kein Funkenüberschlag durch Feuchtigkeit entstehen kann. Die handbetätigte Kurbel ist abnehmbar und sollte immer, wie sonst der Zündschlüssel, vom verantwortlichen Pyrotechniker verwahrt werden.

Grundregel 1 Der "Sprengberechtigte" (verantwortliche Person) muss die Zündmaschine und deren Schlüssel bzw. Kurbel stets sicher verwahren. Beim Zünden darf nur der Sprengberechtigte die Zündmaschine betätigen.

Grundregel 2 Eine Zündmaschine zündet nur dann sicher, wenn der Widerstand des Zündkreises den Grenzwiderstand der Zündmaschine, bei der angegebenen zulässigen Schaltungsart der Zünderkette, nicht überschreitet.

Grundregel 3 Bei Sprengarbeiten (nicht so bei Sprengeffekten) sind zugelassene und regelmäßig geprüfte Zündmaschinen zu verwenden.

Die Prüfung der Zündmaschinen erfolgt monatlich bzw. vor jedem Einsatz auf mechanische Beschaffenheit und elektrische Zuverlässigkeit und wird in die Gerätekarte eingetragen.

Anleitung zur mechanischen Überprüfung:

- Sind am Gehäuse grobe mechanische Beschädigungen sichtbar?
- Sind beim Schütteln lose Teile innerhalb des Gehäuses hörbar?
- Sind die Anschlussklemmen leichtgängig und haben sie blanke, ölfreie Kontaktflächen?
- Ist die Kurbel leichtgängig?
- Ist das Schauglas unbeschädigt?

Anleitung zur elektrischen Überprüfung:

- Mit dem Zündmaschinenprüfgerät ist die Leistungsfähigkeit zu überprüfen. Die Kontrolllampe muss beim Betätigen der Zündmaschine hell aufleuchten.
- Mit einem Isolationsprüfgerät ist der Isolationswiderstand der einzelnen Klemmen zum Gehäuse zu prüfen.
- Eventuell ist die Zündmaschine zu trocknen, um einen zu geringen Isolationswiderstand oder einen Gehäuseschluss zu beseitigen.

Die Reihenfolge der Bedienung der Zündmaschine ist:

- Fertigstellen und Prüfen des Zündkreises,
- Zündleitung anschließen,
- Antriebskurbel aufstecken,
- solange kurbeln, bis die Glimmlampe aufleuchtet und die Sprengladungen detonieren oder
- solange kurbeln, bis die Glimmlampe im Drucktaster aufleuchtet. Danach noch 3 bis 4 Umdrehungen kurbeln, damit eine Zündbereitschaft von 6-8 Sekunden erreicht wird, dann Zündtaste drücken,
- Zündleitung von den Anschlussklemmen lösen und Antriebskurbel abnehmen und verwahren.

Hinweis für Zündmaschinen mit Zündschalterachse:

Beim Kurbeln mit der Generatorachse wird der Kondensator auf die vom Voltmeter angezeigte Ladespannung aufgeladen. Nach Umstecken der Kurbel auf die Zündschalterachse wird, durch eine 90 ° Drehung der Kurbel, die Zündung ausgelöst.

Bei dynamoelektrischen Zündmaschinen wird die Energie direkt beim Kurbeln erzeugt und abgegeben. Dies erfordert eine gewisse Kraft und Geschicklichkeit des "Sprengmeisters".



Abb. 43: Der Stolz eines Pyrotechnikers, die legendäre Stoßzündmaschine

Die Zündpraxis in der Filmpyrotechnik sieht jedoch meist ganz anders aus. Trotz der modernen technischen Möglichkeiten wird immer noch das einfache Nagelbrett verwendet. Mit einem Nagelbrett (Nailboard) können umfangreiche Zünderanordnungen wie mit einer elektronischen Ablaufsteuerung, mit fast beliebigen, variierenden Tempi, sehr gut nach dem Gefühl des Pyrotechnikers gezündet werden. Etliche amerikanische Pyrotechniker verwenden für Effekte mit Sprengschnur und Sprengstoffpatronen, der Übersichtlichkeit wegen, nur das Nagelbrett. Ein wichtiger Vorteil liegt nämlich in der technischen Überschaubarkeit und einfachen Bedienung. Dadurch sind technische Schwierigkeiten betreffs sicherer Funktion und Ängste wegen Irrtum fast ausgeschlossen. Leider entsprechen solche Zünderanordnungen nicht dem Merkblatt GUV-I 812. Deshalb sollte noch ein Schlüsselschalter und ein Feuertaster in der Zuleitung zum

"Schaltnagel" eingebaut werden. Erfahrene Pyrotechniker entfernen noch die Batterie und klemmen diese erst kurz vor der Zündung des Effektes an. Eine zwischenschaltbare Testeinrichtung mit LED, Summer und Vorwiderstand ermöglicht ein Testen der einzelnen Zünder sowie eine akustische Demonstration der Geschwindigkeit der Zündfolge. Weiterhin wäre noch sehr empfehlenswert, gut leitfähige Nägel, möglichst Kupfer- oder Messingstifte, zu verwenden. Für Einzelzündungen werden auch einfache Schaltboxen mit Schlüsselschalter und Zündtaster verwendet, die an eine Autobatterie angeklemmt werden. Als Zündleitung werden normale Verlängerungsleitungen, wie auch Schukokabel, die ja immer vorhanden sind, verwendet. Hinweis: Eine Batterie allein ist kein erlaubtes Zündgerät! Die Zündung muss über 2 Schaltelemente erfolgen, von denen mindestens eines ein Taster sein muss, der gegen unbeabsichtigte Betätigung geschützt ist.

Werden Hochspannungszündmaschinen verwendet, sollen die

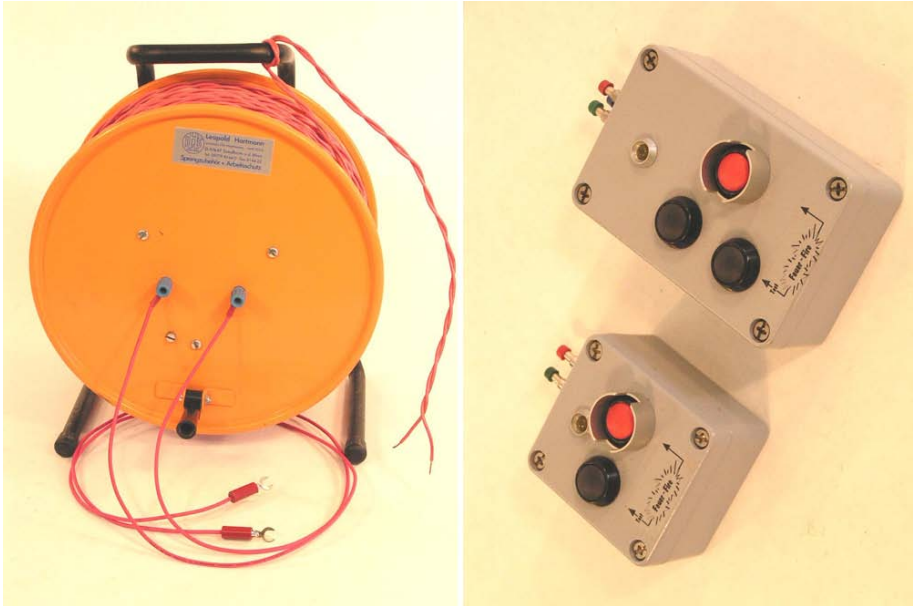


Abb. 44: Kabel f. Hochspannungszünd.,

6/12 V Einfachzündgerät

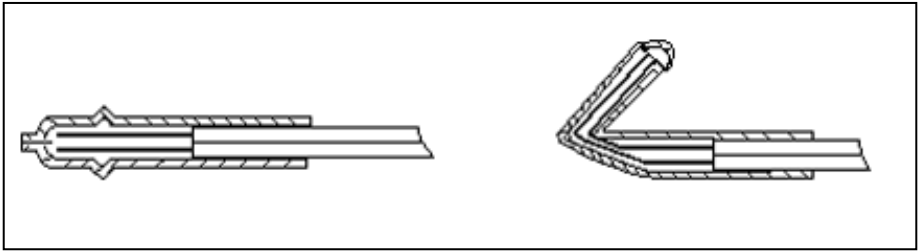


Abb. 45: Isolierverbinder vor und nach der Verbindung

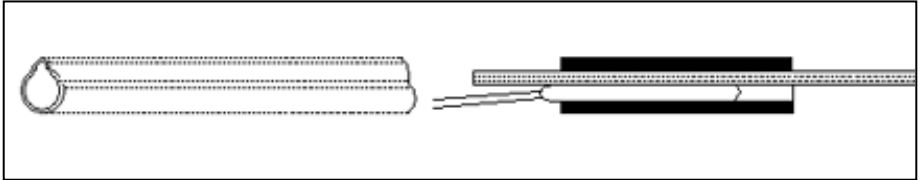


Abb. 46: Zündverbinder mit Kunststoffhülle zum Anlegen an Sprengschnur
 BAM zugelassenen Zündleitungen verwendet werden, damit ein Spannungsüberschlag ausgeschlossen werden kann. **Achtung: Filmeffektzünder, Mikrodetonatoren, DM 31, 54 usw. dürfen nicht mit** einer solchen Zündmaschine gezündet werden. Hier beträgt die höchstzulässige Zündspannung 48 V. **Eine zu hohe Spannung löst nicht aus, macht aber den Zünder funktionsunfähig.**

Sonstige Hilfsmittel für die Zündung

Isolierverbinder sind außen isolierte, einseitig verschlossene, Metallhülsen für leitfähige Verbindungen.

Eine ähnliche Funktion haben die Scotch Lock Verbinder die von Pyrotechnikern und Sprengmeistern gern verwendet werden.

Zünderverbinder verbinden die Sprengzünder mit der Spreng-

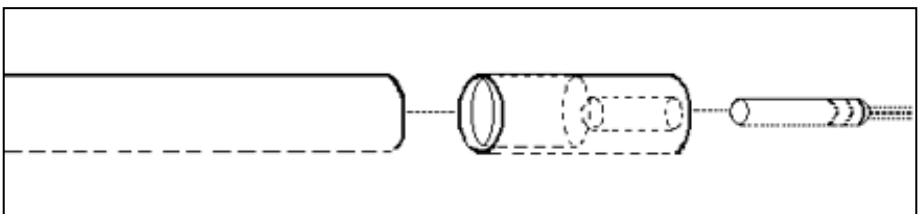


Abb. 47: Zündverbinder zum Anstecken an Sprengschnur



Abb. 48: Abschlusskappe für Sprengschnur

schnur. Das sind ca. 10 cm lange, besonders geformte Kunststoffröhrchen.

Abschlusskappen für Sprengschnurenden sind Alu- oder Kupferkappen mit Widerhaken. Sie sind mit Silikonfett gefüllt und verhindern das Ausrieseln von Sprengstoff sowie das Eindringen von Wasser. Elastikabschlusskappen werden ebenfalls für diesen Zweck verwendet. Der Filmpyrotechniker verwendet für diese Zwecke oft Klebeband.

Sprengkapselanwürgezangen werden verwendet, um Sprengkapseln an Pulverzündschnüre anzuwürgen, ohne die Pulverseele zu verletzen. Sie sind mit einem Schutzkorb versehen, in den



Abb. 49: Anwürgezange für Sprengkapseln

die Sprengkapsel eingeführt wird, um ein gefahrloses Anwürgen zu ermöglichen.

Die am meisten verwendete Schaltungsart ist die Reihenschaltung. Sie ist einfach, übersichtlich und leicht zu überprüfen. Es werden alle Zünder in Reihe geschaltet. Reihenschaltung ist jedoch aufgrund der hohen Reaktionsgeschwindigkeit für Squibs und Momentzündler nicht erlaubt. Durch die schnelle Zündung könnte der Zündstromkreis unterbrochen werden, bevor alle Zünder, bedingt durch geringfügige Widerstandsabweichungen, genug Strom bekommen haben um sicher auszulösen. Deshalb sollte man bei Reihenschaltung nur Verzögerungszünder verwenden. Die Parallelschaltung hat den Nachteil, dass mit einem Zündkreisprüfer nicht so leicht eine schlechte Leitungsverbindung zu den Zündern festgestellt werden kann. Zudem werden an die Qualität der Zündleitung, das ist die Zuleitung vom Zündgerät zur Sprengeffekt-Stelle, besonders hohe Anforderungen gestellt, da durch sie ein hoher Strom fließt. Außerdem muss die Zündmaschine ausdrücklich für Parallelschaltung zugelassen sein.

Die gruppenweise Parallelschaltung findet in der Sprengtechnik vorwiegend bei größeren, gleichzeitig zu zündenden Zünderzahlen (mehrere hundert) Anwendung. Ähnlich verhält es sich mit der Gruppenhintereinanderschaltung. Beide Schaltungsarten finden in der Film-
pyrotechnik keine Anwendung. Wegen all dieser Besonderheiten



Abb. 50: Scotchlok Verbinder mit Spezialzange

soll nur auf die Berechnung der Reihenschaltung eingegangen werden, da diese für den Filmpyrotechniker am ehesten in Frage kommt.

Es dürfen keine blanken Drähte der Zünderkette auf der Erde oder auf sonstigen leitfähigen Teilen anliegen, weil sonst Nebenschlüsse bzw. Erdschlüsse zu Versagern führen können.

Der Gesamtwiderstand $R_{\text{Zündkreis}}$ eines Zündkreises bei Reihenschaltung ergibt sich aus der Summe der Einzelwiderstände der Zünder $R_{Z1} + R_{Z2} + R_{Zn}$ zuzüglich dem Widerstand der Zündleitung und dem Widerstand der Verlängerungsdrähte, bezeichnet mit R_L .

Durch alle Teile des Zündkreises fließt der gleiche Strom.

Beispielberechnung eines Zündkreises

Es werden 50 U-Zünder in Reihe geschaltet. Der Gesamtwiderstand eines Zünders $R_Z = 3,2 \Omega$. Der Widerstand der Zündleitung und Verlängerungsdrähte, R_L beträgt 15Ω .

$$\begin{aligned} R_{\text{Zündkreis}} [\Omega] &= R_Z \cdot n + R_L \\ &= 3,2 \cdot 50 + 15 \\ &= 175 \Omega \end{aligned}$$

Nach Aufbau des Zündkreises wird nun mit dem Zündkreisprüfer (Ohmmeter), der errechnete Wert überprüft. Der errechnete und der gemessene Wert sollte annähernd übereinstimmen. Gleichzeitig muss beachtet werden, dass dieser Wert den Grenzwiderstand nicht übertrifft. Bei Zündung mit einer leistungsfähigen Gleichstromquelle (Bleiakku) wird die Anzahl der Zünder, die maximal in Reihe geschaltet werden können, nach folgender Formel berechnet:

$$n = \frac{U_{\text{Zündspannung[V]} - R_{\text{Leitung}[\Omega]} \cdot I_{\text{erforderlicher Zündstrom[A]}}}{R_{\text{Einzelzünder}[\Omega]} \cdot I_{\text{erforderlicher Zündstrom[A]}}$$

$n =$	Anzahl der möglichen Zünder
$U_{\text{Zündspannung[V]}} =$	Zur Verfügung stehende Zündspannung
$R_{\text{Leitung[\Omega]}} =$	Widerstand der Zündleitung und der Verlängerungsdrähte
$I_{\text{Erforderlicher Zündstrom[A]}} =$	Erforderliche Stromstärke (z. B. eine Reihe U-Zünder = 1,5 A)
$R_{\text{Einzelzünder[\Omega]}} =$	Widerstand eines einzelnen Zünders incl. Zünddrähte

Durch Verwendung von Zündleitungen, Verlängerungsleitungen und Zünderdrähten aus Kupfer kann bei Zündmaschinen die dreifache Anzahl von Zündern verwendet werden (offizielle Regel). Zündleitungen sind für die Zuleitung des Zündstromes bestimmte, isolierte Leitungen zwischen der Zündstromquelle und den gekuppelten Zündern. Das leitende Material der Zündleitung besteht aus Kupfer und hat eine gelbe Isolation (Stahl rot). In der Sprengtechnik dürfen wegen der hohen Zündspannung die Hin- und Rückleitung nicht in einer gemeinsamen Umhüllung sein. Eine Zündleitung darf für 100 Meter einfache Leitungslänge keinen größeren Widerstand als 5 Ohm haben. Zündleitungen sind für die Zuführung des Zündstromes zu den ver-



Abb. 51: Kleinstes BAM-zugelassenes Kondensatorzündgerät

bundenen Zündern von größerem Querschnitt als Zündverlängerungsdrähte. Diese dürfen wegen ihres hohen Widerstandes nicht als Zündleitung genutzt werden.

Kondensatorzündmaschinen werden vor allem dann eingesetzt, wenn große Distanzen mit vielen Zündern in Reihenschaltung eingesetzt werden. So eine Anwendung könnten z.B. viele Wasserfallbränder, Fontänen oder Feuertöpfe sein.

Aufbau eines Zündkreises mit Zündern und Anzündern bei Verwendung von Zündmaschinen

In der Filmpyrotechnik sollen zuerst alle beabsichtigten Leitungen ohne Zünder und ohne Effektladungen so verlegt werden, wie es die Kamerapositionen verlangen. Erst danach werden die Effektladungen platziert. Sehr wichtig sind gut leitende Verbindungen der Einzelkomponenten des Zündkreises. Hohe Übergangswiderstände können zu Versagern führen. Eine sorgfältige Behandlung und Verlegung der Drähte ist Voraussetzung, um Nebenschlüsse und Isolationsfehler, aber auch sichtbare Leitungsverlegung zu vermeiden. Beim Auseinanderziehen der Zünddrahtpuppen dürfen sich keine Schlaufen bilden. Die Drahtenden sollen wegen Oxidationsgefahr erst unmittelbar vor Gebrauch abisoliert werden. Zünderdrähte (Eisendrähte) von U-Zündern sollen beim Verbinden wegen des hohen Widerstandes gekürzt werden. Verbindungsstellen müssen isoliert sein. Zünderdrähte dürfen nicht durch Dekorationen, Türen und Autotüren oder durch Betreten beschädigt werden, dadurch könnten sonst Funkenüberschlag, Erdschluss usw. entstehen. Zünderdrähte werden durch Verdrillen der abisolierten Drahtenden (zusätzlich Isolierhülsen erforderlich), durch Lüsterklemmen oder am besten durch Scotch Lock™-Verbinder verbunden. Das sind Verbinder, die ohne Abisolierung der Drähte angebracht werden und die zusätzlich die entstandene Verbindungsstelle durch eine Fettfüllung vor Feuchtigkeit schützen.



Abb. 52: Streustrommessgerät

Streustrommessgeräte sollen in begründeten Fällen (bei besonders gefährlichen Sprengereffekten) eingesetzt werden. Maßgebliche Messpunkte können sein:

- zwischen metallischen Anlagenteilen untereinander,
- zwischen metallischen Anlagenteilen und der Erde,
- zwischen unterschiedlichen Stellen der Erde.

Beim Zündkreislaufbau müssen die Abstände zu elektrischen Anlagen und zu Sendeanlagen entsprechend den nachfolgenden Tabellen beachtet werden.

Mindestabstände von Leitungen

Leitungsart \ Zünderart	nach LR 210	ohne	mit
		zusätzliche(n) Sicherheitsmaßnahmen	
	A-Zünder	U-Zünder	U-Zünder
Starkstrom-Freileitungen mit Holzmasten	10 m	10 m	10 m bis 0 m
Starkstrom-Freileitungen mit Stahlbeton / Stahlmasten	100 m	50 m	50 m bis 25 m
Leitungen elektr. Bahnen	300 m	200 m	200 m bis 100 m

Mindestabstände von Sendeanlagen

(z. Z. gültig, unabhängig von der Frequenz)

Leitungsart \ Zünderart Strahlungsleistung	ohne	ohne
	Zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen	
	U-Zünder	A-Anzünder
bis 1,0 W	0 m	3 m
1,0 W bis 5,0 W	2 m	6 m
5,0 W bis 1.000 W	20 m	60 m
1.000 W bis 10.000 W	50 m	150 m

Vorschlag entsprechend der 22. Informationstagung, April 2000
Deutscher Sprengverband

Sicherheitsabstände elektr. U-Sprengzünder in Meter

	UVV	0,1 - 1,5 MHz	1,5 – 10 MHz	10 – 30 MHz	30 – 70 MHz	70 – 150 MHz	150 – 800 MHz	> 800 MHz
bis 1 Watt	0	3	1	3	2	1	0,5	0,1
1 - 5 Watt	2	6	3	7	4	2	1	0,2
5 – 100 Watt	20	26	10	32	20	10	5	1
100 Watt bis ...								

Sicherheitsabstände elektr. A-Sprengzünder in Meter

	UVV	0,1 - 1,5 MHz	1,5 – 10 MHz	10 – 30 MHz	30 – 70 MHz	70 – 150 MHz	150 – 800 MHz	> 800 MHz
bis 1 Watt	-	7	3	9	5	2	1	0,2
1 - 5 Watt	-	15	6	21	12	6	3	0,5
5 – 100 Watt	-	65	25	91	52	23	11	2
100 Watt bis ...								

1. Beispiel: Handy im D-Netz

Frequenz: 945 MHz

max. Senderleistung: 3 W (worst case)

Antennengewinnfaktor: 1

effektive Sendeleistung: 3 W

Mindestabstand:

nach BGV / UVV:	2 m
nach Tabelle U-Zünder:	0,2 m
nach Test:	0,13 m

2. Beispiel: D-Netz-Basisstation

Frequenz:	945 MHz
max. Senderleistung:	15 W
Antennengewinnfaktor:	13
effektive Sendeleistung:	195 W
Mindestabstand:	
nach BGV / UVV:	20 m
nach Tabelle U-Zünder:	3 m
nach Test:	1,1 m

Aus den Beispielen ersieht man, dass man bei Handfunksprechgeräten, die z. B. bei Absperrmaßnahmen verwendet werden, versuchen sollte, Geräte mit möglichst hohen Sendefrequenzen zu verwenden.

Die Aufnahme der Sicherheitsabstände in die BGV erfolgte nicht wegen realer Vorkommnisse, sondern nur aus präventiven Gründen. Frühzündungen durch Hochfrequenzeinstrahlung sind weder vor noch nach der Einführung dieser Sicherheitsabstände in der Sprengtechnik nachweislich bekannt geworden. Die immer größer werdende Dichte von Funknetzen, erfordert aber eine deutlichere Beachtung als bisher.

Prüfen des Zündkreises

Nach der Fertigstellung des Zündkreises wird zunächst eine Sichtkontrolle aller Verbindungen durchgeführt. Anschließend wird durch Messung der Gesamtwiderstand des Zündkreises festgestellt und mit dem, zuvor durch Rechnung ermittelten Gesamtwiderstandswert, verglichen. Je mehr Zünder in Reihe ge-

schalten werden, umso wichtiger ist dieser Vergleich. Abweichungen des Messwertes sind ein Zeichen für Fehler im Zündkreis. Liegt der gemessene Widerstand bei einwandfreier Berechnung und genauer Anzeige des Ohmmeters über dem errechneten, so sind vermutlich mangelhafte oder verschmutzte Verbindungsstellen im Zündstromkreis die Ursache. Dann sind die Drahtenden abzuschneiden und neu zu verbinden. Ein geringerer als der errechnete Widerstand kann durch Kurz- oder Nebenschlüsse innerhalb des Zündkreises entstehen.

Ein sehr weit verbreitetes Ohmmeter hat die Bezeichnung ZEB/WO. Der Messbereich umfasst die Werte 0 - 1000 Ohm. Der Messstrom beträgt ca. 20 mA, bis 25 mA Messstrom sind zulässig. Die Skalenpunkte 0, 10, 20, 50 und 100 Ohm sind mit Leuchtfarbe markiert. Das schwarze Kunststoffgehäuse ist gegen Wasser abgedichtet.

Erfolgt beim Messen keine Anzeige des Ohmmeters, so ist die



Zünderkette unterbrochen. Durch Überprüfung von Teilabschnitten der Zünderkette kann die Unterbrechung gefunden werden.

In jedem Fall muss nach dem Beseitigen des Fehlers der Gesamtwiderstand des Zündstromkreises erneut gemessen und verglichen werden.

Wenn mindestens zwei unisolierte Teile des Zündkreises mit leitfähigen Teilen der Umgebung (Erde,

Abb. 53: Ohmmeter, zugelassen für Sprengarbeiten

Metallkonstruktionen) in Berührung kommen, kommt es zu einem Nebenschluss. Ein Nebenschluss schwächt den Zündstromfluss und führt besonders bei Reihenschaltung zu Versagern. Um solche Strommangel-Versager zu vermeiden, wird eine Nebenschlussmessung durchgeführt. Eine Nebenschlussmessung ist eine Messung des Isolationswiderstandes des Zündkreises gegen Erde. Dazu gibt es ein spezielles, zugelassenes Zusatzgerät zum Ohmmeter (ZEB/BV-WO). Ideal wäre ein gemessener Wert von unendlich, jedoch ist ein Wert von 10 k Ohm schon ausreichend.

Es ist zu beachten, dass auch eine einzige schadhafte Isolationsstelle in der Verbindung mit der Umgebung zu einer Anzeige auf dem Messgerät führt, aber noch keinen Versager durch Nebenschluss verursachen kann. Erst, wenn zwei schadhafte, blanke Leitungsteile mit der Umgebung bzw. mit dem Erdreich in Berührung kommen, kann ein Nebenschluss und damit ein Teilstrom fließen und den eigentlich Zündstrom schwächen.

Andere Zündverfahren

Mit einem Reißanzünder, an den eine Anzündschnur montiert ist, kann die Zündflamme zu einer Sprengkapsel geleitet werden, um mit dieser einen Sprengeffekt auszulösen. Dabei darf die Anzündschnur nicht kürzer als 25 cm sein (vergleichbar bei Schneefeldsprengungen).



Abb. 54: Sprengkapselzünder

Beim Anzünden der Pulveranzündschnur muss neben dem Sprengberechtigten, aus Sicherheitsgründen, eine zweite Person anwesend sein, um die Umgebung zu beobachten.

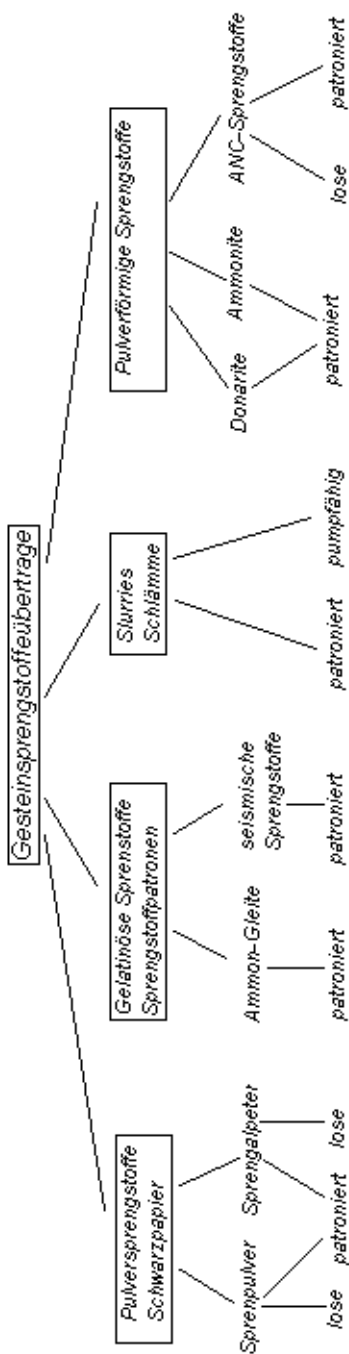
Ein sprengkräftiger Zünder, befestigt an einer Sprengschnur, kann diese zur Detonation bringen. Die Sprengschnur wiederum kann die Detonation auf eine Vielzahl von Sprengladungen übertragen. Dabei kann die Sprengschnur von Detonationsverzögerern unterbrochen werden, um eine zeitliche Abfolge der Zündung der einzelnen Sprengladungen zu erreichen. Da es aber nur gleichmäßige Zeitstufen gibt, kommt dies selten in Betracht. Vielmehr werden in der Filmpyrotechnik Nagelbretter, elektronisch gesteuerte oder gar vom Timecode des Films gesteuerte, Zündabläufe benötigt. Deshalb scheint die Verwendung von Sprengschnur zu Zündaufgaben in der Filmpyrotechnik nicht sehr verbreitet zu sein. Vielmehr wird die Sprengschnur direkt als Sprengstoff verwendet. Um den oben genannten Timecode des Films gut nutzen zu können, entwickelte die Firma Mikutta ein entsprechendes Zündgerät und stellte für unser Lehrbuch nachfolgenden Beitrag zur Verfügung:

1.5.4 Sprengstoffe für Sprengeffekte

Zur den vorrangig in der gewerblichen Sprengtechnik verwendeten Explosivstoffen gehören die sprengölhaltigen, gelatinösen Sprengstoffe wie Ammon-Gelit und Gelantine-Donarit, die in einer Vielzahl von Patronengrößen gehandelt werden. Für den Spezialeffektbereich sind diese "Dynamite" aus Sicherheitsgründen nur sehr begrenzt einsetzbar. Aufgrund der hohen Detonationsgeschwindigkeit von bis zu 6.000 m/s (unter Einschluss), lassen sich diese Materialien hauptsächlich nur zur Darstellung von Unterwasserexplosionen, riesengroßen Staubeexplosionen und Soundaufnahmen verwenden. Für diese Zwecke ist Sprengstoff wesentlich eindrucksvoller als eine Schwarzpulverladung. Bis auf wenige Sonderfälle, meist Anwendungen bei Außenaufnahmen für Kriegsfilme, sollten diese Stoffe daher nicht im Bereich der Spezialeffekte verwendet werden. Solche



Abb. 69: Sprengstoffpatrone 400 g / 125 g





Verpackungsdaten

Sprengstoffdaten		Ammon-Gelitt 2	Ammon-Gelitt 3
Bezeichnung		gelatiniös	gelatiniös
Beschaffenheit		rot	rot
Farbe		sehr gut	sehr gut
Wasserbeständigkeit		1,5	1,5
Sprengstoffdichte	g/ccm		
Detonationsgeschwindigkeit freiliegend (Patronen-Ø 30 mm)	m/sek	2300	2300
unter Einschluß (Patronen-Ø 40 mm)	m/sek	6000	5500
Stauchung nach Kast	mm	5,0	4,6
Stauchung nach Hess	mm	19	18
Rel. weight strength	%	88	84
Bleibklausurausbauchung nach Trauzl	ccm/10 g	420	400
Detonationsübertragung freiliegend (Patronen-Ø 30 mm)	cm	12	6
Schwadenvolumen	l/kg	860	810
Sauerstoffbilanz	%	+ 1,3	+ 3,6
Explosionswärme	koal/kg	1134	1045
	kJ/kg	4748	4375
Gesamtenergie	mt/kg	484	446
	kJ/kg	4748	4375
Spezifische Energie	mt/kg	116	102
	kJ/kg	1137	1000
Energiedichte	mt/l	174	153
	kJ/l	1706	1500

Ammon-Gelitt 2	Ammon-Gelitt 3
Kleinkalibrige Patronen	Kleinkalibrige Patronen
25*)	25
25*)	25
30	30
30	30
40	30
23 d.l.	23 d.l.
38 ü.l.	38 ü.l.
23 d.l.	23 d.l.
38 ü.l.	38 ü.l.
24 d.l.	38 ü.l.
178	178
300	300
250	250
400	250
418	400
42	42
1250	1250
2500	2500
10	10
10	10
50 - 52	50 - 52
39 - 40	39 - 40
34	34
2500	2500
10	10
5000	5000
5	5
20	20
140	140
80	80
100	100
60	60
60	60
20	20
10	10
10	10
10	10
10	10
5	5

d.l.= doppelte
ü.l.= überlang
*) Sonderfertigung; vorherige Rücksprache mit Verkauf notwendig

Abb. 70: Daten verschiedener Sprengstoffe



Abb. 71: Anfertig. einer 5 kg Schlagpatrone mit Sprengschnur im Steinbruch

Sonderfälle können sein, wenn gewaltige Wasserexplosionen benötigt werden um Seeminen darzustellen, oder Torpedoeinschläge, oder wenn ein Boot im Wasser explodieren soll. Aber auch Große Bodeneffekte können durch brisante Ladungen unterstützt werden, das ergibt schärfere Explosionen als pyrotechnische Ladungen. Auch sollte in solchen Fällen immer ein Fachmann, d. h. ein Sprengberechtigter (früher: "Sprengmeister") zu Rate gezogen werden, falls man hier nicht 100%ig sicher ist. Gleiches gilt auch für die plastischen Sprengstoffe, deren Detonationsgeschwindigkeit bei einigen militärischen Typen bis zu 8.000 m/s beträgt. In der Regel genügen dem Filmpyrotechniker ein bis zwei Sorten Sprengstoff.

Diese Sprengstoffe benötigen zur Entfaltung ihrer Energie keine Verdämmung, dafür aber eine Initiierung.

Um Sprengstoffpatronen zu zünden, fertigt man eine Schlagpatrone mit einem Zünder oder mit einer Sprengschnur an. Zuerst

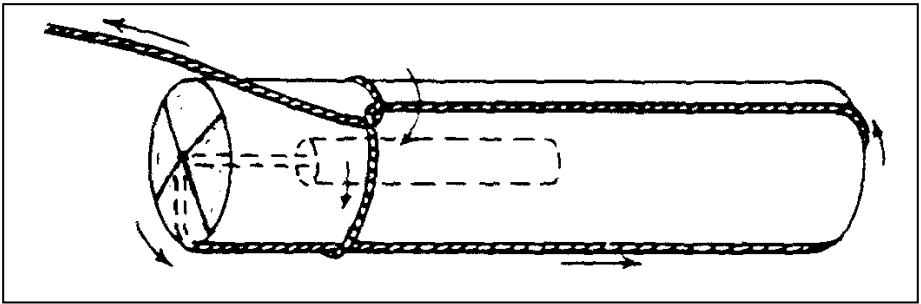


Abb. 72: Schlagpatrone mit elektrischem Zünder

öffnet man die Sprengstoffpatrone und sticht mit einem Holz-, Kupfer- oder Messingdorn ein Loch in Längsrichtung ein, in das der Zünder eingeführt wird. Die Zünderdrähte werden durch eine Schlaufe, wie in nachfolgender Skizze gezeigt, so befestigt, dass ein Zug an den Zünderdrähten dieser sich nicht unmittelbar auf den Zünder auswirken kann. Dadurch kann der Zünder nicht aus der Schlagpatrone gezogen werden.

Um diese Schlagpatrone herum können weitere Patronen befestigt werden, die dann durch die Schlagpatrone mitgezündet werden.

Beim Laden darf keine Gewalt angewendet werden.

Verdämmen ist das Abschließen oder Bedecken von Sprengladungen mit Verdämmungsmaterial. Dies ist bei Sprengeffekten sehr oft erforderlich.

Auskochen ist das Entweichen von Schwaden aus dem Laderaum ohne nennenswerte Sprengwirkung, dabei deflagriert der

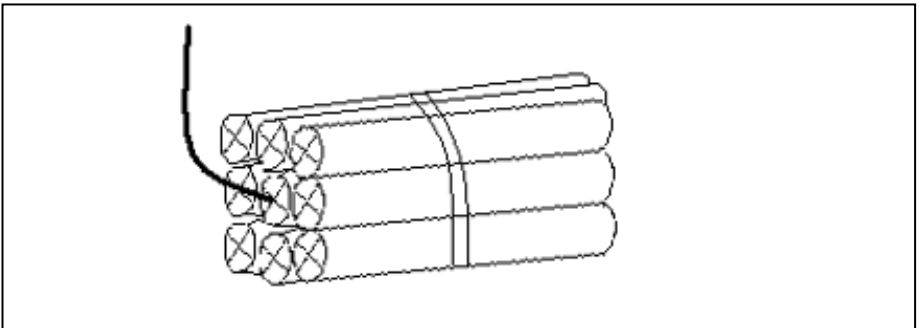


Abb. 73: Schlagpatrone, umgeben von 8 weiteren Patronen, geballte Ladung

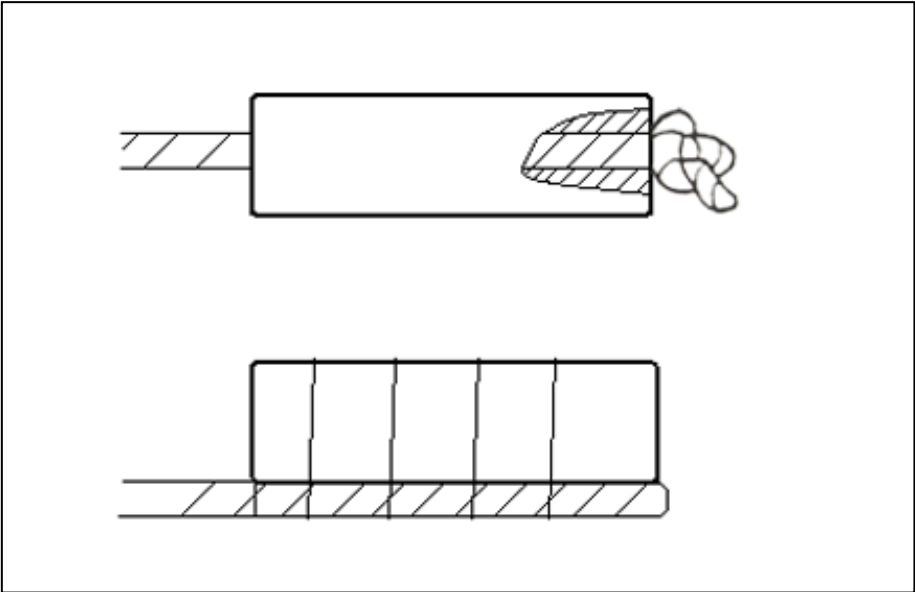


Abb. 74: Schlagpatrone mit Sprengschnur

brisante Sprengstoff nur. Ursachen können sein: Mangelhafte Initiierung, verdorbene Sprengstoffe, festgestampfte pulverförmige Sprengstoffe.

Eine Festlegung des Pyrotechnikers auf einen Sprengstoff, zum Beispiel Ammon-Gelit erscheint, allein schon wegen der Mindestabnahmemenge sinnvoll, falls überhaupt patronierter Sprengstoff zum Einsatz kommen soll. Sinnvollerweise sucht man sich einen Sprengmeister als Lieferant in der Nähe der Heimatgemeinde. Bei Unterwasserdetonationen ist die Ladungsmenge abhängig von der Wassertiefe. Die Höchstladung sollte nicht mehr als ein Kilogramm betragen. Bei einer Unterwasserdetonation entsteht eine Gasblase die sich mit ihrem hohen Druck zur Wasseroberfläche hin ausbreitet und dabei eine Druckwelle, verbunden mit einer Flüssigkeitsbewegung bildet. Wird Sprengstoff zu tief im Wasser deponiert, verringert sich die Explosionsleistung, weil sich die Druckwelle nicht so sehr nach oben ausbreiten kann. Es sind Experimente mit verschiedenen Ladungen und Ladetiefen erforderlich, um die Größe und Form

der Explosion vorher festzulegen. Wasserexplosionen sind schwieriger durchzuführen als es auf den ersten Blick scheint. Insbesondere sind wasserfeste Zündleitungen zu jeder Ladung einzeln zu verlegen, um eine vorzeitige gegenseitige Beeinflussung zu vermeiden. Wegen der Gefahr der elektrolytischen Elementbildung, die zu einer spontanen Zündung im Salzwasser führen könnte, ist auf besonders gute Isolation aller stromführenden Komponenten zu achten.

Bei Verwendung von 1 kg Sprengstoff im Wasser entsteht ein Druckaufbau, der im Wasser in 10 Meter Abstand etwa 40 bar, in 100 Meter noch 3 bar und in 500 Meter immer noch 0,5 bar beträgt und vielen Wassertieren das Leben kostet. Für solche Zwecke scheint Amon-Gelit geeignet, da es gegen eventuelle Wassereinwirkungen unempfindlicher als andere Sprengstoffe ist. Die Wasserbeständigkeit nimmt mit dem Gehalt an Sprengöl zu, das bedeutet, dass Amon-Gelit 2 (hoher Sprengölanteil) wasserbeständiger als Amon-Gelit 3 ist.

Sprengstoffpatronen mit größerem Durchmesser sind wasserbeständiger als solche mit kleinerem Durchmesser.

Für nicht so große Bodeneffekte mit brennendem Sprengstoff verwendet man besser Sprengschnur als Sprengmittel. Dies bringt Vereinfachungen der Beschaffung mit sich.

Als weiteres Einsatzbeispiel für Sprengstoffpatronen, bis etwa 1 kg, werden in der Fachliteratur Explosions-Soundaufnahmen mit Echo usw. genannt. Dies kann erforderlich sein, da der Sound von Spezialeffektexplosionen meist nicht so beeindruckend ist. Um dabei Schäden durch Luftdruck zu vermeiden, gelten folgende Empfehlungen:

Keine frei aufgelegten Ladungen verwenden, wenn Objekte im Umkreis von 100 Meter vorhanden sind. Fenster im Umkreis von 200 Meter allseitig öffnen.

Unter normalen Bedingungen gilt für die maximale Lademenge

von frei aufgelegten Ladungen

$$\text{max. } L_{[\text{kg}]} = (0,008 \cdot a_{[\text{m}]})^3$$

L = Lademenge in kg

a = Abstand zum nächsten Objekt in Meter

Beispiel: Bei 200 Meter Abstand beträgt die maximale Lademenge max L = 4,1 kg Sprengstoff.

Das Ausmaß des Absperrbereiches richtet sich nach der Art und Größe der Ladung. Im Allgemeinen wird ohne Abzudecken ein Umkreis bis 300 Meter ausreichend sein. Weitere Einsatzmöglichkeiten sind Kriegsszenen, aber auch sehr große Modellexplosionen, wie z.B. die Explosion eines 12 Meter (!) langen Modellflugzeughangars, Höhe 1,40 Meter in einem amerikanischen Film. Hier setzte der Filmpyrotechniker Dipl. Ing. Köhler 600 Liter Benzin ein, die mit 40 kg Sprengstoff zersprengt und entzündet wurden.

Wasserbesatzpatronen sind mit Wasser gefüllte Plastikschräuche. Sie können bei allen Sprengstoffen verwendet werden. Dadurch wird ein Großteil der Schwaden und des Staubes gebunden und niedergeschlagen, was aber bei Sprengeffekten kaum gewünscht wird. Jedoch zum nachfolgenden Löschen, als Sprenglöschern brennender Aufbauten sinnvoll sein kann.

Patronierter Sprengstoff ist normalerweise in der angelieferten Form zu verwenden. Falls erforderlich, dürfen Sprengstoffpatronen (außer Pulversprengstoffpatronen) geteilt werden. Sprengstoffe dürfen nicht über die zulässige Temperatur erwärmt werden. Fehlen Angaben dazu, dann liegt die Temperaturgrenze bei +75 °C.

1.5.5 Darstellungsmittel für Sprengeffekte

Darstellungsmittel sind Feuerwerkskörper für Übungszwecke im militärischen Bereich. Da aber die Bundeswehr und die Polizei nicht dem SprengG unterliegen, gibt es für diese Gegenstände keine BAM Zulassung und keine Klasseneinteilung. Wenn diese Gegenstände im Filmbereich eingesetzt werden sollen, müssen sie als Klasse IV deklariert werden und wie Bodenfeuerwerk Klasse IV, erforderlicher Mindestabstand 20 Meter, zusätzlich mit Qs-Prüfung behandelt werden. Andererseits kann aber, wie bei jedem anderen Gegenstand, der Sicherheitsabstand verringert werden, wenn dies durch andere Sicherheitsmaßnahmen gerechtfertigt ist und wenn es von der Aufsichtsbehörde keine Einwände dagegen gibt.

Darstellungsmittel, die vom Filmpyrotechniker, aber auch



Abb. 75: Lehrgangsstübung: Zylind. Mörser und DM 54 mit 5 Liter Benzin



Abb. 76: DM 54 als Panzerkanonenschuss

manchmal schon vom Theaterpyrotechniker verwendet werden, sollen nun in der Reihenfolge der Häufigkeit ihrer Anwendung aufgezählt und näher erläutert werden:

DM 54 Simulator für Panzerkanonenschuss, (126 Gramm brutto)

Diese Simulatoren werden im militärischen Bereich vor allem für die akustische und optische Darstellung von Schüssen aus Panzerkanonen bis 120 mm verwendet. Der Abschussknall, -rauch und -blitz sind bis 2 Kilometer deutlich hör- und sichtbar. Sie werden eingesetzt um die Kanonenrohre bei Manövern zu schonen. Normalerweise werden die Simulatoren aus Abschussbechern verschossen. Das sind einseitig verschlossene Metallrohre die im Durchmesser etwas größer sind als der Feuerwerkskörper. Der eingebaute elektrische Anzünder benötigt eine Zündenergie von 3,0 Milliwattsekunden/Ohm und liegt damit in seiner Empfindlichkeit etwas unter den A-Anzündern. Um die-

se Angaben richtig einordnen zu können, sei folgende Erläuterung gegeben.

Die Zündenergie wird in Wattsekunden (=Joule) angegeben. Die vom Zündstromkreis abgegebene elektrische Energie E [mWs] errechnet sich als Produkt der

Spannung U [V], dem Strom I [A] und der Stromflusszeit t [ms].

$$E_{[\text{mWs}]} = U_{[\text{V}]} \cdot I_{[\text{A}]} \cdot t_{[\text{ms}]}$$

Der Zünddraht des DM 54 ist mit einem Stecker versehen, der für die Filmpyrotechniker überflüssig ist und gewöhnlich abgeschnitten wird.

Das Hauptanwendungsgebiet des DM 54 für den Filmpyrotechniker ist der Ersatz als fest bandagierte 150 g Schwarzpulverladung, die gewöhnlich in einem Mörser mit Beiladung verschossen wird. Der DM 54 ist aber auch ohne Mörser einsetzbar. Eine alleinige Verwendung als bloßer Knall mit Blitz- und Rauchwir-

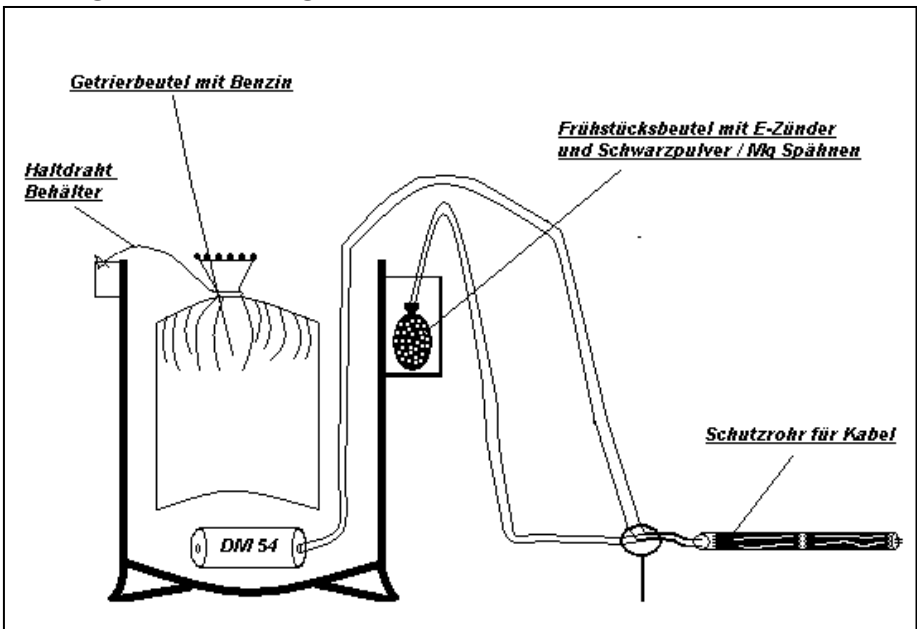


Abb. 77: Mörser mit Benzin, Darstellungsmittel und Zündladung

kung ist zwar möglich, aber nicht üblich. Der DM 54 ist zwar weit verbreitet und ständig erhältlich, wird jedoch nicht allzu häufig eingesetzt, da viele Pyrotechniker individuelle, selbst gefertigte Schwarzpulverladungen bevorzugen.

Ein ungewöhnliches Einsatzbeispiel aus dem Theaterbereich (Freilicht) ist eine Benzinexplosion von etwa 8 Meter Höhe mit einem DM 54 und 5 Liter Benzin in einem Plastikbeutel, abgeschossen aus einem zylindrischen



Abb. 78: DM 31, Wasserschuss aus Mörser 80 cm, 300 Liter Wasser

Mörser mit einem Durchmesser von 25 Zentimeter und einer Höhe von ebenfalls 25 Zentimeter. Durch die Verdämmung der Benzinbeiladung wird der Knall auf ein erträgliches Maß reduziert.

Das DM 54 kann durch eine Titansalutbombe, Kl. IV, Kaliber 3“ ersetzt werden.

DM 64 Simulator Panzerkanonenschuss mit stark reduziertem Knall (95 Gramm brutto)

Diese Simulatoren erfüllen im militärischen Bereich die gleichen Aufgaben wie das DM 54. Sie sind bedingt durch ihren geringeren Knall auch auf Übungsplätzen in der Nähe von Wohngebieten einsetzbar. Rauch- und Blitzwirkung sind genauso stark und ebenfalls bis zwei Kilometer weit sichtbar. Das Gewicht ist um 25 Gramm geringer. Das DM 64 ist zurzeit nur schwer erhältlich.

DM 31 Simulator Artillerieabschuss (760 Gramm brutto)

Dieser Simulator wird zur optischen und akustischen Darstellung von Artilleriefeuer, für Schallmessübungen und als Täuschungsmittel in Kampfsituationen verwendet. Es hat eine wesentlich stärkere Ladung als das DM 54. Der Abschussblitz, -rauch und -knall sind auf eine Entfernung von 5 Kilometer deutlich zu hören.

Militärische Schallortungen sind bis 10 Kilometer möglich. Der Sicherheitsabstand beträgt 50 Meter im Umkreis bei Verwendung des nachfolgend abgebildeten Abschussgerätes mit etwa 20 kg Gewicht. Das DM 31 ist in der Regel immer erhältlich.

Eine Verwendung in der Filmpyrotechnik als große und schnelle Schwarzpulverladung, wie sie für Unterwasserexplosionen und große Benzinexplosionen und Mehlstaubexplosionen benötigt



Abb. 79: DM 31 mit 70 kg Mehl ohne Zündladung



Abb. 80: DM 31 mit militärischem Abschussgerät

werden, ist gebräuchlich. Es kann durch eine Titansalutbombe Kl. IV, Kaliber 4" aus dem Feuerwerksbereich oder durch etwa 1,5 kg Schwarzpulver ersetzt werden. Beim Abschuss des DM 31 ohne Beiladung ist bis zum Abstand von 50m Gehörschutz zu empfehlen. Bei Verwendung von großen Staubbeiladungen verringert sich dieser Abstand.

DM 12 Simulator Handgranate für Infanterieübungen (45 Gramm brutto)

Diese Simulatoren sind als Übungshandgranaten von der Bundeswehr her bekannt. Sie werden dort zur Nachahmung explodierender Kampfmittel benutzt. Das DM 12 erzeugt einen lauten Knall, einen Lichtblitz und eine graue Rauchwolke. Unter der Schutzkappe, die beim Gebrauch entfernt werden muss, befindet sich ein Abreißzünder mit einem Verzögerungssatz von 5 Sekunden. Wird die Anzündschnur entfernt (durch Herausdrehen – geht schwer), kann ein elektrischer Anzünder eingesetzt



Abb. 81: Darstellungsmittel DM 12

werden. Das DM 12 ist bei verschiedenen Herstellern vorrätig. Das DM 12 wird mit Beiladungen verwendet, meist jedoch werden diese Simulatoren nur deshalb verwendet, weil

das DM 54 zu stark, nicht verfügbar oder unbekannt ist. Das DM 12 eignet sich besonders für kleine Benzinexplosionen von zwei bis fünf Liter.

DM 25 Simulator Atombombenexplosion

Dieser Simulator enthält eine große Schwarzpulverladung, kombiniert mit einem Rauchsatz und einem Blitzsatz zur Darstellung eines Atomschlages. Die Wirkung besteht aus einem starken, grellen Lichtblitz und der Entwicklung einer weithin sichtbaren, durch die Hitzeentwicklung in die Höhe steigenden Rauchwolke. Das Satzgewicht beträgt 39 kg. Die Höhe der Rauchwolke ist ca. 90 Meter, bei einem Durchmesser von 45 Meter. Obwohl der erfahrene Filmpyrotechniker sich entweder mit einer eigenen Komposition einen Atomschlag selbst zusammenstellt, siehe auch Atomschlagsimulation unter „Praxistipps“, oder mit Miniaturmodellen arbeitet, ist das DM 25 in Pyrotechnikerkreisen nicht unbekannt. Konkrete Einsatzbeispiele sind uns aber nicht bekannt. Eine Nachfrage beim Hersteller ergab, dass dieses DM nur selten verfügbar ist, das ist dann der Fall, wenn eine größere Menge für einen Kunden hergestellt wird. Der Preis liegt etwa, je nach Stückzahl, bei eintausend Euro.

In nachfolgender Tabelle sind auch noch, zuvor nicht beschriebene Typen enthalten, die sich für Filmzwecke ebenfalls gut eig-



Abb. 82: Darstellungsmittel DM 25

nen können.

Erwähnenswert scheinen uns noch folgende Feuerwerkskörper die für filmpyrotechnische Zwecke geeignet sein könnten:

- Tränengaswurfkörper CN, CS, oder Instant CS mit Kipphebelzündung, ähnlich einer Handgranate,
- Schockwurfkörper mit Doppelknall und Dauerlicht,
- Schockwurfkörper mit 8-fach Knall

Typ	Art	Gewicht	L und ø	Zünder	Stärke
DM 12/26	Stielhandgranate	48 g	240 ø 55	Reißzünder	170 dB
DM 16	Leuchtkörper (Alarm-)	585		Reißzünder	250.000 cd
DM 22	Farbrauchkörper orange	125 g	185 ø 50	elektrisch	
DM 25	Atomexplosion- Simulator	39 kg	650 ø 400	elektrisch	90 m ø 45 m
DM 28	Übungssprengkörper (Rauch)	53 kg	40 50 70		3 sec.
DM 31	Artillerieabschuss	730 g	28 ø 75	elektrisch	
DM 48	Übungshandgranaten- ladung	96 mm		Reibzünder	
DM 54	Panzerkanonenschlag Simulator	120 g	150 ø 50	elektrisch	170 dB
DM 57	Alarm-Mine mit Stol- perdraht	50 g		Schlagzün- der	15 m Steighöhe
DM 64	Panzerkanonenschlag Simulator	95 g	150 ø 50	elektrisch	
Nebeltopf HC		215/ 182 g		elektrisch	12
Schockwurfk örper	8-fach Blitz-Knall		120 ø 45	Kipphebel- zünder	170 dB



Abb. 83: Shockwurfkörper



Abb. 84: Lichtfalle DM 16, Übungsaufgabe im Schulungsheim

Gaskartuschenschussgerät

Ein weiteres wichtiges Einsatzbeispiel für Gasexplosionseffekte, hier mit pyrotechnischer Auslösung und pyrotechnischer Zündung für kleine Feuerexplosionen, bis etwa 4 Meter Durchmesser ist eine Abschussvorrichtung für Gaskartuschen 0,6 Liter. Zuerst wird die Gaskartusche mit dem Kopfteil voran, in diese Abschussvorrichtung, bestehend aus einem Rohrbehälter mit vielen Löchern, eingeführt. Danach wird ein Stoßkolben eingesetzt. Zwischen dem Ende des Stoßkolbens und einer Rohrabschlusskappe wird eine Schwarzpulver-Treibladung von ca. 20 g in einem kleinen Plastikbeutel mit Elektroanzünder eingesetzt. Auf der oberen Außenseite der Vorrichtung sind zwei kleine Abschussmörser für Minifunkenblitze als Zündladung für die schnell entweichende Gaswolke angeschweißt. Die Treibladung schießt den Stoßkolben in den Boden der Gaskartusche. Dadurch entweicht der größte Teil des Flüssiggases aus der Kartusche durch die Löcher der Abschussvorrichtung ins Freie und kann so eine Feuerwolke von 3 bis 4 Meter Höhe oder Breite, je nach Anordnung der Löcher in der Vorrichtung, erzeugen. Bei nur seitlichen Löchern eignet sich das Gerät beispielsweise bei einer Autoexplosion unter einem Auto als Zusatzeffekt, wenn eine Bodenverschmutzung ausgeschlossen werden soll. Bei Austrittsöffnungen nach oben eignet sich das Gerät eher im Kofferraum oder Motorraum bei kleinen Autoexplosionen und ähnlichem. Von der Gefährlichkeit und vom Effektbild her, steht dieser Effekt etwa zwischen einer großen Lycopodiumfeuerexplosion und einer Benzin-Schwarzpulverexplosion (1 Liter). Hinweis: Der Effekt brennt noch einige Minuten nach, da nicht das gesamte Gas sofort verdampft und ein flüssiger Rest in dem Abschussgerät verbleibt. Um den flüssigen, nachbrennenden Flüssiggasrest zu verringern sollten möglichst angewärmte Gaskartuschen (40 °C) verwendet werden.

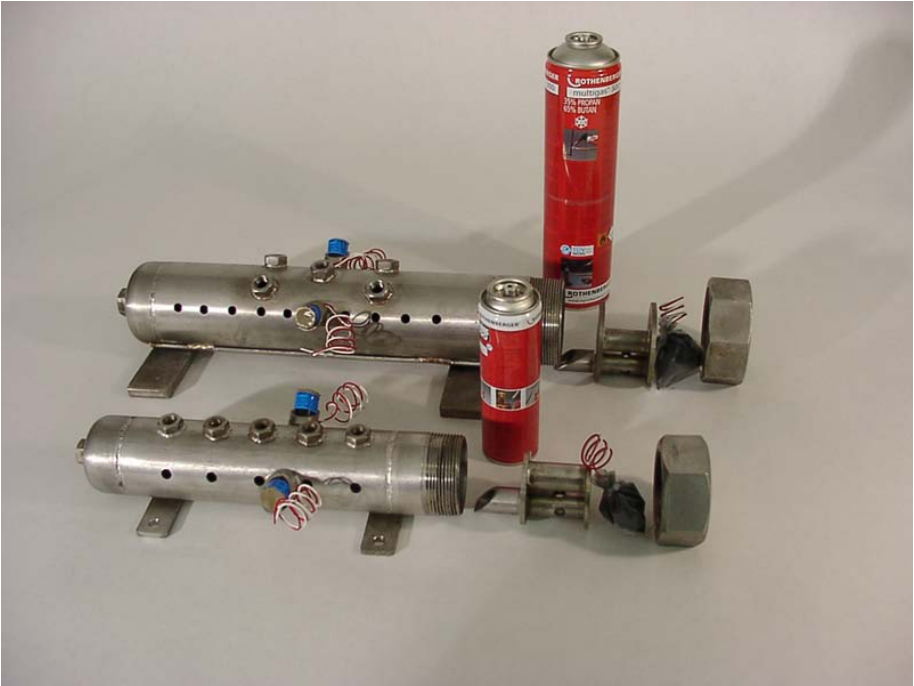


Abb. 103: Schussgerät für Gaskartuschen 150 ml und 600 ml



Abb. 104: Gaskartuschenschuss klein, im Lehrgang



Abb. 105: Gaskartuschenschussgerät groß, oben mangelhaft gezündet

1.6 Einsatzbeispiele und Brandschutz

1.6.1 Abschussvorrichtungen, Mörser

Um ein effektloses Ausbreiten von Sprengeffektladungen zur Seite zu verhindern, kann man prinzipiell Abschusslöcher in der Erde ausheben. Sie dienen als Behälter für Ladung und Beiladung und richten die Hauptwirkung der Explosion nach oben. Einfache Löcher im Boden haben aber mehrere Nachteile, die durch Verwendung von Mörsern vermieden werden können. Die Nachteile sind im Einzelnen:

- Keine genaue Festlegung der Wirkungsrichtung,
- ein Teil der Explosionskraft wird vom Erdreich absorbiert,
- Gefahr des Wegfliegens von Steinchen und anderen harten Bestandteilen des Erdreichs.

Solche Schwierigkeiten werden durch die Verwendung von Mörsern aus Stahl vermieden.

Falls sich in unmittelbarer Nähe von Explosionsdarstellungen Schauspieler aufhalten müssen, können die Mörser auch verkantet werden, damit sich die Explosionswirkung vom Schauspieler wegrichtet.

Man unterscheidet dabei zwischen folgenden Ausführungen von Stahlmörsern:

- Flashpots
- Shotgun-Mörser
- Kicker, auch Lifting-Mortars genannt
- Flache Mörser
- Konische, trichterförmige Mörser, verschiedene Konuswinkel
- Zylindrische Mörser
- Große Mörser, Durchmesser 80 cm und mehr
- Mörser für besondere Effektformen

Flashpots sind kleine Mörser für Zünd- oder Blitzladungen, von 10 bis 20 Gramm im Studio, sonst bis 50 Gramm und mehr. Sie



Abb. 109: Verschiedene Flashpots; links: für Blitz- oder Rauchladung, mitte: für Zündladung, rechts: Typ Pyropak für Bühnenfeuerwerk

haben einen Innendurchmesser von 5 bis 10 Zentimeter und eine Höhe von etwa 12 Zentimeter, bei einer Wandstärke von 4 bis 8 Millimeter. Sie werden für Blitzerscheinungen, rauchpilzartige Effekte und ähnliches verwendet. Sehr oft werden sie als Anzündeinrichtung, für aus anderen Mörsern versprengte, brennbare Flüssigkeiten und brennbare Stäube verwendet. Oftmals sind sie für diese Aufgabe gleich an dem entsprechenden Mörser angeschweißt. Für größere Mörser kann man zwei solcher Anzündeinrichtungen gleichzeitig verwenden.

Sie werden oft mit 25 g bis 70 g Schwarzpulver, mit beigemischten Metallspänen aus Eisen, Aluminium oder Magnesium geladen. Die entstehenden Funken sind länger zündfähig als die bloße Schwarzpulverladung.

Shotgun-Mörser sind rohrförmige Mörser für Schwarzpulverladungen bis etwa 50 Gramm. Sie haben einen Innendurchmesser von etwa 6 - 8 Zentimeter, eine Höhe von ca. 30 Zentimeter und eine Wandstärke von 8 bis 15 Millimeter. Sie werden hauptsächlich zum Verschießen von Sand, nassem Sand und benzinge-tränktem Sand und nasser Pappe verwendet, um damit große Energien wirksam auf andere Objekte zu übertragen. Mit solchen Mörsern können Türen, Fenster, Fensterscheiben, Kisten, Fässer, Motorhauben, Autotüren usw. "aufgesprengt" werden.



Abb. 110: Die verschiedenen Mörtser werden im Lehrgang nebeneinander aufgestellt um die unterschiedlichen Wirkungen vergleichen zu können

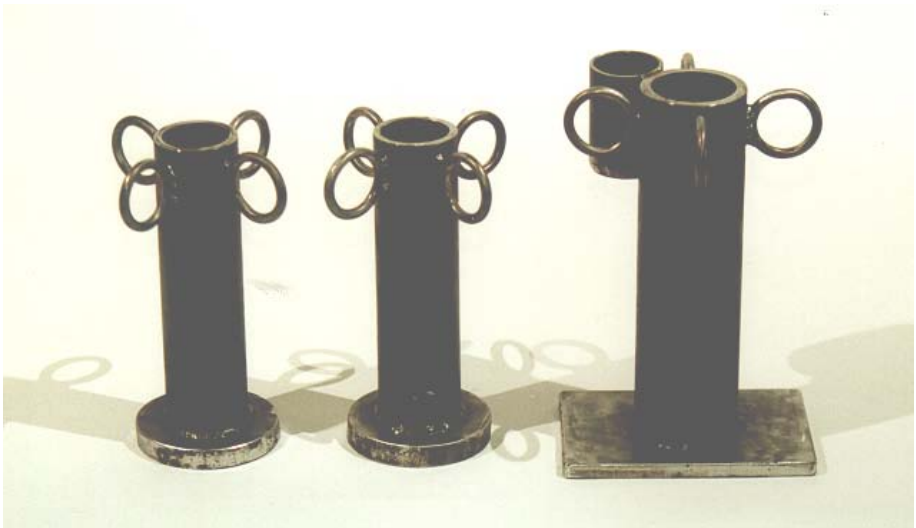


Abb. 111: Shotgunmörser, rechts mit angeschweißtem Flashpot

Die Explosionskraft kann bei richtiger Montage sehr gut gerichtet wirken. Nasser Sand verstärkt die Wirkung. Benzingetränkter Sand erzeugt zusätzlich noch einen geringen Feuereffekt. Allerdings erfordert dies wegen der sicheren Anzündung die Kombination mit einem Flashpot. Oft wird dazu noch, zur Unterstützung der optischen Wirkung, ein großer Mörser mit Staub und Trümmern nebst Schwarzpulverladung eingesetzt, da das herausgesprengte, wegfliegende Teil noch keinen vollständigen Explosionseffekt darstellt. Auch kleinere Ausführungen für geringere Energieübertragungen sind gebräuchlich.

Kicker, auch Lifting Mortars genannt, sind zylindrische Mörser zum Heben und Verschießen von hölzernen Kolben mit Stößeln, gewickelten Papp- oder Papierstoßkolben. Stoßkolben können massiv oder auch leicht gebaut werden. So kann man z.B. eine kreisförmige Scheibe aus 2 bis 3 Zentimeter starkem Sperrholz aussägen, um sie lose an das Mörserrohr anzupassen. Der Stößel kann aus 10 x 10 cm Bauholz gefertigt werden. Dann wird das eine Ende auf der Scheibe zentriert und das andere Ende gegen das zu bewegende Bauteil gerichtet.



Abb. 112: Zwei Shotgunmörser mit Sandladung schießen eine Windschutzscheibe heraus



Abb. 113: Türschuss mit Shotgunmörser

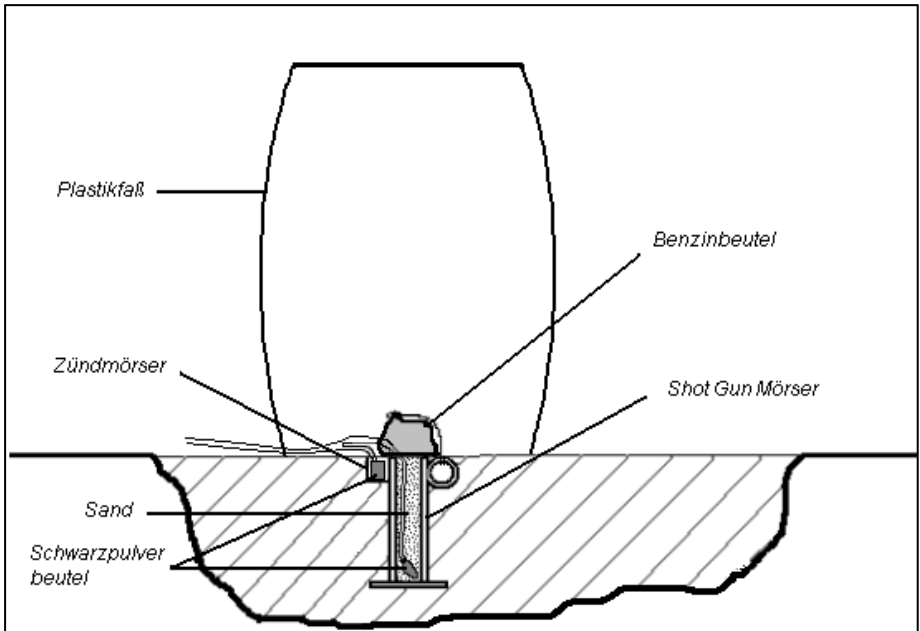


Abb. 114: Fassschuss mit Shotgunmörser, Benzinbeilage und Pappkarton



Abb. 115: Fassschuss mit Shotgunmörser



Abb. 116: Praktisches Beispiel für Faßschuss, Freilichtbühne Ralswiek

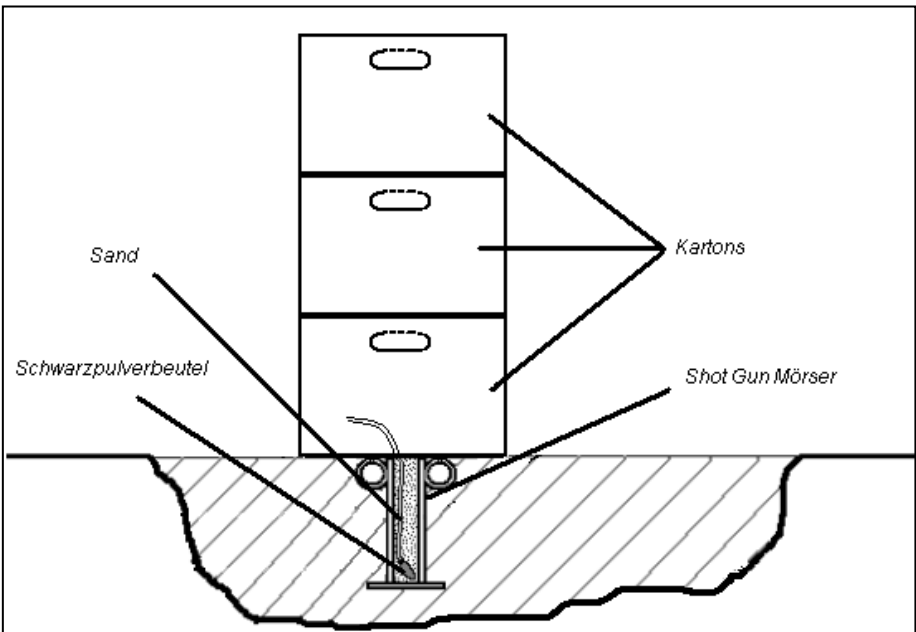


Abb. 117: Shotgun auf Pappkartons für herumfliegende Teile



Abb. 118: Shotgun im Lehrgang auf Pappkartons für herumfliegende Teile

Sie sind in der Funktion ähnlich den Shotgun-Mörsern, jedoch im Durchmesser etwas größer, oft innen etwa 10 Zentimeter. Die Wandstärke beträgt 8 bis 12 Millimeter. Die Länge reicht von wenigen Zentimetern, bis zu etwa 30 Zentimetern. Sie werden eingesetzt zum Zerstören von Dekorationsaufbauten, zum Umkippen oder Hochschleudern von Gegenständen. Für fliegende Soldatenpuppen und ähnliches werden solche Mörser auch mit Druckluft aber auch für zu katapultierende Autos in längerer Ausführung betrieben.

Die Ladung ist normalerweise eine locker gewickelte Schwarzpulverpackung bis etwa 50 Gramm. Auf diese Ladung kommt, zwecks Abdichtung, ein Papier- oder Stoffpfropf und dann der Holzkolben oder der gewickelte Papp- oder Papierstößel. Papierstößel aus gewickeltem Zeitungspapier sind für kleinere Anwendungen am ungefährlichsten und erfordern den geringsten Sicherheitsabstand. Kicker haben oft eine, innen am Boden angeschweißte Öse, in die ein Drahtseil oder eine Kette eingehängt wird. Diese Sicherung ist durch den Holzzyylinder hindurch befestigt und verhindert so ein unkontrolliertes, gefährliches Wegfliegen. Gewickelte Pappstößel entfalten sich meist beim Verlassen des Mörsers und werden durch den Luftwiderstand gebremst. In jedem Fall sind vor dem Einsatz solcher Kicker, an sicherer Stelle, mehrere Vorversuche mit ausreichendem Sicherheitsabstand durchzuführen. Der Mörser wird so in die Dekoration eingebaut, dass der Stoßkolben seine Antriebsenergie, direkt oder über gesicherte Verlängerungen, an tragende Bauteile wie Deckenbalken, Türpfosten usw. abgibt und so schwere Konstruktionsteile kräftig in vorbestimmter Richtung wegschießt. Eine Schwarzpulverladung von 100 bis 200 Gramm ist für schwere Konstruktionsteile üblich und meistens ausreichend. Für zu katapultierende Autos braucht man, je nach Gewicht und Wurfweite, 500 g bis 900 g Schwarzpulver. Große Abstände für Personal und Schutzkäfige für die Kameras sind erforderlich.



Abb. 119: Scharniermörser für Rückschlag von Kanonen usw.

Kleine Kicker, mit einem Durchmesser von 5 bis 6 Zentimeter, bei denen Mörser und Stoßkolben über ein langschenkliges Scharnier miteinander verbunden sind, werden zur Darstellung des Rückschlages von Geschützen unter

deren Räder oder unter deren Rahmen angebracht. Beim Auslösen der verhältnismäßig kleinen Schwarzpulverladung, macht dann das Gerät einen kleinen Sprung, ähnlich einem Rückschlag beim Abschuss eines Geschützes.

Autokicker sind zylindrische Mörser, die besonders groß, fest und schwer gebaut sind. Sie werden in den Überrollkäfig eines Crashautos fest eingeschweißt und werden mit Schwarzpulverpackungen von 200 bis 400 Gramm geladen. Sie haben einen Innendurchmesser von etwa 20 Zentimeter, eine Wandstärke von 15 bis 20 Millimeter und eine Länge 60 bis 80 Zentimeter. Der massive Holzkolben ist etwa gleichlang. Er kann, ähnlich wie bei einem normalen Kicker, mit einer Kette oder einem Drahtseil gesichert werden. Da der Mörser mit der Öffnung nach unten eingebaut wird, muss der hölzerne Stoßkolben mittels ein oder zwei Holzschrauben, durch die Wandung hindurch, am Herausfallen gehindert werden (oder Holzkeil). Bei der Explosion werden die Schrauben abgeschert. Die dem Schwarzpulver zugewandte Seite des Holzstößels wird vorteilhaft mit einer passenden Sperrholzscheibe abgedeckt um gegen die heißen Verbrennungsgase abzudichten. Andere Techniker verwenden statt ei-



Abb. 120: Stempelschuss waagrecht zum Wegschießen von Fahrzeugen



Abb. 121: Katapultiertes Auto mit 750 g Schwarzpulver



Abb. 122: Autokicker eingebaut in VW Bus



Abb. 123: Autokicker Einsatz im Lehrgang



Abb. 124: Lehrgangsexperiment: PKW mit Stempelschuss



Abb. 125: Bei jedem Film deutlich zu sehen, der Stempelschussmörser

nem Holzstößel einen Eisenstößel. Da dieser sehr schwer ist, ist mit einem gefährlichen Fortschleudern kaum zu rechnen. Wieder andere Techniker verwenden eine Stickstoffflasche mit einem Hochdruckventil und einem 200 bar festen Hydraulikzylinder.

Die Wirkungsweise des Autokickers ist nicht etwa durch das Wegschießen des Stoßkolbens gegeben, sondern viel mehr durch die Gasausdehnung im Mörser, wenn der Stößel durch die Fahrbahn gestoppt wird und nun der Mörser mit dem Fahrzeug weg geschossen wird. Ist der Untergrund nachgiebig bleibt der Stoßkolben im Untergrund stecken und die Stoßkraft wird geschwächt. Ein Kilogramm Schwarzpulver ergibt ca. 500 Liter Treibgas. Deshalb ist für leichte Fahrzeuge eine Mindestmenge von 200 g Schwarzpulver (entspricht etwa 100 Liter heiße Treibgase) erforderlich, damit eine kleine Hubbewegung sichtbar wird.

Autokicker sollten nur in Absprache mit erfahrener Stuntpersonal eingebaut und erprobt werden. Das müssen Stuntleute sein, die schon Erfahrungen mit dem Einbau, der Bedienung und der Ladungsmenge, entsprechend dem Fahrzeuggewicht und der Mörserlänge haben. Solche Mörser entwickeln gewaltige Kräfte und erzeugen einen harten Schlag. Beim Einsatz auf öffentlichen Straßen ist zuvor die Zustimmung des Straßenbauamtes, wegen der möglichen Beschädigungen des Fahrbahnbelages, einzuholen. Oft werden als Schutz für den Fahrbahnbelag riesige 10 mm starke Stahlplatten mit einem Kranwagen verlegt. Als Kostenbeispiele für Beschädigung der Verkehrswege seien genannt:

Ampel zerstört	100.000 EUR
Baum zerstört	15.000 EUR
Autobahnschaden ab	150.000 EUR

Wenn der harte Schlag, die Rauchentwicklung und die Blitzwirkung der Schwarzpulverladung zu sehr stört, sollte man lieber Kicker verwenden, die mit Stickstoff arbeiten. Da sich hier der Druck langsamer und gleichmäßiger aufbaut, ist eine ruhigere Arbeitsweise gegeben. Sie fallen nicht unter das SprengG und sind in Aufbau und Bedienung wesentlich teurer als Autokicker mit Schwarzpulver, auch Schwarzpulverram genannt.

Eine Szene aus K3 in Hamburg vom Stuntfahrer Hermann Joha, dem Gründer von Action Concept. Der LKW bewegte sich mit 60 km/h, der PKW mit 110 km/h. Der Fahrer trug feuerfeste Kleidung weil im Fahrzeug weitere Feuereffekte eingebaut waren. Das waren z. B. zwei kleine Gasflaschen, 200 Milliliter mit Squib und Zündladung, zwei kleine Shotgunmörser für Haube und Kofferraum, gefüllt mit nasser Pappe und Benzin und zusätzlicher Zündladung.



Abb. 127: Flache Mörser / Schalen für Feuereffekte

Flache Mörser sind Pfannen mit einem Durchmesser von 30 Zentimeter bis etwa 1 Meter, bei einer Wandstärke von 4 bis 6 Millimeter. Hier werden Schwarzpulverladungen, weich oder hart gewickelt, mit 30 bis 500 Gramm und mehr eingesetzt. Sie werden hauptsächlich für die Verteilung von Explosionstrümmern, Staub und Rauch eingesetzt. Auch für nicht explosive Zwecke finden sie Verwendung, so zum Beispiel als Brennschale für Brandpasten, Autoreifen und anderes. In solchen Pfannen lassen sich beispielsweise Reifen besser zünden und löschen. Erdreichverschmutzungen werden dadurch vermieden. Bei Sprengereffekten wird eine fest gewickelte Schwarzpulverladung mit brennbarer Flüssigkeit in Plastiktüten oder mit Staub, wie Gips, Zementstaub, Weizenmehl usw. bedeckt, um sie zu verteilen und gegebenenfalls zu entzünden. Soll diese Beiladung bei der Explosion sicher entzündet werden, so muss dies wieder mit



Abb. 128: Zementstaubexplosion mit flachem Mörser

einem Flashpot erfolgen, da die Schwarzpulverladung, besonders wenn sie fest gewickelt ist, nicht sicher durchzündet.

Konische, trichterförmige Mörser werden aus Stahl mit einem Durchmesser der oberen Öffnung von etwa 40 bis 100 Zentimeter und einer Wandstärke von 5 bis 8 Millimeter, bei einer Höhe von 30 bis 70 Zentimeter, verwendet. In diesen werden Schwarzpulverladungen bis 500 Gramm und mehr, sowie Darstellungsmittel (z. B. Granateinschläge, Kanonenabschusssimulatoren sowie Treffersimulatoren) verwendet. Je nach gewünschter Explosionsform kann der Neigungswinkel der Mörserwand zur Standfläche 30° , 45° , 60° , oder 75° betragen. Am häufigsten wird ein Neigungswinkel von 45° verwendet. Die innere Bodenfläche soll möglichst klein sein, um Ausbauchungen und damit die baldige Zerstörung des Mörsers, zu vermeiden.

Die Mörser werden oft im Boden eingegraben. Falls notwendig, werden sie auch verkantet, um die Explosionsrichtung entspre-

chend den Erfordernissen festzulegen. Sie begrenzen die Ausbreitung der Explosionswirkung ziemlich genau.

Beiladungen sind unter anderem Plastikbeutel mit Gemischen aus Benzin, Diesel und flüssigem Dachteer für Feuereffekte mit mehr oder weniger starkem Rauch. Weiterhin werden Beiladungen aus Mottenpulver, Weizen- oder Maismehl, Sägespäne, Holzkohle, Korkchips, Sand, Gipspulver, Talkum, Zementstaub, Torfmull, Ziegelstaub, Farbpulver, Heilerde, farbige Schwämme, Schaumstoffstücke, Balsaholz, kaschierte Styroporstücke und Lumpen verwendet. Diesel und Dachteer sind für den schwarzen Rauch verantwortlich. Mehlbeiladungen (Haushaltmehl) erzeugen einen orangen Feuerball, die nicht verbrannten Mehlreste ergeben eine wirkungsvolle Staub- und Rauchwolke. Staubexplosionen haben den Vorteil, dass sie nur in einem bestimmten Mischungsverhältnis von Staub und Luft brennen, das schließt zurückbleibende, herabfallende Feuer und unbeabsichtigt brennende Trümmer aus. Allerdings sollte man darauf bedacht sein, nur beabsichtigte Staubentzündungen zu verursachen, weil die Explosionsverstärkung, bedingt durch die Wärmeausdehnung



Abb. 129: Konische Mörser mit verschiedenem Wandneigungswinkel



Abb. 130: Vorbereitung und Durchführung einer Mehlstaubexplosion



Abb. 131: Konischer 30 ° Mörser mit DM 54 und Zementstaub im Lehighgang der Luft, berücksichtigt werden muss. Die Mörser selbst werden zuletzt noch mit steinfreier Erde und Farbpulver abgedeckt und getarnt. Andererseits müssen diese Stellen vor dem Betreten und vor zu großer Annäherung von Darstellern durch Kennzeichnungen und Hindernisse gesichert werden, die zur Szene passen. Mörser, die in der Nähe von Darstellern abgeschossen werden, sollten eine Schutzbarriere haben, bestehend aus Steinen, Gestrüpp, Stacheldraht oder anderen Requisiten, um eine zu große Annäherung der Darsteller zu vermeiden. Die Wege der Schauspieler müssen genau festgelegt werden. Stolperdrähte zum Zünden der Ladungen über einen Klinkenstecker mit Schaltkontakt können sinnvoll sein.

Die beigeladenen, brennbaren Flüssigkeiten verstärken die Explosionswirkung der Schwarzpulverladung erheblich, ganz besonders in begrenzten Räumen. Sie können jedoch auch einen



Abb. 132: Konischer 30 ° Mörser m. Schwarzpulver-Benzinladung im Lehr-

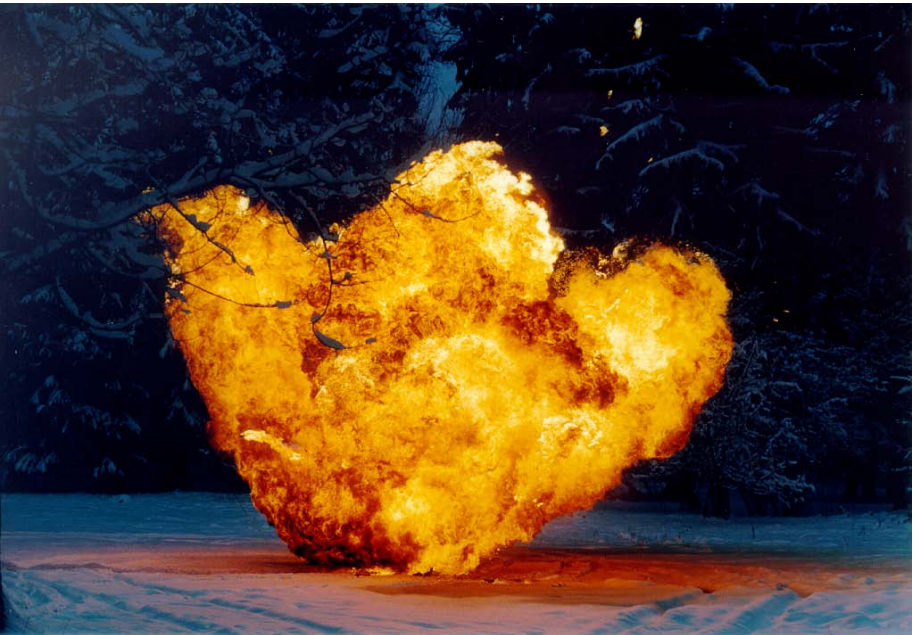


Abb. 133: Konischer 45 ° Mörser m. Schwarzpulver-Benzinladung i. Lehrgang

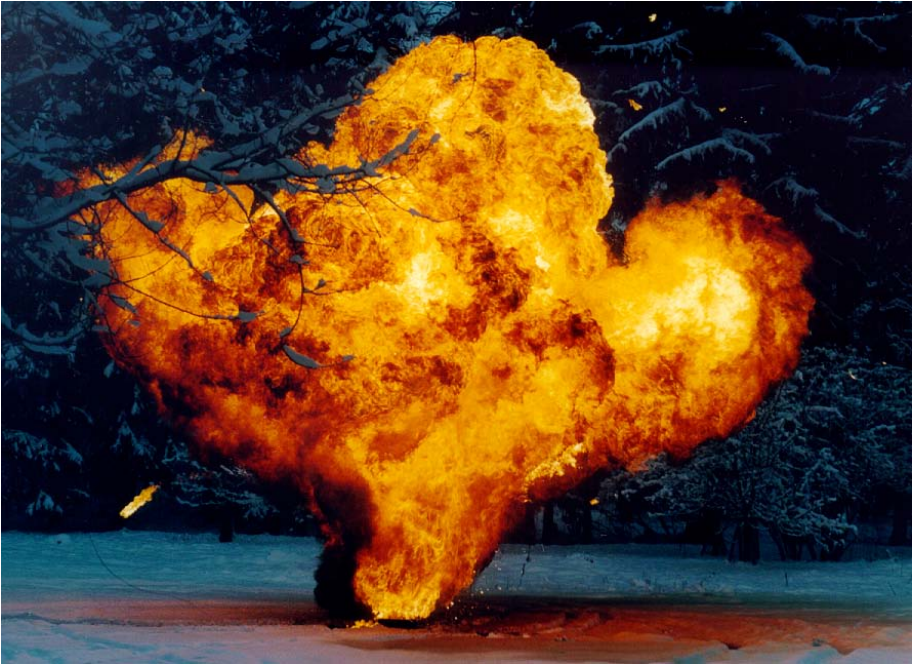


Abb. 134: Konischer 75 ° Mörser mit Schwarzpulver-Benzinladung i. Lehrgang



Abb. 135: Zementstaubexplosion mit 75 ° Mörser – Beispiel aus der Praxis

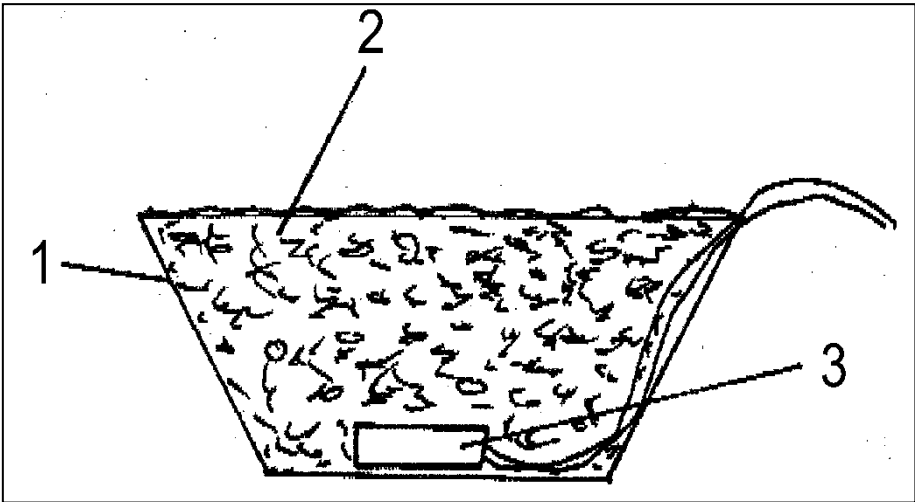


Abb. 136: Metallmörser mit Naphtalin; (1) Mörser, (2) Naphtalin mit 5 % Schwarzpulver (verdichtet), (3) stark verdämmte Schwarzpulverladung./DM54

tuationen führen kann. Der Einsatz solcher Benzin-Feuerexplosionen ist äußerst sorgfältig vorzubereiten. Sie erreichen oft eine Höhe von 8 bis 10 Metern und mehr. Je nach Größe der Ladung und Form des Mörsers entsteht auf einer Fläche von 10 bis 30 Meter Durchmesser ein Feuerball. Es sind unbedingt ausreichende Brandschutzmaßnahmen zu treffen. Alternativen wie Naphtalin- oder Lycopodium Feuerexplosionen sind zu erwägen. Solche Anwendungen erfordern ausführliche Vorversuche an sicherer Stelle. Bei Verwendung von Weizen- oder Maismehl kann die Verstärkung der Explosionskraft stark sein, so dass diese Beiladungen ebenfalls nur im Freien und ohne Darsteller eingesetzt werden sollen.

Entzündbare Beiladungen werden im Allgemeinen nicht von der Schwarzpulverladung gezündet, sie erfordern eine extra, kurz zuvor angezündete (beim Nagelbrett drei oder vier Nägel zuvor) Blitz- oder Anzündladung. Zur Verstärkung der Anzündwirkung kann über der Blitzanzündladung zusätzlich noch eine kleine Benzinladung angebracht werden. Eine gleichzeitige Anzündung der Auswurfladung und der Anzündladung ist gebräuchlich, je-



Abb. 137: Benzinkanister mit verteilter Sprengschnur und Zündladung



Abb. 138: Effektbild; Benzinkanister mit verteilter Sprengschnur



Abb. 139: Effektbild, Benzinkanister mit Sprengschnur in der Mitte umwickelt



Abb. 140: 45 ° Mörser mit 5 Liter Benzin, DM 54 und Zündladung

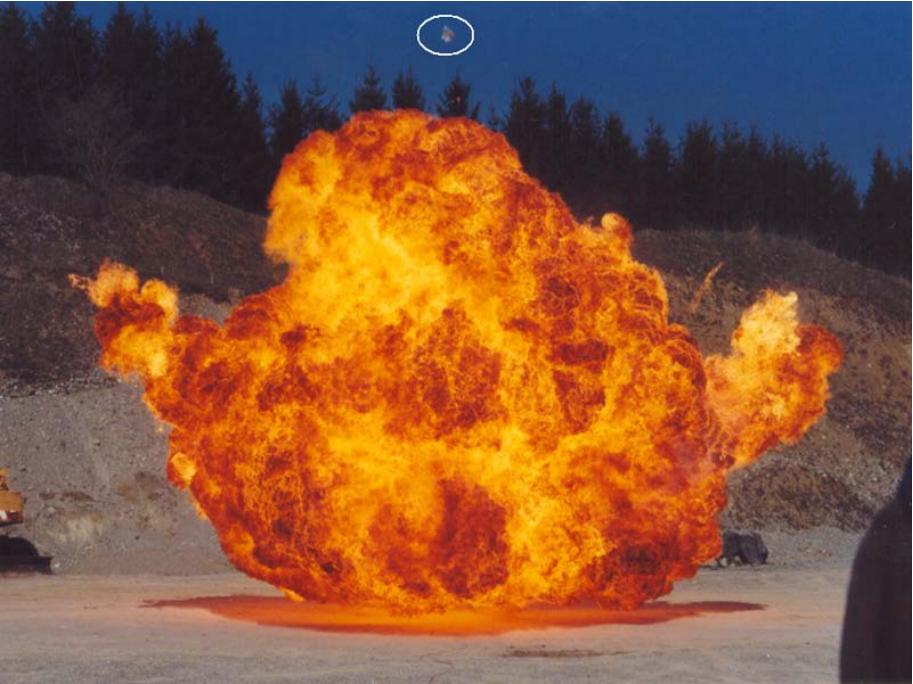


Abb. 141: Effektbild, 45 ° Mörser mit 5 Liter Benzin und DM 54, Benzinbeutelrest nicht angebunden, oben sichtbar

doch nicht so sicher, als wenn die Anzündladung kurz zuvor angezündet wird. Wird auf die Anzündladung verzichtet, kann es zu gefährlichen Bodenverschmutzungen kommen.

Auf jeden Fall muss es eine "langsam" brennende Ladung sein, um die Benzinwolke anzuzünden, wenn diese die nötige Brennstoff-Luft-Mischung zur Aufrechterhaltung der Verbrennung erreicht hat. Als Anzündmaterial sind besonders gut geeignet: Funkenblitze, kurzzeitig brennende Fontänen, Schwarzpulver mit Eisenspänen, groben Aluminium- oder Messingspänen oder im einfachsten Fall mindestens eine 25 g, besser 50g Schwarzpulver Ladung.

Achtung: Eine 5 Liter Benzinbeiladung hat, je nach den räumlichen Gegebenheiten, eine große Explosivkraft, mehrfach größer als die Schwarzpulverladung.

Bei Beiladungen mit Fahrzeugbenzin muss auf die möglichen Dampfdruckprobleme in begrenzten Räumen durch die leicht siedenden Anteile geachtet werden. Es könnte durch Funken zur gefährlichen Frühzündung der Gaswolke mit schlimmen Folgen kommen. Deshalb sind leitfähige Schuhsohlen und ein Overall aus Baumwolle erforderlich um elektrostatische Aufladungen zu vermeiden. Da es bei einer Feuerwehrrübung einen schweren Zwischenfall durch die Frühzündung einer DM 54 / Benzinladung gekommen ist, verwenden wir ein Schutzschild beim Anbringen der Ladung. Besser geeignet als Normalbenzin ist Testbenzin, Heptan oder Petrolether, jeweils mit einem Siedepunkt von etwa 80 bis 140 °C. Durch Verwendung dieser Brennflüssigkeiten wird eine vorzeitige Gasbildung weitgehend vermieden. Diese Brennflüssigkeiten kann man sich entsprechend



Abb. 145: 7 Kilo Naphtalin und DM 54 im Lehrgang



Abb. 146: Vergleich: 70 kg Mehl mit DM 31 ohne Mörser



Abb. 147: Vergleich: 70 kg Mehl mit Titaniumsalut 100 mm, etwas schärfer



Abb. 148: Beispiel aus der Praxis; 80 kg Mehl mit Mörser im Freilichttheater der Außentemperaturen auswählen. Jedoch ist uns von solcher Verwendung im Film wenig bekannt. Da aber benzolhaltige Gemische wie Fahrzeugbenzin entsprechend dem Chemikaliengesetz im Freien nicht verbrannt werden sollen, sind die genannten Brennflüssigkeiten sehr zu empfehlen.

Brisante Sprengstoffe und Sprengschnüre dürfen nicht aus Mörsern verschossen werden, da diese die Stahlwand zersprengen könnten. Eine Stahlunterlage für 12,5 g/m und 20 g/m Sprengschnur sollte 20 mm dick sein. Diese Stahlplatte wirkt durch Verstärkung der Wirkungsrichtung ähnlich einem flachen Mörser.

Zylindrische Mörser sind große, dicke Stahlrohre mit einer einseitig angeschweißten, möglichst bauchigen Stahlkappe. Wird nur ein gerader Stahlboden angeschweißt, soll dieser innen und außen verschweißt werden und je nach Durchmesser mindestens 25 mm oder dicker sein, sonst kann die Schweißnaht vor-



Abb. 149: Zylindrische Mörser, 20 bis 40 cm mit Flashpot

zeitig reißen. Rechts und links werden am Mörser große Stahlgriffe zum Tragen und zum Befestigen angeschweißt, ebenso die Flashpots für Zündladungen. Die Durchmesser reichen von 20 Zentimeter bis zu einen Meter. Die Höhe sollte nicht mehr als das 1,5 bis 2 fache des Durchmessers betragen. Die kleineren Durchmesser werden für streng nach oben gerichtete Explosionen verwendet, vor allem wenn sich Darsteller nahe am Explosionsort aufhalten sollen. Sie werden für Benzin- und Staubexplosionen, sowie für alle weiteren Füllmaterialien eingesetzt. Beim Laden des Mörsers wird die Explosivstoffladung auf einer etwa 5 cm dünnen Schicht der Beiladung platziert (bei Benzin auf ein Stück Pappkarton) und mit dieser Beiladung bedeckt.

Sie eignen sich auch, wenn ein Feuerball durch eine Scheibe oder durch eine Tür geschossen werden soll. Oft werden sie auch in Verbindung mit konischen Mörsern eingesetzt.

Die größeren Mörser, mit einem Durchmesser von 40 bis 80



Abb. 150: Zylindrischer Mörser, links Zementstaub, rechts 5 Liter Benzin



Abb. 151: Zylindrischer Mörser mit 5 Liter Benzin, DM 54 und Zündladung



Abb. 152: Mörser mit Schwarzpulver- / Benzinladung im Freilichttheater

Zentimeter und mehr, werden hauptsächlich zur Darstellung von Wasserexplosionen verwendet um Schwimmer und Wassertiere vor der Druckwelle zu schützen. Bei Granateinschlägen im flachen Wasser sind sie unverzichtbar, um eine hohe Wassersäule, ohne fliegende Steine, zu erhalten.

Bei Unterwasserexplosionen, auch wenn keine Mörser verwendet werden, soll die Schwarzpulverladung etwa 30 bis 40 Zentimeter unter der Wasseroberfläche angebracht sein. Bei größerer Tiefe wird der Effekt geringer. Es müssen Versuche mit verschieden großen Ladungen, zum Bestimmen der genauen Größe und Form der Explosion, vorgenommen werden. Der Schwarzpulvereinsatz beträgt etwa bis 1 kg. Schwarzpulverladungen erzeugen jedoch einigen Rauch und machen viel Arbeit. Wenn dies zu sehr stört, kann man Darstellungsmittel verwenden oder man verwendet, besonders bei großen Wasserexplosionen, Ammongelit, jedoch ohne Mörser, da dieser zerstört würde.

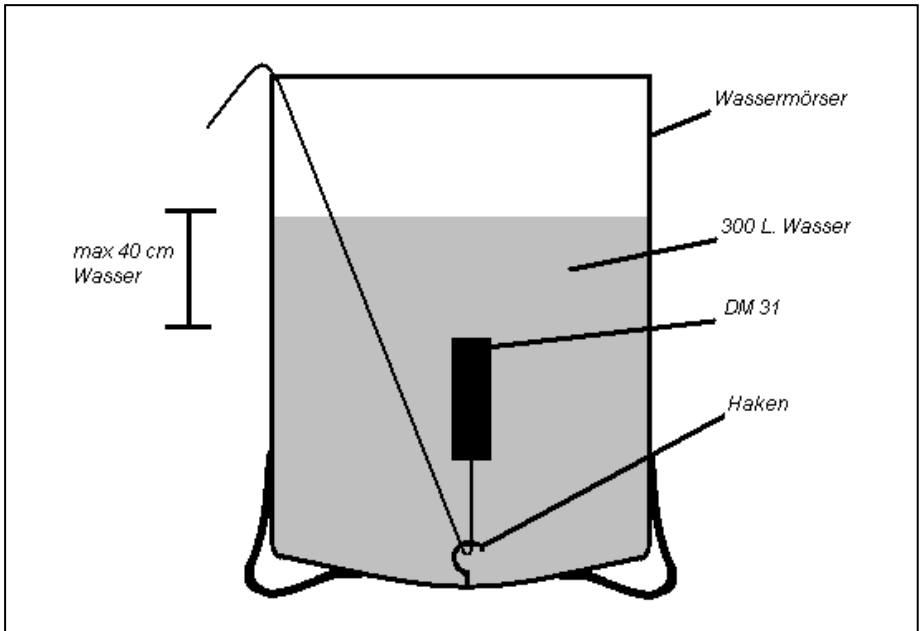


Abb. 153: Aufbau Wasserschuss mit DM 31



Abb. 154: Vorbereitung des Wasserschusses



Abb. 155: Sprengeffekte im Lehrgang: Wasserschuss 400 Liter



Abb. 156: Wasserschuss mit zylindrischem Mörser für Hintergrund



Abb. 157: Einsatz eines flachen Mörsers und kleiner Ladung für Vordergrund



Abb. 158: Vorbereitung mit zylindrischem Mörser für Wasserschuss, 180 g Schwarzpulver



Abb. 159: Wasserschuss, Freilichtbühne Althusried, 180 g Schwarzpulver

Mörser für spezielle Zwecke

Für Sprengschnuranwendung bis 12,5 Gramm je Meter können ausnahmsweise auch zylindrische oder konische Stahlmörser verwendet werden. Diese sollten einen Boden von 8 bis 10 mm haben. Bei der Wandstärke kann man sich mit 10 mm zufrieden geben, wenn die Sprengschnur nicht anliegt. Unter die Sprengschnur ist in jedem Falle eine Schicht 3-welligen Kartons zu legen und darauf die Sprengschnur mit doppelseitigem Klebeband und zusätzlichem Tape oben darauf zu befestigen so dass jeder Kontakt zum Weich-Eisenmaterial vermieden wird. Dann kann darauf Zementstaub, Naphtalin, Benzin oder Ähnliches gelegt werden. Wegen der überaus hohen Detonationsgeschwindigkeit ist eine Zündladung (nicht für Zementstaub) unbedingt erforder-



Abb. 160: Abgewinkelter Sandschussmörser zur Splitterverteilung

derlich. Wenn man am oberen Rand einen Rohrring von ca. 5 cm Durchmesser anbringt kann man damit einen „Rauchring“ erzeugen.

Explosionsdarstellung mit Spezialmörsern

(von Dr. Feist, Reiter, Tierarzt und Pyrotechniker)

Von der Regie der Freilichtbühne Pluwig, der Karl May Freunde Pluwig e. V., wurde eine große Staubexplosion vor dem Eingang eines Westernforts verlangt. Der Staub sollte das Tor mehrere Sekunden hinter einer undurchsichtigen Staubwolke verschwinden lassen. Die Explosionswolke sollte so gestaltet sein, dass zum Publikum hin eine Vollexplosion dargestellt wurde, die Staubwolke aber an der Kulisse vorbei blies. Da sich zum Zeitpunkt der Explosion Schauspieler auf der Spielfläche befanden, sollte die Explosion nicht in diese Richtung wirken. Für den vorgegebenen Zweck wurde ein dreieckiger Mörser aus 1,5 cm dicken Stahlplatten hergestellt. Der Neigungswinkel des Mörsers betrug zum Publikum hin 45° , die Kantenlänge der im rechten Winkel verschweißten Platten betrug 60 cm. Um den Auswurf in Richtung auf die Spielfläche nach oben abzuleiten, wurden senkrechte Platten eingeschweißt. Ein weiteres eingeschweißtes Dreieck konnte eine Zündladung für den Mehlstaub aufnehmen, falls eine Zündung erwünscht war. Für die abgebildete Explosionsdarstellung wurde der Mörser wie folgt geladen: 200 Gramm

sehr hart bandagierte Schwarzpulverladung (Böllerpulver), 5 kg Weizenmehl, 10 Liter fein gesiebter Sand. Nach der Zündung entstand eine mächtige Staubwolke, die das 6,5 m hohe Gebäude vollständig verdeckte. Die Schwarzpulverladung ergab einen lauten aber noch gut erträglichen Knall, zündete aber die Mehlbeiladung nicht. Die Effektgröße betrug etwa 8 bis 9 Meter in der Höhe, und in jeder Richtung der Winkel, 6 bis 7 Meter in die Breite. Die Beiladung wurde an beiden Schenkeln des rechten Winkels etwa 10° nach hinten geworfen, so dass die Beiladung einen Winkel von etwa 110° ausmachte. Bei dem Test herrschte nur leichter Wind. Die Sicht auf die Kulisse war fast 10 Sekunden verdeckt. Das Westernfort bildet an der Stelle, an der der Mörser während der Vorstellungen eingebaut war, einen Winkel von 130° . Der Mörser erfüllte, sowie er konstruiert war, seinen Zweck und konnte ohne Veränderung verwendet werden.



Abb. 161: Staubexplosion mit Tieren

1.6.2 Sprengeffekte mit Sprengschnur

Um den Effekt einer Autosprengung mit einem Feuerball zu vergrößern kann man einen 5 Liter Plastikbehälter mit Benzin füllen und 5- bis 7-mal mit Sprengschnur 12,5 g/m umwickeln. Dabei ist zu beachten, dass die Schnur mit Gaffa-Tape fest und sicher so angetaped ist, dass sie auf ihrer ganzen Länge anliegt und keine Wicklung die andere kreuzt. Dann wird die Sprengschnur mit einem HE 4 gezündet. Unmittelbar davor oder auch gleichzeitig die erforderliche Blitzladung, (Flash Bag), um die zerstäubte Flüssigkeit sicher zu zünden. Es sind also zwei Zündkreise zu empfehlen. Werden 20 Liter fassende Benzinbehälter verwendet, so nimmt man eher eine 20 g Sprengschnur.

Für die filmtypische Autoexplosion werden, je nach Bedarf, ein oder auch mehrere diese Behälter im Fahrgastraum auf dem Beifahrersitz und auf den Rücksitzen deponiert. Autotüren kann man mit Sprengschnur 5g/m zubinden, dabei können gegenüberliegende Türen, aber auch Motorhaube und Kofferraumdeckel festgehalten werden. Zu einer Autosprengung gehört außerdem auch das Zerstören von Autoreifen. Für diese Anwendung wird mit einem prismatischen Holzklötz eine Schneidladung entsprechend nachfolgender Abbildung aus Sprengschnur geformt. Bei diesem Aufbau strömt der Gasstrahl entsprechend dem Winkel im Holz seitlich ab und stößt zur Mitte aufeinander. Dadurch konzentriert sich der Gasstrahl und die Stoßwellenwirkung wird erheblich verstärkt, so dass eine Art Sprengstofflinse entsteht. Bei der gestreckten Schneidladung „Blade“ besteht die Schneidladung aus einem festen Schaumstoff mit einer V-förmigen Kupferblecheinlage und einer Sprengstoffschicht. Damit lassen sich mühelos auch stärkere Teile durchtrennen. Der Holzklötz kann im Radkasten in einem Abstand von 1 bis 2 Zentimetern zum Reifen, auf der Reifeninnenseite montiert werden. So kann der Reifen schlagartig zerstört werden, damit die Luft

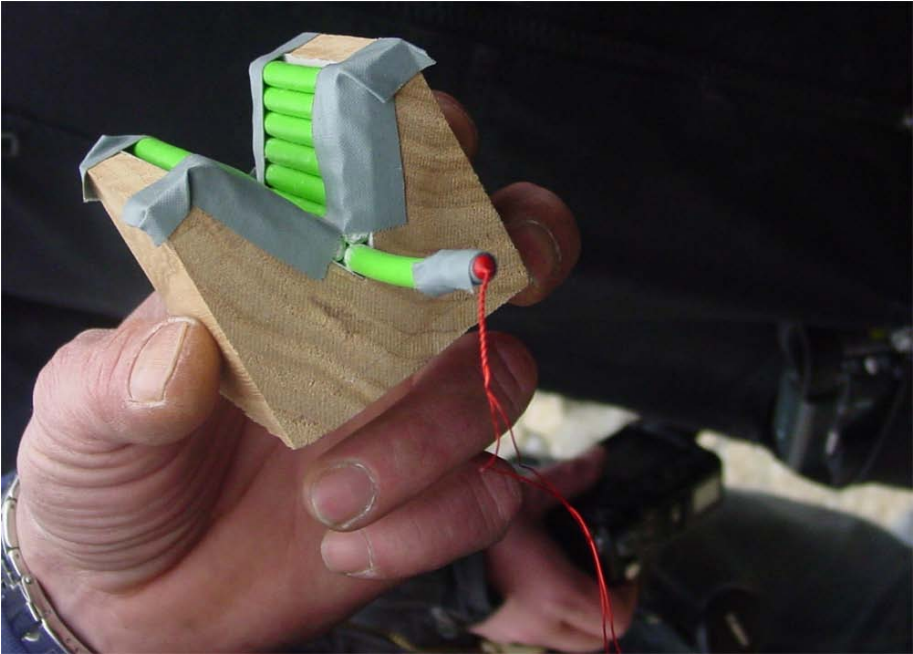


Abb. 162: Schneidladung mit Microdetonator für Reifenschuss



Abb. 163: Reifen mit Schneidladung schnell entlüftet

sofort entweicht. Achtung: Der Holzklotz könnte das Fahrzeug durch Rückstoßwirkung durchschlagen.

Eine andere Möglichkeit der Reifensprengung, allerdings nicht während der Fahrt, wird nachfolgend beschrieben. Eine Sprengkapsel Nr. 8, am Reifen mit Bostik reicht nicht aus, um einen Reifen sicher zu zerstören. Deshalb verwendet man pastösen Sprengstoff aus der Tube oder Kartusche, speziell wenn die Stahlgürteleinlage durchschlagen werden soll. Solche Kartuschen sind ähnlich der einer Silikonspritze. Davon trägt man eine etwa 3 cm dicke, wallnussgroße Menge auf den Reifen auf und steckt einen MD 1 oder HE 1 hinein. Dann das Ganze noch etwas abdecken oder kaschieren. Bei der Detonation wird ein Loch „eingestanzt“. Eine weitere Möglichkeit des Reifenschusses ist unter „Ersatz sprengtechnischer Mittel durch...“ beschrieben.



Abb. 164: Absprengen eines Rundholzes; die längs angebrachte Sprengschnur soll eine bestimmte Wurfrichtung erzielen, links im Bild: J. Köhler



Abb. 165: Staubexpl. mit Sprengschnur, r. o. einsetzen des Microdetonator

Weitere Sprengeffekte mit Sprengschnur können sein:

- Darstellung von Napalmexplosionen, wie es vor etlichen Jahren in einem amerikanischen Film sehr eindrücklich zu sehen war.

Hier wurden 3,5 Meter lange Plastikrohre, Durchmesser 15 Zentimeter, an den Enden verschlossen und an der Oberseite geschlitzt. Diese Rohre wurden mit einer Brandpaste aus Benzin und Seifenflocken gefüllt und mit Sprengschnur 6 Gramm je Meter im Abstand von etwa 8 Zentimeter umwickelt. Mehrere solche Ladungen wurden, in Verbindung mit einer jeweils dazugehörigen Blitzladung, in schneller Folge über ein Nagelbrett so gezündet, wie ein tief fliegendes Flugzeug Bombenattrappen abwarf. Mit diesem Aufbau wurde jeweils ein Feuerball bis etwa 25 Meter Höhe und etwa 10 Meter Breite erreicht.

- Umknicken von angesägten, angebohrten Telefonmasten un-

ter Verwendung von Sprengschnur in Sturmszenen oder bei Explosionen.

- Blitzeinschlag in einen Baum oder Holzmast der Länge nach, mit absplittender Rinde oder absplittendem Holz.
- Einen Schrotflintenschuss auf Mauerwerk kann man darstellen, wenn 5 g/m Sprengschnur unter dünnem Putz verlegt wird.
- Um Glasscheiben oder sonstige Gegenstände zu zersprengen, wo der Explosivstoff verborgen, untergelegt oder dazwischen angebracht sein muss, verwendet man vorteilhaft dünne Sprengschnur.
- Der bekannte Filmpyrotechniker Dipl. Ing. Josef Köhler, setzte für eine Hauswandsprengung unter den Putz angebracht, in einer Szene 400 Meter Sprengschnur 12,5 g/m ein. Während die Darsteller auf einem Gerüst entlang liefen, wurde abschnittsweise, nachlaufend, die Sprengschnur gezündet, um dann ebenso abschnittsweise, mit insgesamt 200 kg Schwarz-



Abb. 166: Holzsprengung mit Sprengschnur



Abb. 167: Wegsprengen einer Scheibe mit aufgelegter Sprengschnur

pulver die durch Sprengschnur erzeugten Splitter der präparierten Kulissenwände zu verteilen.

Holzsprengungen können als Sprengeffekte für zu sprengende, einstürzende Dekorationen nötig werden. Hauptsächlich handelt es sich hier um das Durchtrennen von vorbereiteten Rundhölzern und Kanthölzern. Am geeignetsten und einfachsten scheint die Verwendung von Sprengschnur als Sprengladung für solche Aufgaben. Folgende Hinweise sind zu beachten:

- Die Sprengschnur wird durch Löcher gefädelt, die im rechten Winkel zueinander in das Holz gebohrt wurden. Die Löcher sollten einen Abstand von 2 bis 3 Zentimeter zueinander haben. Andererseits kann die Sprengschnur auch mehrfach um das zu durchtrennende Holz gewickelt werden, wobei aber die durchtrennten Teile stark beschleunigt werden.
- die Sprengschnur muss unbedingt am gesamten Umfang direkt am Holz anliegen (Borke entfernen),
- die Wicklungen müssen dicht aneinander liegen, die letzten

- Windungen können in einer zweiten Lage darüber liegen,
- je Zentimeter Rundholzdurchmesser ist jeweils eine Sprengschnurumwicklung zu rechnen (12,5 g/m). Um einen sicheren Erfolg zu erhalten, lieber ein paar Windungen (+10%) mehr, besonders bei frischem Holz. Unter Wasser wird nur die Hälfte benötigt. Das unter Wasser befindliche Ende der Sprengschnur ist gut abzudichten.
 - Bei Kanthölzern sind die Kanten an den Stellen reichlich abzurunden, an denen die Sprengschnur anliegen soll. Bei scharfen rechtwinkligen Kanten könnte die Sprengschnur abgeschlagen werden.
 - Eine 12,5 g/m Sprengschnur reicht etwa bis zu einem Holzdurchmesser von 20 cm. Bei noch stärkeren Holzdurchmessern muss eine stärkere Sprengschnur verwendet werden, was allerdings noch deutlicher den Charakter einer echten Sprengung im Sinne der BGV C 24 'Sprengarbeiten zum Niederlegen von Gebäuden usw.' darstellt und es sich möglicherweise nicht mehr nur um einen Einsturz von Dekorationen handelt.
 - Sprengeffekte wie Absprengen von Zweigen und Ästen von einem Baum oder Zerstörung einer Anzahl von Holzstützen zum Einsturz einer Holzbrücke sind Sprengeffekte im Sinne dieses Lehrganges.

Ob es sich aus der Sicht der Aufsichtsbehörde im konkreten Fall um unzulässige Sprengarbeiten oder um Sprengeffekte handelt, ist in jedem Fall bei der ohnehin erforderlichen Anzeige mit der Aufsichtsbehörde abzuklären.

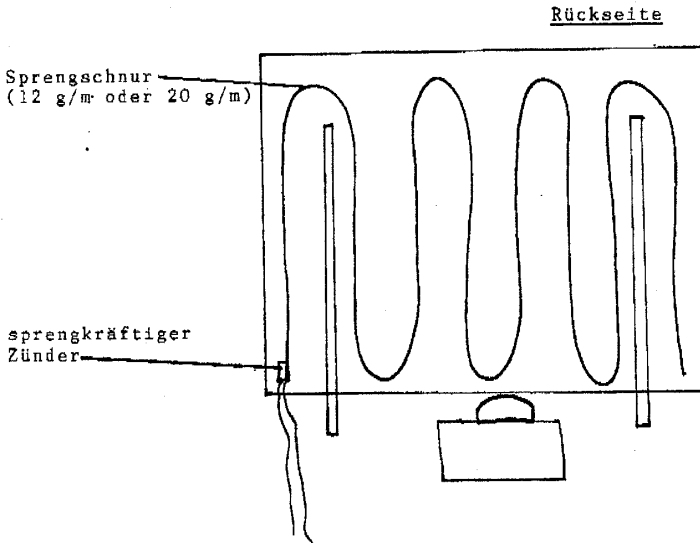
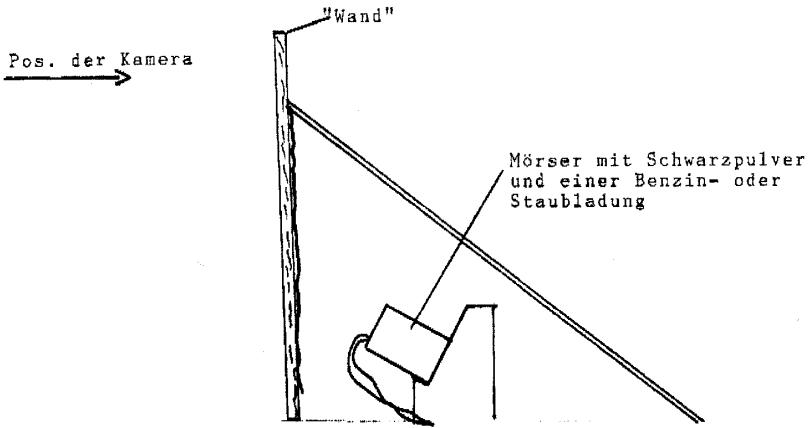
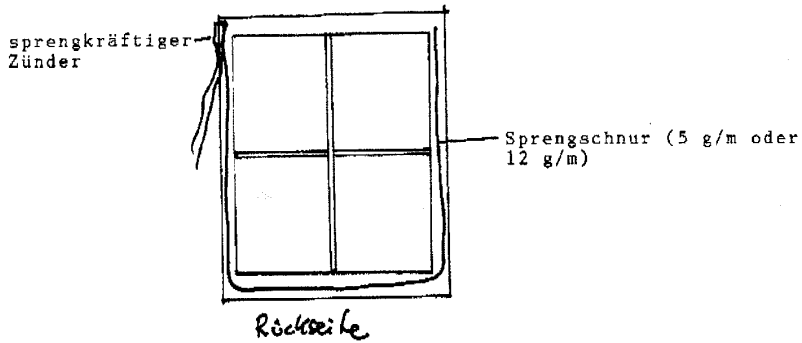


Abb. 168: Splitternde Explosion einer Hauswand

- Heraussprengen eines Holzfensterrahmens



Geschoßeinschläge aus einem schweren MG (z. B. Simulation eines Tieffliegerangriffs)

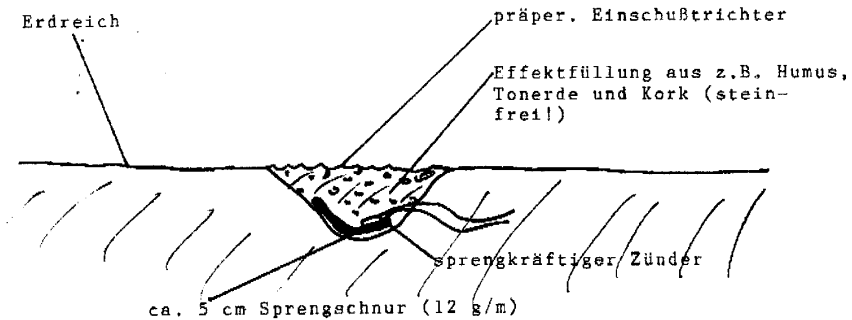


Abb. 169: Splitternde Explosion einer Hauswand



Abb. 170: Zerstörung von Dekorationen mit Sprengschnur im Lehrgang



Abb. 171: Zerstörung von Dekorationen mit Sprengschnur im Lehrgang



Abb. 172: Sprengschnureinsatz: Absprennen eines Astes im Lehrgang



Abb. 173: Benzingetränkte Sägespäne mit Sprengschnur und Zündladung

1.6.3 Sprengeffekte mit Sprengstoffpatronen



Abb. 174: Aufgelegte Sprengstoffpatrone auf Holz



Abb. 175: Zementstaubexplosion mit 200 g Sprengstoffpatrone im Lehrgang

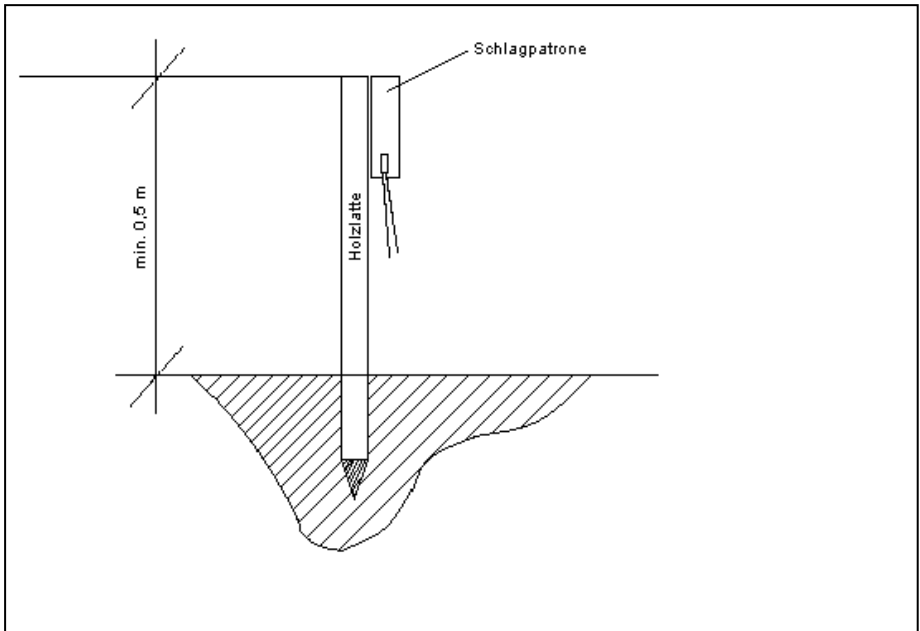


Abb. 176: Sprengstoffpatrone 50 cm über Erdboden für Soundaufnahme



Abb. 177: Anfertigen einer Schlagpatrone

1.6.4 Darstellung von Autoexplosionen

Bei Autoexplosionen sollen wegfliegende Teile mit 6 bis 8 Millimeter dicken, bis zu 15 Meter langen Drahtseilen am Fahrgestell gesichert werden. Schlösser und Verriegelungen sind zu entfernen. Türen, Motorhaube und Kofferraumdeckel können mit Perlonfäden, Pyroschnur oder Sprengschnur zugebunden werden. Sollen Türen wegfliegen, müssen auch die Scharnierbolzen entfernt werden. Außerdem sollen Tank, Motor und Bremsflüssigkeit entfernt werden, um Bodenverschmutzungen zu vermeiden. Wenn die Motorhaube in die Luft fliegen soll, die Türen aufgesprengt werden sollen, der Kofferraumdeckel wegfliegen soll oder die Scheiben herausfliegen sollen, werden Shotgun-Mörser benötigt, um diese Teile entsprechend zu bewegen. Für aufgesprengte Türen sind unbedingt Arretierungen einzubauen die ein Wiederezuschlagen der Türen verhindern.



Abb. 179: Einbau eines Shotgunmörser zur Bewegung der Tür

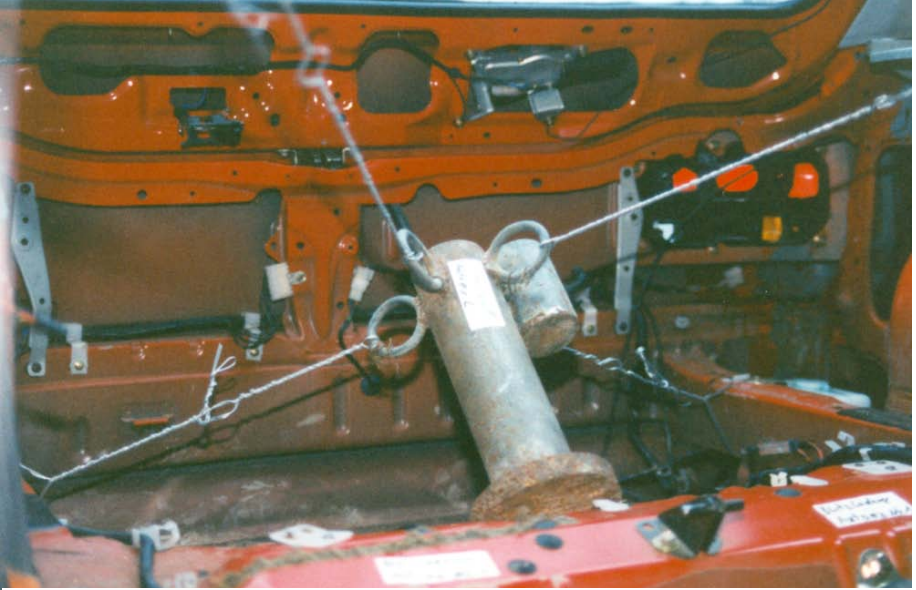


Abb. 180: Shotgunmörser zum Aufschießen der Heckscheibe



Abb. 181: Kleiner Benzinbehälter mit Sprengschnur, rechts davon Zündladung



Abb. 182: Zersprengen der Scheibe mit Elektroblickknall oder Squib



Abb. 183: Wegfliegende Haube und Türe mit Seil sichern



Abb. 184: Ungefährliche Autoexplosion als Mutprobe im Lehrgang



Abb. 185: Mutprobe im Lehrgang



Abb. 186: Autoexplosion mit 4 Liter Benzin, 3 Shotguns f. Türen und Haube



Abb. 187: Aufbau einer zusammengesetzten Explosion im Lehrgang

Mögliche Benzinbeiladungen für die Feuerexplosion können sein:

- Auf dem vorderen Beifahrersitz 2 bis 20 Liter,
- auf dem Fahrersitz befindet sich meist eine Puppe,
- hintere Sitze meist weniger Benzin,
- im Motorraum 1 bis 5 Liter,
- ebenso im Kofferraum 1 bis 5 Liter.

Die Benzinbeiladungen sollen möglichst so angebracht werden, dass das Auto nicht oder nur kurzzeitig von der Flammenwolke völlig verdeckt wird.

Wegen der gefährlichen Splitter keine Glasbehälter verwenden. Falls restliches Feuer und verspritzen von Feuer gewünscht ist, können zusätzlich benzingetränkte Pappreste verwendet werden. Mit Benzin getränkte Lappen sehen gut aus, bergen aber die Gefahr des Festhaftens auf Körperteilen wenn sie auftreffen,

siehe Unfallbericht am Ende des Buches. Für brennende Trümmer muss fest haftende Brandpaste auf die entsprechenden Teile aufgebracht werden. Flackernde Feuer werden oft vom Pyrotechniker gefordert, sie sind mit Brandpaste in Abbrennschalen oder direkt auf dem Erdboden möglich. Diese Feuer ersparen aufwendige Beleuchtungseinrichtungen zur Szenenbeleuchtung und wirken sehr realistisch. Manchmal werden flackernde Feuer auch für den Hintergrund eingesetzt.

Explodierende Deko-Bauwerke müssen besonders für Explosionen gebaute Strukturen enthalten, die wegfliegenden Teile müssen aus leichtem Material wie Balsaholz, Plastikschaum und Pappe bestehen. Der Sicherheitsabstand kann dabei je nach verwendetem Mörser 5 bis 30 Meter betragen. Auch hier sollten bei Nahaufnahmen "highspeed"-Kameras eingesetzt werden, um die Explosion realistischer erscheinen zu lassen. Auch hier sollten die Aufnahmen aus mehreren Blickwinkeln erfolgen, um mehrere Einschläge darzustellen, die später vom Cutter zusammen geschnitten werden.

1.6.9 Allgemeine Praxistipps für Sprengeffekte

Allgemeines

Für die üblicherweise sehr aufwendige Sprengeffektgestaltung ist eine funktionierende Zusammenarbeit des Pyrotechnikers mit den Kameraleuten und der Regie sehr wichtig. Es sind genaue Absprachen wegen der oftmals benötigten 4 bis 6, verschiedenen Kamerapositionen erforderlich, die möglicherweise mit Schutzkäfigen o. ä. bei Nahaufnahmen zu sichern sind. Die verschiedenen Aufnahmepositionen sollen den Effekt aus unterschiedlichen Blickwinkeln, mit mehrfach höherer Filmgeschwindigkeit (besonders bei Nahaufnahmen) aufzeichnen. Später werden diese Aufnahmen dann vom Cutter zu einer Serie von Explosionen zusammen geschnitten. Schwierig darzustellende Effekte, wie beispielsweise MP-Feuer, sollte man nicht in der Bildmitte, sondern am Bildrand platzieren. Dort wird der Zuschauer erst hinsehen, wenn der Effekt schon vorüber ist, so dass Details wie unsynchrones Mündungsfeuer, verursacht durch die Bildpausen, nicht wahrgenommen werden. Bäume und Sträucher sollten bei Explosionsdarstellungen gemieden werden, weil sie sich nicht erwartungsgemäß bewegen. Sie verlieren bei der Explosion lediglich ihre Blätter. Sind kleine Bäume und Sträucher nicht zu vermeiden, so sollten sie mit Fäden und Seilen zum Explosionspunkt hingezogen und die Zweige niedergebunden werden. Bei der Explosionsdarstellung werden diese Spannvorrichtungen durchtrennt um den Effekt zu verstärken. Es ist möglicherweise auch auf beabsichtigte Geräusche bzw. Musik zu achten. Sehr wichtig ist die Auswahl des Sprengmittels. Eine harte Explosion mit brisantem Sprengstoff, welche beispielsweise ein Auto total zerstört, kann vom Gefühl her großartig wirken, aber das Gefühl wird nicht mit aufgezeichnet. Deshalb kann eine, vom erfahrenen Pyrotechniker gestaltete, relativ milde Explosion im Film mehr beeindrucken, obwohl das Auto

baulich

nicht zerstört wird. Man sollte bedenken: Gut gestaltete Sequenzen werden oft in der Filmvorschau verwendet und können wesentlich zum Erfolg eines Filmes beitragen.

Eine Sprengladung für filmtypische Sprengeffekte kann bestehen aus:

- Einem nicht sprengkräftigem Anzündmittel und Schwarzpulver (normales oder spezielles Sprengpulver)
- nur einem (sprengkräftigen) Zünder,
- einem (sprengkräftigen) Zünder und einem kleineren oder größeren Stück Sprengschnur,
- einer Sprengstoffpatrone, die mit einem sprengkräftigen Zündmittel versehen ist (Schlagpatrone),
- einer Schlagpatrone mit weiteren Sprengstoffpatronen.

Normalerweise gehört zu jeder dieser Ladungsarten ein dazugehöriges Effektmittel, das zersprengt, verteilt, in die Höhe oder Breite geschleudert und oftmals durch eine zusätzliche Anzündladung entzündet wird. Sprengladungen können im oder am "Sprengobjekt" angebracht sein. Sie werden unterschieden nach:

- Ihrer Form wie geballte, gestreckt geballte oder gestreckte Ladung,
- ihrer Anbringung, wie angelegte, aufgelegte, untergelegte und eingebrachte Ladung.

Eine geballte Ladung hat eine punktförmige Wirkung. Die Ladungslänge ist höchstens doppelt so groß wie der Durchmesser der Ladung. Bei einer geballt-gestreckten Ladung ist die Ladungslänge zwei bis viermal so groß wie der Ladungsdurchmesser. Eine gestreckte Ladung hat eine linienhafte Wirkung, die Ladungslänge ist hier mehr als viermal der Durchmesser.

Es dürfen nur so viele Sprengladungen in einem Objekt angebracht werden, wie in einem Zündgang (verzögerte Zündung mitgerechnet) gezündet werden sollen.

Beim Laden ist unbedingt darauf zu achten, dass eine negative



Abb. 218: Autoexplosion mit Sprengschnur und 10 Liter Benzin im Auto



Abb. 219: Benzinexplosion mit zu schwach verdämmer Schwarzpulverladung



Abb. 220: Mörser m. Lycopodium u. Ersatzstoff, Vergleichstest im Lehrgang



Abb. 221: Anwendung von Ökorauch

Beeinflussung der Sprengladungen untereinander ausgeschlossen werden kann. Insbesondere ist die Reihenfolge von Sprengladungen, langsamen deflagrierenden und schnellen detonierenden Auswurfungen, zu beachten, um gegenseitige Beschädigungen zu vermeiden.

Sprenghelfer dürfen, unter ständiger Aufsicht durch den Sprengberechtigten, folgende Arbeiten ausführen:

- Transportieren von Sprengstoffen und Zündmitteln innerhalb der Betriebsstätte,
- Laden,
- Helfen beim Beseitigen von Versagern.

Unerlaubte Arbeiten für Sprenghelfer sind (außer bei praktischer Ausbildung):

- Das Anfertigen von Schlagpatronen,
- das Herstellen der Zündanlage.

Beim gleichzeitigen Einsatz mehrerer Sprengberechtigter an einer Sprengstelle, muss die zuständige Aufsichtsperson einen Verantwortlichen bestimmen.

Schlagpatronen dürfen erst unmittelbar vor ihrer Verwendung an der Sprengstelle hergestellt werden.

Bevor man sich Gedanken über einen größeren Effekt macht, sollte man sich mit dem Filmarchitekten (auch Szenograf genannt) und dem Regisseur zusammen setzen und skizzenhaft festlegen, wie man sich den Effekt vorstellt. Bei größeren Produktionen sind solche Skizzen weit vorher angefertigt und auf dem „Storyboard“, einer Art Anschlagtafel, für jede Kameraeinstellung skizziert. Um also unnötige Mühen und Missverständnisse zu vermeiden, sollten die geplanten Kameraeinstellungen und die dabei sichtbaren Effekte vorher gründlich abgesprochen sein. Dabei auch über die erforderliche Aufnahmegeschwindigkeit sprechen. Sie sollten bei Sprengeffekten zwischen 48 bis 120 Bilder pro Sekunde liegen, wie dies z. B. bei der Filmkamera

Arriflex 35 III einfach regelbar ist. Die modernen digitalen Videokameras mit 1000 Bildern je Sekunde benötigen meist Tageslicht und sind oftmals zu schnell, so dass Zwischenbilder herausgeschnitten werden müssen.

Für kleine Innenraumanwendungen eignet sich eine als Räuchermehl (Ökorauch) bezeichnete Mischung von pflanzlichen Bestandteilen, getränkt mit Öl und Wasser und mit einem ungiftigen Sauerstofflieferant gemischt, sehr gut. Der Rauch kann in geringen Mengen eingeatmet werden. Für Außenaufnahmen werden auch große bis sehr große Mengen eingesetzt, ohne dass welke Blätter oder hustende Schauspieler zu befürchten sind. Er ist am Set in größeren Mengen, besonders über längere Dauer leicht und geräuschlos zu erzeugen. Wie bei allen Rauchmitteln ist eine Flammenbildung nach dem Entzünden zu vermeiden, da bei offener Flamme sofort die Rauchwirkung aufhört.

Wenn man mit einer Steinschlosspistole, mit Perkusionswaffen, einem Hand- oder Schaftbölller oder einer Böllerkanone echt schießen will muss dieses Gerät alle fünf Jahre von einem amtlichen Beschussamt beschossen sein. Zusätzlich muss der Pyrotechniker im Besitz der Erlaubnis für Vorderlader und Böllerschützen sein. Weiterhin muss er für die Waffen noch eine Schießerlaubnis zum Schießen außerhalb eines Schießstandes haben. Dies alles vermeidet man, indem die genannten Gegenstände nicht echt schießen, sondern nur mit Effektladungen schießen. Diese Effektschüsse sind wesentlich ungefährlicher und sind in fast jeder Attrappe oder auch echten Waffe unter zu bringen. Außerdem lassen sich solche Effektladungen optisch schöner gestalten als es original Schusseffekte sind.



Abb. 222: Böllerkanone nur mit Erlaubnis für Böllerschützen



Abb. 223: Schiffskanonenattrappe mit Schusseffekt T₁ erlaubnisfrei

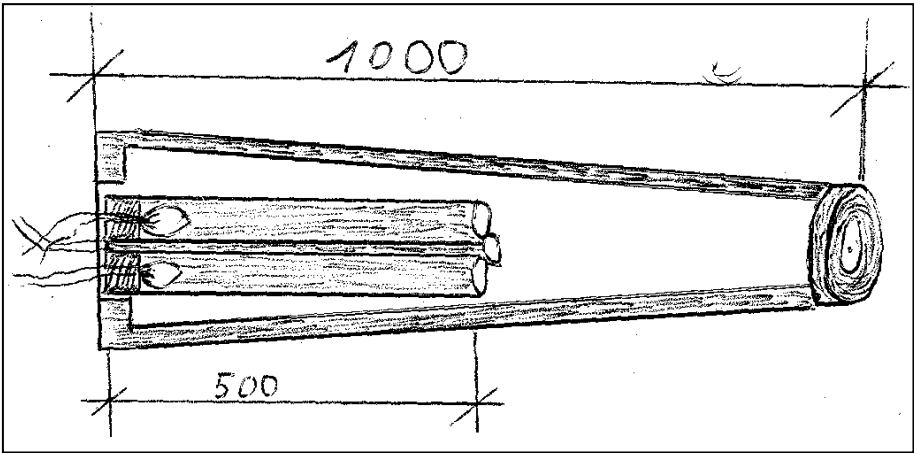


Abb. 224: Kanone, Ralswiek; 3 Rohre mit Schwarzpulverladungen á 50 g

Explosion in einem Maschinenhaus

Die unten abgebildete Gebäudeexplosion wurde von Peter Lange, mit Gasbooster, Schwarzpulverladungen mit Benzin und Sprengschnur verwirklicht, ohne eine wirkliche Sprengung durchzuführen.



Abb. 225: Explosion in einem Maschinenraum, als Beispiel aus der Praxis

1.6.10 Praxistipps für Modellexplosionen

Modellexplosionen werden immer dann gemacht, wenn die Arbeit mit einem Originalobjekt aus technischen oder sicherheitstechnischen Gründen oder aus Kostengründen nicht möglich ist. Modelle lassen sich von fast allem machen, andererseits verzichtet man auch auf Modelle und führt solche Arbeiten mit Computersimulationen durch. Diese Technik ist jedoch teuer und zeitaufwendig.

Der Pyrotechniker sollte von Anfang an, beim Bau des Modells mit einbezogen werden, um die Wahl der Sollbruchstellen und Ladungen von vornherein günstig festzulegen, besonders, wenn das Modell zerstört werden soll. Der Pyrotechniker sollte auch vor der Planung die Position der Kameras und die Abstände zu anderem technischen Gerät kennen und über die Bildaufnahme-



Abb. 226: Typische Aufnahmesituation für Miniaturexplosionen; man beachte die Zündstromquelle; Filmprofi Tassilo Baur (USA)

frequenz Bescheid wissen. Das gleiche gilt auch für die Größe, den allgemeinen Aufbau und die Baumaterialien des Modells. Die Abspielgeschwindigkeit bei Filmprojektoren liegt bei 24 Bildern je Sekunde (BpS/FpS). Eine höhere Aufnahmegeschwindigkeit ergibt bei normaler Abspielgeschwindigkeit eine Zeitlupe. Eine langsamere Aufnahme bedeutet eine Verschnellerung der aufgenommenen Szene, was aber eher selten vorkommt. Bei Modellen in denen Bewegungen stattfinden wählt man meist eine höhere Aufnahmegeschwindigkeit, da diese Bewegungen zu schnell wirken könnten. Je größer die Differenz zwischen Modellgröße und dargestellter Größe ist, umso höher ist die Aufnahmegeschwindigkeit. Oft benutzte Aufnahmegeschwindigkeiten liegen zwischen 100 und 250 FpS. Die modernsten High Speed Kameras sind aber in der Lage mit bis zu 10.000 FpS Aufnahmen zu machen. Die passende Bildaufnahmegeschwindigkeit kann man mit folgender Formel berechnen:

$$\text{Bilder pro Sekunde} = 24 \times \sqrt{\frac{\text{dargestellte Größe des Objektes in [m]}}{\text{Modellgröße des Objektes in [m]}}$$

Beispiel bei einer Explosion eines Gebäudes:

Das Originalgebäude hat eine Länge von 50 Meter, das Modell hat eine Länge von 2 Meter

$$\text{Bilder pro Sekunde} = 24 \times \sqrt{\frac{50 \text{ m}}{2 \text{ m}}} = 24 \times \sqrt{25} = 116$$

Die richtige Aufnahmegeschwindigkeit wäre danach in diesem Falle 120 Frames (Bilder pro Sekunde).

Für Modellexplosionen sind beispielsweise oft gefragt: Schiffe, Flugzeuge, Hubschrauber, Raumschiffe, Häuser, Dampfkessel, Vulkane, Atombomben usw.

Folgende Punkte verlangen besondere Beachtung:

Kann durch den Effekt eine Kamera oder sonstige Technik beschädigt werden, sind Plexiglaswände oder Schutzkäfige erforderlich?



Abb. 227: Als Miniaturmodell gestaltetes Dorf

Ist der Effekt von allen Kamerapositionen gut sichtbar und bietet er für den Cutter verschieden wirkende Blickwinkel?

Passt der Explosivstoff zur Bildfrequenz?

Ist die Beleuchtung der Bildfrequenz angepasst? Eine hohe Bildfrequenz erfordert wegen der kurzen Belichtungszeit, große Helligkeit, sonst verschwindet der Effekt im Dunkeln.

Lässt sich der Effekt erhöhen, indem mehrere Ladungen mit minimalem Zeitabstand hintereinander gezündet werden?

Ist ein Zünden von Hand möglich? Bei sehr hohen Bildfrequenzen können sich Ungenauigkeiten in der exakten Zündfolge katastrophal auswirken. Bei einer Bildfrequenz von beispielsweise 10.000 Bildern je Sekunde bewirkt eine Zündverzögerung von 1/100 sec. beim normalen Abspielen eine Verzögerung von 4 Sekunden. Solche Zündungen sollten von der Kontrolleinheit der highspeed Kamera ausgelöst werden, damit der Effekt erst gezündet wird, wenn die Kamera die volle Geschwindigkeit er-

reicht hat und andererseits der Film nicht schon zu Ende ist.