

Inhalt

<i>1.4 Anzündarten und Anzündmittel - Aufbau, Wirkungsweise, Anwendung, die gebräuchlichsten Arten</i>	2
1. Begriffsbestimmungen	2
2. Anzündarten.....	4
3. Handzündung	5
4. Elektrische Anzündung	7
4.1. Satzauslöser	8
4.2. Elektrische Zündgeräte	15
4.3. Zündkreis	24
5. Verzögerungsmittel.....	33

1.4 Anzündarten und Anzündmittel - Aufbau, Wirkungsweise, Anwendung, die gebräuchlichsten Arten

1. Begriffsbestimmungen

Zündmittel der Sprengtechnik und **Anzündmittel** der Pyrotechnik sind Hilfsmittel, die zum Auslösen einer Explosion dienen. Sie stellen die nötige Initialenergie für die chemischen Reaktionen von explosiven Stoffen zur Verfügung.

Man unterscheidet:

- **Sprengkräftige Zündmittel**, die für Sprengladungen bestimmt sind und explosionsfähige Stoffe enthalten. Die Zündung eines Explosivstoffes setzt die Detonation in Gang.
- **Initialzündler** sind Zünder, die alleine auf pyrotechnische Anzündung hin in Detonation übergehen, alle anderen Zünder detonieren nur, wenn sie von einer Detonation angeregt werden
- **Pyrotechnische Anzündmittel**, die keine für eine Detonation ausreichende Energie zur Verfügung stellen.

Einfachste thermische Anzündmittel sind das Streichholz und das Feuerzeug, einfachste elektrische Anzündmittel sind ein Piezogenerator oder ein Kurbelinduktor.

Im Gegensatz zur elektrischen Zündung wird die direkte Verwendung von Zündmitteln als **pyrotechnische Zündung** bezeichnet – die direkte Verwendung von Sprengzündern ist aufgrund der Gefahr nur in militärischen Sprengmitteln (Bomben und ähnliches) üblich.



Anzündmittel sind nach ADR im Regelfall der Gefahrenklasse 1.4G Pyrotechnischer Stoff oder Gegenstand mit pyrotechnischem Stoff, mit geringer Explosionsgefahr zugeordnet.

Zünden – Anzünden

Unter **Anzünden** versteht man das Auslösen eines Abbrandes (Deflagration), unter **Zünden** hingegen das Auslösen einer Detonation. Beide Formen werden unter dem Begriff Explosion zusammengefasst. Der Unterschied der beiden Formen liegt darin, ob der Zündvorgang im Material die Schallgeschwindigkeit übersteigt oder nicht. Im ersten Falle entsteht eine Stoßwelle, die Detonationswelle, in der die Flammfront mit der Stoßfront zusammenfällt, wodurch im Sprengstoff die extrem hohe Initialenergie überwunden wird, die den chemischen Vorgang in Gang setzt, der die Detonationsenergie freisetzt.

Mit einem **Anzündmittel** können daher keine Sprengstoffe gezündet werden, wohl aber pyrotechnische Sätze oder Sprengkapseln, die eine Initialladung enthalten. Die **sprengkräftigen Zünder** und die **Initialzünder** detonieren selbst und können daher Sprengstoff zünden.

Umgangssprachlich wird zwar oftmals der Ausdruck „Zündung“ (Zündgerät, Zündlicht etc.) verwendet, der aber aus den vorgenannten Gründen nicht ganz korrekt ist.

Es ist nicht ganz zu vermeiden, dass man von „Zünd“gerät, „Zünd“maschine oder „Zünd“leitung usw. spricht.

In der Pyrotechnik werden demnach Anzündlichter für die manuelle- oder Handanzündung oder elektrische Anzünder, in der Sprengtechnik elektrische oder nicht elektrische (Spreng)zünder verwendet.



2. Anzündarten

In der Feuerwerkerei unterscheidet man zwei Arten der Anzündung:

- **Handzündung:** Direkte Anzündung mit offenem Feuer. Diese Zündart wird heute nur mehr in der Kleinfeuerwerkerei wie Feuerwerksraketen für Privatgebrauch, Leuchtmittel und ähnlichem eingesetzt. In der gewerblichen Feuerwerkerei wird die Methode wegen der Risiken durch die Nähe zum Abbrandplatz nur in Ausnahmen und von Spezialisten mit großer Erfahrung und unter besonderen Sicherheitsmaßnahmen verwendet. Typische Anzündmittel für die Handzündung sind:
 - **Zündlicht** – ein spezieller Magnesiumsatz, der wasserunempfindlich im Abbrand ist
 - **Zündschnuranzünder** – eine Papphülse mit Reibkopf
 - **Abreißzünder** – diese sind meist in einen Artikel integriert

- **Elektrische Anzündung:** Auch in der gewerblichen Feuerwerkerei hat der Anzünder (Brückenzünder) die klassischen Methoden verdrängt. Die Vorbereitung beschränkt sich auf das Verkabeln und der eigentliche Schuss erfolgt mit einer Zündmaschine oder sogar einem Zündcomputer. Ein Verleiten ist im Allgemeinen nicht mehr nötig, jeder Effekt erhält einen eigenen Elektroanzünder und wird von der Zündanlage zehntelsekundengenau angesteuert. Dazu verfügen modern ausgerüstete Pyrotechniker über Zündmaschinen mit einigen Dutzend oder Hunderten einzelner Zündlinien. Das Feuerwerk kann dann aus der Entfernung abgebrannt werden.



3. Handzündung

Zur Handzündung können z.B. Anzündlichter oder Gasbrenner verwendet werden. Anzündlichter gibt es in den verschiedensten Ausführungen und Brenndauern. In der Regel brennen die Anzündlichter zwischen einer und ca. zehn Minuten.

Gegenüber Gasbrennern oder Feuerzeugen haben sie den Vorteil, dass sie durch äußere Einflüsse wie Wind oder Regen nicht so schnell verlöschen.

Bei der Handzündung wird mittels eines Anzündlichtes die Stoppine oder Anzündschnur des pyrotechnischen Gegenstandes entzündet.

Vorteile:

- Relativ kostengünstig
- Relativ geringer Zeitaufwand
- Übersichtlich
- Sofortige Erfolgskontrolle

Nachteile

- Zeitabläufe können nur ungefähr bestimmt werden
- Komplexe Abläufe nicht realisierbar
- Nicht überall einsetzbar (z.B. in Requisiten, schwer zugänglichen Bereichen)
- Größerer Personalaufwand
- Personen sichtbar, die abbrennen
- Aufwändigere, persönliche Schutzausrüstung

Fazit: Die Handanzündung findet in der Großfeuerwerkerei so gut wie keine praktische Verwendung mehr. Sind offene Flammen nicht zu umgehen, kommen eigentlich nur noch selbstverlöschende Flammen (Feuerzeug) zum Einsatz.



Verwendete Anzündmittel:

- **Abreisszünder** sind Anzünder, bei denen durch mechanisches Ziehen an einem Band ein spiralförmig aufgewickelter Draht durch ein mit einem hitzeempfindlichen Material beschichtetes Metallplättchen gezogen wird. Durch die Reibungshitze entsteht ein Funke, der ähnlich eines Zündhütchens seinen kleinen Feuerstrahl erzeugt.
- **Anzündlicht:** Anzündlichter sind verschieden lange Stangen aus Schwarzpulver. Sie werden entweder mit einer externen Flamme angezündet oder haben ähnlich einem Streichholz einen Reibkopf. Sie haben je nach Ausführung eine Brenndauer von ca. 1 bis ca. 10 Minuten. Anzündlichter werden für die Handzündung verwendet.



Abb.: Anzündlicht Gesamtansicht

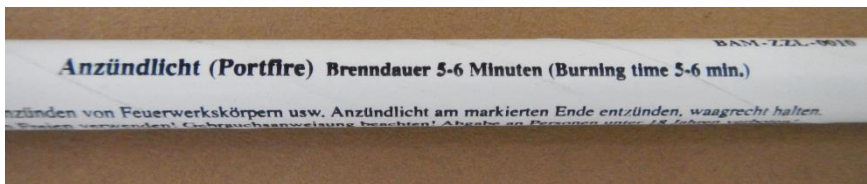


Abb.: Anzündlicht Detailansicht

4. Elektrische Anzündung

Sehr vereinfacht gesagt wird, zwischen einen Anzünder und die Stromquelle, meistens ein Akku oder eine Batterie, ein Taster geschaltet, der bei Betätigung den Stromkreis schließt, wodurch dieser ausgelöst wird.

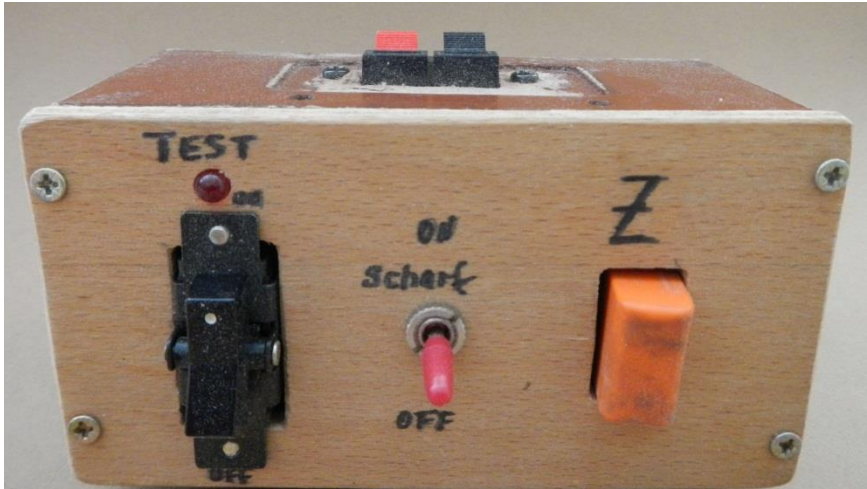


Abb.: Rudimentäres Zündgerät –Eigenbau

Vorteile

- Punktgenaues Auslösen der Effekte
- Zeitgleiches Auslösen von Effekten auf verschiedenen Positionen
- Auslösen von Effekten an schwer zugänglichen Stellen (z.B. in Traversen, Flößen etc.)
- Komplexe Abläufe, wie Steppsequenzen, realisierbar
- Weitaus sicherer, da aus der Entfernung ausgelöst wird
- Keine Personen im Bild sichtbar, die die Gegenstände abbrennen

Nachteile

- Wesentlich teurer
- Größerer Zeitaufwand durch verkabeln
- Teure Zündanlagen
- Evtl. Störung durch Funksignale (Keine Auslösung)
- Frühzündgefahren

Fazit: Die elektrische Anzündung findet nicht nur in der Bühnenpyrotechnik sondern auch immer mehr bei Großfeuerwerken ihre Verwendung. Der Hauptgrund dafür liegt in der erhöhten persönlichen Sicherheit für den Feuerwerker als auch für den zuverlässigen und zeitgenauen Abbrand. Der Mehraufwand beim Material und in der Zeit bei der Verkabelung muss dabei aber berücksichtigt werden.

4.1. Satzauslöser

Neben der Anzündung der pyrotechnischen Gegenstände mittels Anzündlicht ist die sicherere Methode die Anzündung mittels elektrischer Anzünder, die auch Satzauslöser, Glühbrücke, Zündpille oder „Brückenzünder“ (leider etwas unpassender Ausdruck) die es in den unterschiedlichsten Ausführungen und Widerständen gibt.

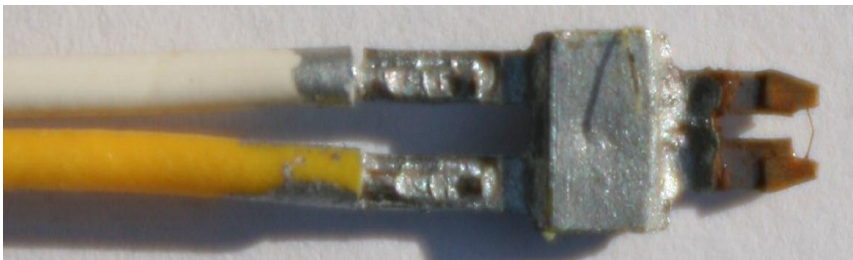
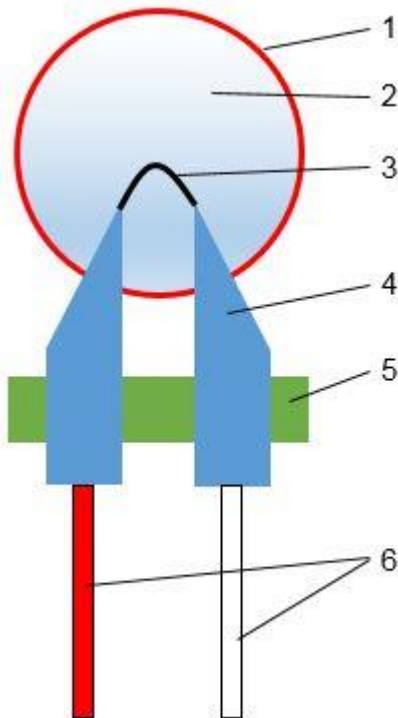


Abb.: Brückenanzünder ohne Zündmasse

Aufbau und Funktionsweise der Anzünder



- 1: Schutzlackierung
- 2: Zündmasse
- 3: Glühbrücke
- 4: Polträger
- 5: Isolierblock
- 6: Anschlussdrähte

Abb. Schematische Darstellung Brückenanzünder

Die Anzünder haben an den Enden der Polträger einen Widerstandsdraht, der die Anschlussdrähte der Anzünder miteinander verbindet.

Wird nun eine Spannung an den Drahtenden angelegt, fängt der Widerstandsdraht an zu glühen und entzündet die dem Draht umgebende Zündmasse (meist mit Metallpulver wie Aluminium versetzt, um eine höhere Zündtemperatur zu erreichen), die wiederum den pyrotechnischen Gegenstand oder pyrotechnischen Satz entzündet.

Hinweis:

Die technische Fertigung der Anzünder erfolgt z.B. auf Platinen, auf die Drähte aufgesetzt oder aufgeätzt werden. Bei Exportanzünder (z.B. aus dem Ostblock) werden oftmals Ausschussplatinen aus der Sprengtechnik verwendet, auf die dann oftmals nicht ausreichende Zündmassen aufgebracht werden.

Brückenanzünder werden in Widerstandsgruppen eingeteilt. Überwiegend werden diese Anzünder in den Widerständen „A“ (Allgemein) und „U“ (Unempfindlich) verwendet. In den seltensten Fällen werden „HU“ (Hochunempfindlich) Anzünder verwendet.

Die Unterteilung in die Widerstandsgruppen „A“, „U“ bzw. „HU“ bedeutet, dass je höher der Widerstandswert des Anzünders diese empfindlich bzw. unempfindlicher gegen Streuströme (Frühzündgefahr) reagieren.

Die Vorschrift besagt, dass die Anzünder je nach ihrem Typ **innerhalb von 5 min bei dem angegebenen Prüfstrom nicht auslösen dürfen bzw. innerhalb von 10 ms bei dem angegebenen Zündstrom auslösen müssen**. Das heißt wiederum das zwischen dem angegebenen Prüf- und Zündstrom eine Auslösung erfolgen kann, aber nicht muss.

Um die Anzünder bzw. Zünder auch ohne Verpackung sicher unterscheiden zu können, haben die Anschlussdrähte neben einem weißen Draht jeweils unterschiedliche **Farben**.

Typ	Prüfstrom	Zündstrom	Farbe
A	0,18 A	0,6 A	Rot
U	0,45 A	1,5 A	Gelb
HU	4,00 A	25,0 A	Blau

Tab.: Brückenanzünder nach Widerstandsgruppen



Grundsatz:

Wird mittels elektrischer Anzündung gearbeitet, ist es unbedingt zu unterlassen, Anzünder mit unterschiedlichen Widerstandswerten in einen Zündkreis einzusetzen.

Dieser Grundsatz hat durchaus seine Berechtigung. Baut man Anzünder mit verschiedenen Widerstandswerten in eine Reihenschaltung oder Parallelschaltung ein, sind Fehlauflösungen bzw. Versager vorprogrammiert:

- Werden bei einer Reihenschaltung Satzauslöser unterschiedlicher Widerstandsgruppen verwendet zünden zuerst diejenigen der empfindlicheren Gruppe. Da dadurch der Zündkreis geöffnet ist können die restlichen Anzünder gänzlich ausfallen.
- Werden bei einer Parallelschaltung Satzauslöser unterschiedlicher Widerstandsgruppen verwendet können die Effekte mit einer ungewollten Zeitverzögerung ausgelöst werden. Auch hierbei lösen zunächst diejenigen aus der empfindlicheren Widerstandsgruppe zuerst aus.

Achtung:

In Deutschland dürfen nur Anzünder mit einer BAM-Zulassung (BAM – ZZE) verwendet werden. Diese sind ohne Erlaubnis frei erhältlich ab 18 Jahren. Welche Anzünder von welchem Hersteller eine Zulassung besitzen, kann auf der Seite www.bam.de im Zweifelsfall nachvollzogen werden.

Zulassungen können auch zeitlich befristet sein und auslaufen!

Ausführungen und Verwendungszweck:

Zu den verschiedenen Widerstandsgruppen gibt es die Anzünder in den verschiedenartigsten Ausführungen für die unterschiedlichen Verwendungen:



➤ Anzünder ohne Hülse



Abb.: U Anzünder ohne Hülse

➤ Anzünder mit Hülse

Die Hülse kann aus Kunststoff oder Metall sein. Sie schützt die Anzündmasse vor mechanischer Beschädigung und bündelt den Zündstrahl.



Abb. U-Anzünder mit Hülse



Abb. A-Anzünder mit Metallhülse (nicht zu verwechseln mit einem Sprengzünder)

- **Anzünder mit Becher**
Dieser findet Verwendung in der Bühnenpyrotechnik um kleine Knall-, Blitz- oder Raucheffekte zu erzeugen. Dabei wird eine kleine Satzmenge direkt in den Becher gefüllt und verschlossen.

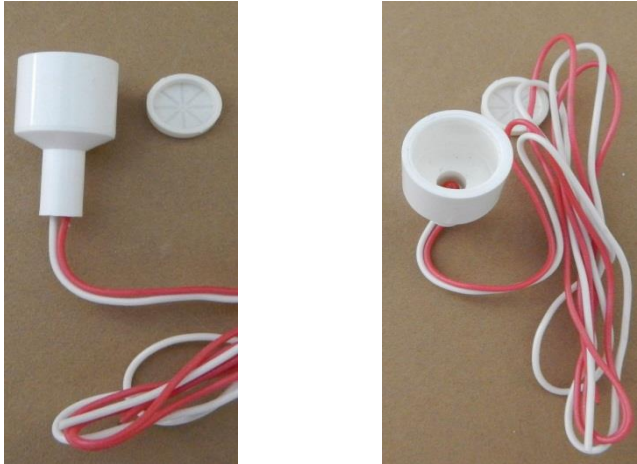


Abb.: A-Anzünder mit Kunststoffbecher

- **Anzünder mit Hülse und Querloch**
Durch das Querloch kann z.B. Pyroschnur, Anzündlitze oder Stoppine geschoben werden. Fädelt man eine dünne Perlonschnur durch das Querloch an der z.B. eine Requisite befestigt ist, fällt diese bei Auslösung des Anzünders herunter.



Abb. U - Anzünder mit -Hülse und Querloch

Die elektrischen Satzauslöser stehen also in verschiedenen Widerstandsgruppen für verschiedene Einsatzmöglichkeiten zur Verfügung. Des Weiteren werden die Satzauslöser auch mit verschiedenen vorgefertigten Kabellängen von den Herstellern angeboten, gängige **Kabellängen** sind:

- 30 cm
- 50 cm
- 1 m
- 3 m
- 5 m
- 6 m
- 10 m

Darüber hinaus gibt es Satzanzünder mit Kupferkabel und Stahldraht. Beim Einsatz ist darauf zu achten, dass nur Satzanzünder mit gleichem Kabelmaterial zum Einsatz kommen. Dem Kupferkabel ist aufgrund der besseren Leitfähigkeit in der Praxis der Vorzug zu geben. Eine Verlängerung der Kabel ist jederzeit, jedoch aufgrund der Widerstandserhöhung und des Kabeldurchmessers nicht endlos möglich.

Sollte eine Widerstandsmessung mit dem eingesetzten Zündgerät nicht möglich sein, ist die sichere Auslösung auf jeden Fall vorher, ggf. mehrfach zu testen, auch um eine ungewollte Auslösung zu vermeiden.



4.2. Elektrische Zündgeräte

Prinzip einer Zündanlage

Prinzipiell ist es möglich und erlaubt, sich sein eigenes Zündgerät zu bauen, jedoch sind die Vorgaben der GUV zu beachten.

Demnach ist die Anzündung von pyrotechnischen Gegenständen durch **direkten Anschluss an die Netzspannung verboten**. Für den Zündkreis einer Zündanlage ist **Schutzkleinspannung** (< 50V) zu verwenden.

Eine unbeabsichtigte bzw. unbefugte Auslösung muss ausgeschlossen sein. Dieses kann z.B. mittels eines Schlüsselschalters erreicht werden. Die Anzündung selbst erfolgt über **zwei Schaltelemente, wovon eines ein Taster sein muss**.

Wird der Zündkreis elektrisch geprüft darf der **maximale Prüfstrom 25mA** nicht überschreiten.

(BGI / GUV-I 812)

Hinweis:

Achtung bei der Verwendung von Tastern! Es gibt im Fachhandel Taster, die schließen und Taster, die öffnen; letztere würden bereits einen geschlossenen Stromkreis beim Anschluss bewirken.

Für die Auslösung von pyrotechnischen Gegenständen oder Sätzen ist in der Regel eine längere Einwirkzeit für die Anzündung als für eine Zündung erforderlich, damit die pyrotechnischen Gegenstände auch sicher auslösen können.

Damit der oder die Anzünder sicher ausgelöst werden können ist es unumgänglich, eine geeignete Spannungsquelle zu verwenden.



➤ **Einkanaliges Handzündgerät:**

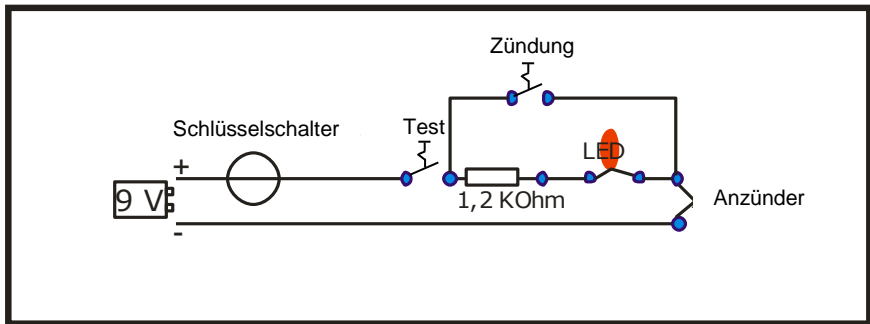


Abb.: Schaltplan

Funktionsweise:

Nachdem die Anlage über den Schlüsselschalter (optional) eingeschaltet wurde und der „Test“-Taster gedrückt wird, fließt der Strom (max. 25 mA) über den Widerstand und die LED zum Anzünder. Ist dieser nicht defekt, leuchtet die Kontroll-LED auf. Betätigt man nach dem Einschalten den Test- **und** den Zündungstaster gleichzeitig, so wird der Anzünder ausgelöst.

Hinweis:

Das Leuchten der LED besagt lediglich, dass der Zündkreis geschlossen ist. Allerdings wäre der Kreis auch geschlossen, wenn unmittelbar hinter der Anschlussklemme des Anzünders ein Kurzschluss gegeben ist.



Abb. Einkanalzündgerät



Abb.: Militärisches Handzündgerät 1 Kanal

➤ **Nagelbrett:**

Das einfachste und bei Bedarf schnell improvisierte mehrfach Zündgerät ist das Nagelbrett. Wie der Name sagt, besteht aus einem Brett o.ä., in das Nägel geschlagen werden. An jedem der Nägel werden die Anzünder mit dem einem Drahtende angeschlossen. Die jeweils anderen Drahtenden werden zusammen an einen Pol der Batterie angeklemt.

Mit dem anderen Pol der Batterie verbindet man einen Taster. Vom Taster geht es zu einem losen Nagel oder sonstigen metallischen Stift. Drückt man nun den Taster und berührt man gleichzeitig nun mit diesem Ende einen der Nägel, wird der daran angeschlossene Anzünder ausgelöst. So lassen sich auch mehr oder weniger komplexe Schaltvorgänge realisieren. Mit dem Nagelbrett ist es möglich, Steppsequenzen in beliebiger Geschwindigkeit zu timen. Das Nagelbrett eignet sich z.B. zur Darstellung von Maschinengewehrfeuer, die Geschwindigkeit der Auslösung der einzelnen angeschlossenen Effekte lässt sich individuell steuern.

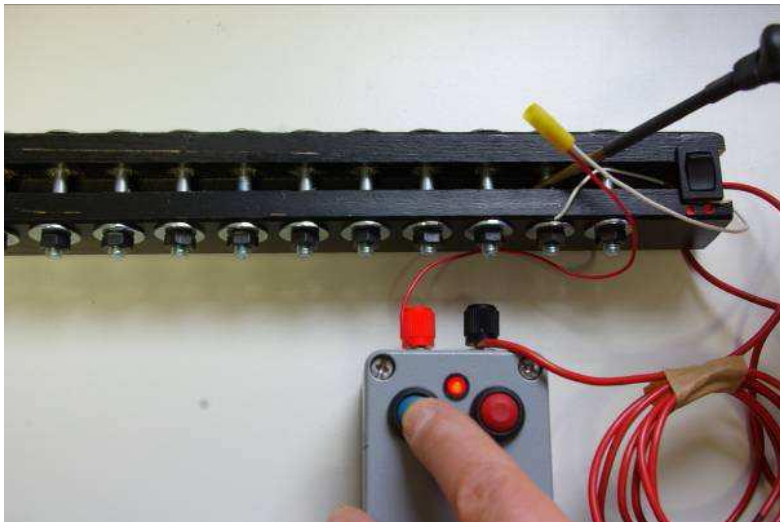


Abb. Nagelbrett

➤ Mehrkanalige Zündgeräte

Komfortabler sind kabelgebundene oder funkgesteuerte Zündgeräte. Das Prinzip und der Aufbau eines einfachen kabelgebundenen Handzündgerätes wurde anhand der Grafik dargestellt. Dieser Plan ist nahezu unbegrenzt erweiterbar, jedoch sollte man Kenntnisse in der Elektronik besitzen.

Industriell hergestellte Zündanlagen, sei es mit Funk oder Kabel, sind in der Regel mit umfangreichen Möglichkeiten zur Steuerung von Auslösevorgängen ausgestattet oder können nachgerüstet werden.

So ist es möglich, verschiedene Empfänger auf verschiedenen Positionen anzusprechen oder taktgenau zur Musik den bzw. die Effekte auszulösen.

Steppsequenzen sind genauso möglich, wie der automatische Ablauf einer ganzen Show oder Feuerwerk. Anlagen mit mehreren hundert Kanälen sind mittlerweile keine Seltenheit mehr. So gibt es spezielle Empfänger für die verschiedensten Anwendungen. Diese Empfänger gibt es z.B. mit einem Hochspannungsausgang zum Zünden von langen Fronten mit vielen Anzündern und einem dementsprechend hohem Widerstand.



<http://www.explo.at/>

Abb. Explo Funkzündanlage





Abb.: Galaxis Funkzündanlage



Abb.:Galaxis Empfänger mit 100er Matrix



Abb.: Galaxis 1 Kanal Funkempfänger
<http://www.galaxis-showtechnik.de>



Abb. Chinazündanlage



Abb. Exciter Funkzündanlage

<http://www.auerswald-systems.de/de/?location=zuendanlagen>



Abb. Skydirektor Steuergerät und Sender

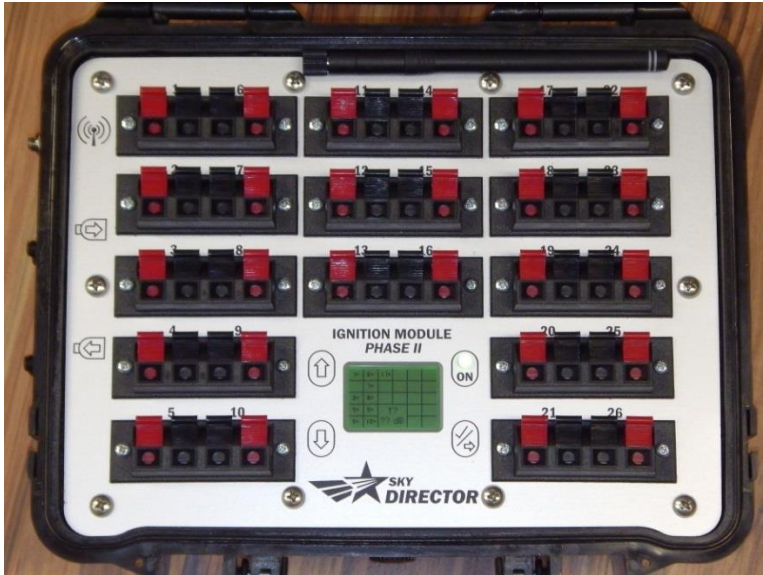


Abb. Sky Direktor Empfänger

SkyDirector ist ein professionelles, für jedermann verfügbares Funk-Zündsystem. Das System besteht aus mehreren Komponenten, die per Funk oder Kabel miteinander vernetzt sind. Es gibt drei verschiedene Sender (Commander , Mini-Commander und PC-Commander), ein Zündmodul für normale Feuerwerks-Anzünder und auch ein Audiomodul, welches bei einer musiksynchronen Show die Musik absolut präzise zum Feuerwerk abspielt. Davon abgesehen lässt sich der Commander optional auch auf einen SMPTE-Timecode synchronisieren oder per DMX fernbedienen. Eine Ansteuerung direkt per Computer ist natürlich auch möglich Die Anlage ist CE-Zertifiziert und kann fertig aufgebaut bei der Firma Bo Fireworks bezogen werden. Weitere Infos unter www.skydirector.de

4.3. Zündkreis

➤ Grundlagen:

In der Elektrotechnik gibt es einige Kenngrößen die beim Aufbau einer Schaltung zu berücksichtigen sind. Diese werde nachfolgend kurz erklärt.

➤ **U = elektrische Spannung / Maßeinheit V (Volt)**

Die elektrische Spannung gibt an, wie viel Energie nötig ist, um eine elektrische Ladung innerhalb eines elektrischen Feldes zu bewegen.

➤ **I = elektrische Stromstärke / Maßeinheit A (Ampere)**

Die elektrische Stromstärke gibt an, wie viel elektrische Ladung einen definierten Querschnitt passiert, bezogen auf die dazu benötigte Zeitspanne.

➤ **R = elektrischer Widerstand / Maßeinheit Ω (Ohm)**

Der elektrische Widerstand ist ein Maß dafür, welche elektrische Spannung erforderlich ist, um eine bestimmte elektrische Stromstärke durch einen elektrischen Leiter (Widerstand) fließen zu lassen.

Um Anzünder elektrisch miteinander zu verbinden, gibt es verschiedene Methoden. Diese Methoden nennt man Reihen- und Parallelschaltung. Eine wenig gebräuchliche Anwendung ist eine Mischung aus Parallel- und Reihenschaltung. All diese Methoden haben naturgemäß Vor- und Nachteile.



➤ **Aufbau einer Reihenschaltung**

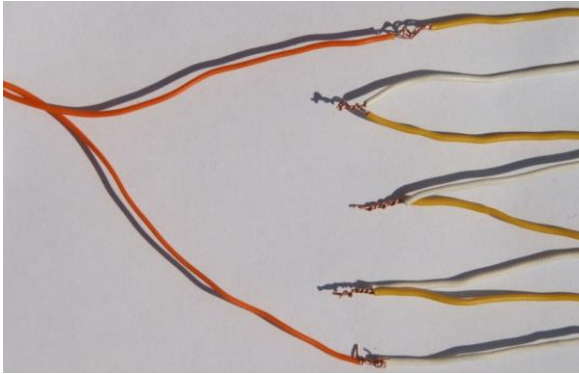


Abb.: Reihenschaltung

Bei der Reihenschaltung werden die Anzünder in einer Reihe miteinander verbunden. Die Summe der Widerstandswerte der Anzünder **und der Widerstand der Hin- und der Rückleitung** ergeben zusammen den Gesamtwiderstand des Zündkreises. Ebenso ist die Gesamtspannung die zur sicheren Anzündung benötigt wird eine Summe der Einzelspannungen die jeder Anzünder benötigt. Durch die Anzünder fließt der gleiche Zündstrom.

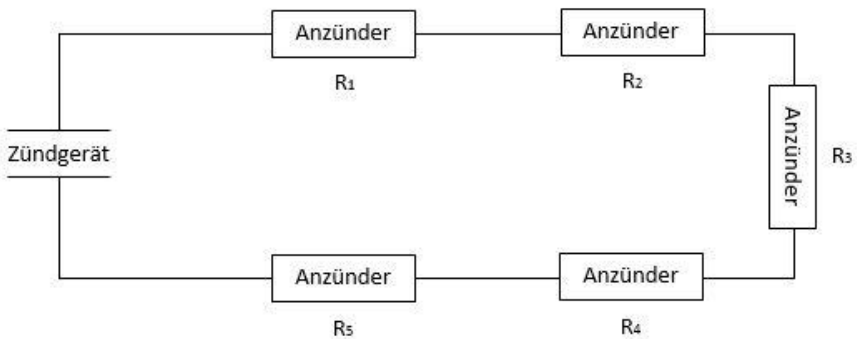


Abb.: Schaltplan Reihenschaltung



Bei der Reihenschaltung gilt:

$$U_{\text{Gesamt}} = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 \dots$$

$$I_{\text{Gesamt}} = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_5 \dots$$

$$R_{\text{Gesamt}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \dots$$

Mittels einer Durchgangskontrolle am Zündgerät (Test) kann schnell überprüft werden, ob der Zündkreis Durchgang hat. Wäre ein Anzünder defekt so würde die Kontrolllampe nicht leuchten da der Zündkreis offen ist.

Allerdings sagt diese Kontrolle nicht aus, ob der Zündkreis einen möglichen Kurzschluss hat oder der Zündstrom ausreichend ist, um die Anzünder sicher auszulösen. Um das sicher feststellen zu können, muss man den Zündkreis mit einem Ohmmeter durchmessen. Moderne Zündanlagen (wie z.B. Galaxis) haben diese Funktion bereits eingebaut.

Vorteil

Stimmt der gemessene Widerstand nicht mit dem errechneten Widerstand überein, erkennt man sofort, dass der Zündkreis fehlerhaft ist. Dies kann z.B. die Unterbrechung einer Verbindung, eine schlechte Verbindung, ein Nebenschluss (aufgrund Feuchtigkeit oder schlechter Isolation) oder ein beschädigter Anzünder sein.

Nachteil

Um große Fronten mittels einer Reihenschaltung sicher auszulösen, benötigt man eine Spannungsquelle mit hoher Leistung. Bei der Verwendung von Anzündern des gleichen Widerstandswertes, aber von verschiedenen Herstellern, kann es vorkommen, dass die Anzünder aufgrund verschiedener Toleranzen unterschiedlich „schnell“ auslösen und dadurch der Zündkreis zu früh geöffnet wird. Dadurch wird eine Anzündung der „langsamen“ Anzünder verhindert.



➤ Aufbau einer Parallelschaltung



Abb.: Parallelschaltung

Bei der Parallelschaltung sind die Anzünder parallel an einer Zündleitung angeschlossen, wodurch durch jeden hinzu kommenden Anzünder der Widerstand des Zündkreises verringert wird. Die Zündspannung ist in jedem Fall die gleiche. Der Gesamtzündstrom ist die Summe der Einzelströme die jeder Anzünder zur sicheren Auslösung benötigt.

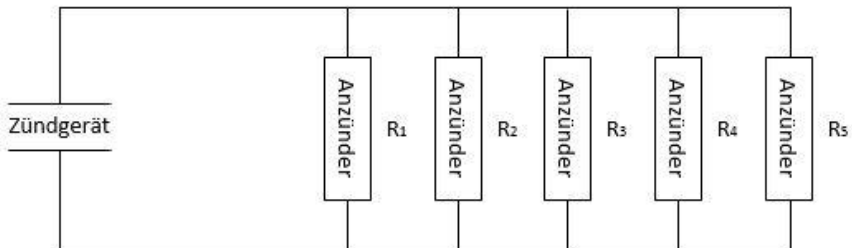


Abb.: Schaltplan Parallelschaltung

Bei der Parallelschaltung gilt:

$$U_{\text{Gesamt}} = U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = U_5 \dots$$

$$I_{\text{Gesamt}} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 \dots$$

$$R_{\text{Gesamt}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \dots}$$

Grundsätzlich könnte man unendlich viele Anzünder zusammen an einen Zündkreis anschließen. Jedoch besteht so auch die theoretische Möglichkeit, dass sich so ein Widerstand von Null ergibt, was einem Kurzschluss entspricht und eine Auslösung unterbleibt. Der Widerstand von Hin- und Rückleitung wird nicht in die Berechnung einbezogen.

Vorteil

Ein Vorteil besteht darin, dass Anzünder verschiedener Hersteller mit verschiedenen Werten (keinesfalls Vermischung von A/U/HU-Anzündern) sicher ausgelöst werden. Ein fehlerhafter Anzünder löst zwar nicht aus, legt aber die restlichen Anzünder im Zündkreis nicht lahm.

Nachteil

Anhand einer Durchgangskontrolle des Zündgerätes ist ein Fehler im Zündkreis nicht zu erkennen, da immer der Durchgang angezeigt wird, solange nicht alle angeschlossenen Anzünder defekt sind.

Um diese Fehlerquelle ausschließen zu können, muss man vor dem Herstellen einer Verbindung alle Anzünder sowie die Zündleitung mit einem Ohmmeter durchmessen.



➤ **Aufbau einer gemischten Reihen/Parallelschaltung**

Bei der gemischten Schaltung werden der Gesamtwiderstand, Gesamtstrom und Gesamtspannung berechnet indem man zunächst die einzelnen Reihenschaltungen berechnet und die resultierenden Ergebnisse in den Formeln für die Parallelschaltung einsetzt.

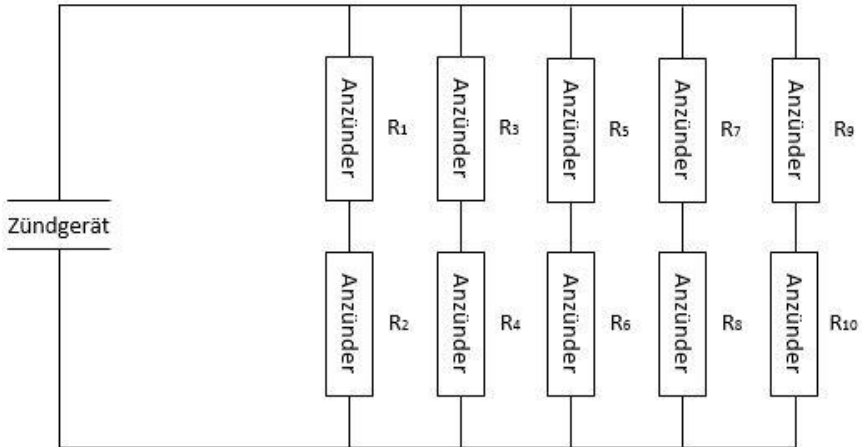


Abb. Aufbau einer gemischten Reihen/Parallelschaltung

Vorteil

Es können mehr Anzünder an eine Zündleitung angeschlossen werden als bei einer Reihen oder Parallelschaltung. Auf gleich hohe Widerstände der einzelnen Adern sollte Wert gelegt werden, um eine einwandfreie Auslösung zu gewährleisten.

Nachteil

Zur Auslösung der Anzünder wird ein hoher Impuls benötigt, der mit herkömmlichen und teilweise selbst gebauten Zündanlagen nicht erreicht wird.



➤ Leitungswiderstand

Jeder elektrische Leiter besitzt einen eigenen Widerstand der bei der Berechnung von Zündkreiswiderständen zu berücksichtigen ist.

Da dieser von der Länge der Zündleitung (Hin- und Rückleitung) sowie vom Querschnitt der Zündleitung abhängig ist kann dieser Wert nicht unerheblich für den Zündkreis sein und sei daher der Vollständigkeit halber hier erwähnt.

Der Leitungswiderstand errechnet sich:

$$R = \rho * \frac{L}{A}$$

ρ = spezifischer Widerstand

L = Leitungslänge

A = Leitungsquerschnitt

Der spezifische Widerstand ist für jedes Material unterschiedlich. Kupfer hat einen Wert von 0,0178, Eisen jedoch von 0,1.

Nimmt man beispielsweise eine Kupferleitung mit dem Querschnitt von 0,6 mm² und einer Länge von 50 m (einfach) so ergibt sich ein Widerstand von:

$$R = 0,0178 * 100 / 0,6 = 2,97 \Omega$$

Da man bei einem Brückenanzünder des Typ „A“ von einem Widerstand von ~ 2 Ω ausgehen kann muss man feststellen das ein Zündgerät das normalerweise 5 Anzünder in Reihe zuverlässig anzünden kann, bei einer Entfernung von 50 m möglicherweise nur noch 4 Anzünder schaffen würde.



➤ **Frühzündgefahren**

Durch mögliche auftretende Fremdströme ist es nicht auszuschließen, dass ein Zündkreis frühzeitig ausgelöst wird. In der Praxis ist diese Gefahr zwar nicht sehr groß, sollte aber auch nicht unterschätzt werden.

Fremdströme können sein:

- **Streuströme** die durch eine defekte ober- oder unterirdische Leitung oder durch Blitzeinschlag durch die Erde, entlang von Metallkonstruktionen oder Gebäudeteile strömen.
- **Induktionsströme** die durch das Auftreten von starken Magnetfeldern in eine Leiterschleife induziert werden. Die Magnetfelder entstehen in der Nähe von starken Motoren, Funkmasten oder Transformatoren. Auch bei Kurzschlüssen entstehen kurzzeitig starke Magnetfelder.

Um eine unbeabsichtigte oder zu frühe Anzündung zu vermeiden sind einige Punkte zu beachten:

- Isolation offener Leitungsenden
- Keine großen Leiterschleifen bilden
- Auf intakte Isolation der Leitung achten
- Keine offenen Leitungsenden auf den Boden legen
- Abstand zu Transformatoren, Motoren, Funkantennen





Abb. Scotchlok + -Zange



Abb. WAGO Klemme

➤ **Zubehör**

Hinsichtlich der Verwendung von bestimmtem Zubehör gelten zwar nicht die strengen Vorschriften der Sprengtechnik. Dennoch sollte man sich daran orientieren und z.B. geeignete Ohmmeter zum Durchmessen der elektrischen Verbindungen verwenden. Zum einen wäre es peinlich, wenn die gewünschten Effekte bereits beim Durchmessen der Leitungen initiiert werden, zum anderen besteht die Gefahr, dass durch eine frühzeitige Auslösung der pyrotechnischen Effekte Schaden an Personen oder Sachen entstehen könnten.



Abb geprüfte Ohmmeter



Abb.:(Baumarkt)Prüfgerät

Zur Verwendung nicht geeignet, da bei den nicht geprüften Ohmmetern aus dem Baumarkt nicht sichergestellt ist, dass der höchstzulässige Prüfstrom von max. 25 mA nicht überschritten wird, es besteht die Gefahr einer vorzeitigen Auslösung

5. Verzögerungsmittel

Zündung durch Verzögerungsmittel: Tatsächlich sind alle marktüblichen Feuerwerkseffekte zumindest mit ein paar Sekunden verzögert, damit sich der Anzündende entfernen kann. Das Anbringen von Verzögerungen an einem pyrotechnischen Gegenstand und das miteinander verbinden mehrerer Effekte bezeichnet man als **Verleiten**.

Die Zündschnur wird einmal angezündet und brennt dann in der vordefinierten Geschwindigkeit ab und entzündet wiederum die daran verbundenen Effekte.

Dies ist dem geprüften Pyrotechniker gestattet. Das Verleiten bildet die Basis des klassischen Feuerwerks, indem die Effekte zu einem kontrollierten Ablauf zusammengeschlossen werden, der dann das eigentliche Feuerwerk ergibt.



Verwendet werden:

- **Anzündschnüre**, die die Anzündung auf den Gegenstand übertragen. Sie haben eine vorgegebene durchgehende Verzögerung und brennen daher gleichmäßig ab.
- **Verzögerer**, entweder als vorgefertigtes Produkt mit Verzögerungszeiten von z.B. 1, 2, 3 oder 4 Sekunden oder mittels langsam brennender Zündschnüre (Zeitzündschnur, China-Zündschur, Sumpfzündschnur).
- **Gebündelte Effekte**: Sind pyrotechnische Effekte, bei denen schon ab Werk mehrere Einzeleffekte verleitet sind. Bekannteste Vertreter sind die Cakeboxen oder römische Lichter mit mehreren Schüssen.

Anzündschnur: Die Anzündschnur hat eine Schwarzpulverseele, die mit einer Kunststoffhülle ummantelt ist. Diese Anzündschnüre sind wasserfest ausgeführt und brennen auch unter Wasser. Die Brenndauer beträgt ca. 120 sek/m bzw. ~ 50 sek/m (Visco grün).

Anzündlitze: Die Anzündlitze besitzt einen dünnen Kupferdraht als Seele, der nicht mit verbrennt und ist mit einem Kunststoffgeflecht ummantelt. Die Litze gibt es mit verschiedenen Brenndauern. Die Brenndauer betragen 8 – 12 sek/m und 18 – 28 sek/m. (z.B. Fa. Wano Rot und Gelb) Die Anzündlitze ist nicht wasserfest.

Matchtape: Das Matchtape ist ein durchsichtiger Klebestreifen, der mit feinen Schwarzpulverkörnern bestreut wird. Wenn das Matchtape verklebt, bzw. verdämmt ist schlägt die Zündflamme nahezu verzögerungsfrei durch. Wird es frei abgerollt und angezündet ist die Abbrandgeschwindigkeit wesentlich langsamer. Das Matchtape wird sehr häufig zum Verleiten von Lichterbildern o.a. verwendet.



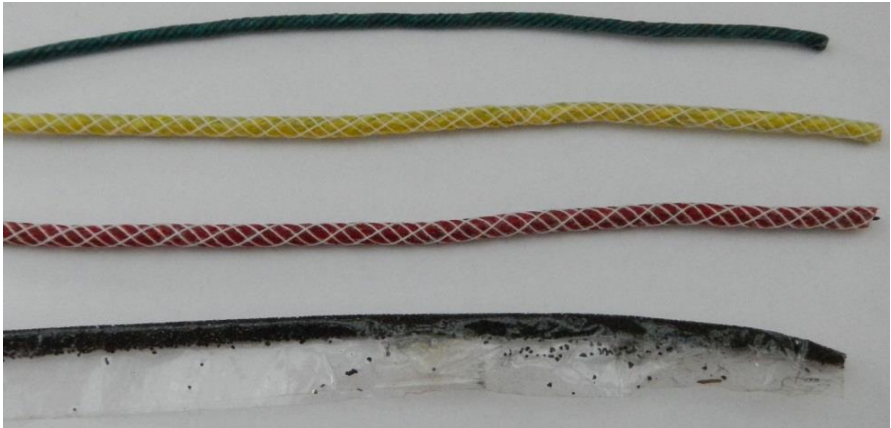


Abb.: Visco grün, Wano gelb, Wano rot und Matchtape

Gedeckte Stoppine: Die gedeckte Stoppine ist eine Schwarzpulverzündschnur mit einer Papierumhüllung. Die durch den Abbrand entstehenden Verbrennungsgase brennen mit einer Geschwindigkeit von ca. 300 m/sek ab.

Die gedeckte Stoppine ist an nahezu allen Großfeuerwerkskörpern vorhanden. Sie wird des Weiteren zur sehr schnellen Zündübertragung verwendet.



Abb. gedeckte Stoppine

Ungedeckte Stoppine: Die ungedeckte Stoppine ist wie die gedeckte Stoppine eine Schwarzpulverzündschnur, mit dem Unterschied, dass sie nicht ummantelt ist und dadurch verhältnismäßig langsam abbrennt. Deckt man sie ab, um sie vor Feuchtigkeit bzw. Funkenflug zu schützen, entsteht nahezu der Effekt einer gedeckten Stoppine.

Hinweis:

Auch bei den Stoppinen wird aus Kostengründen zwischenzeitlich auf die Verwendung von Schwarzpulver als Grundbestandteil verzichtet. Hierbei handelt es sich oftmals um Ware, die nicht für den europäischen Markt bestimmt ist. Es kommen daher andere chemische Mischungen zum Einsatz, die insbesondere weitaus druckempfindlicher sind und z.B. bereits beim Abschneiden mit einer Schere (auch Keramik) allein durch die Druckwirkung zur Selbstauslösung neigen. Es wird daher empfohlen, Stoppinen nur durch Abschneiden mit einem Messer zu kürzen, um keinen Druck aufzubauen.

Verzögerer:

Verzögerer auch Vorbrenner genannt werden in der Großfeuerwerkerei eingesetzt um zwischen mehreren Einzeleffekten (Bomben, Feuertöpfe, römische Lichter ...) zeitliche Abstände zu bringen ohne jeden Einzeleffekt mit einem elektrischen Satzauslöser zu verbinden. Die Vorbrenner bestehen aus einem gepressten Schwarzpulversatz der nach Menge bzw. Zusammensetzung eine Verzögerung zwischen 1 und 6 Sekunden ermöglicht.

Vorteil:

Der Einsatz von Verzögerer ist schneller und Kostengünstiger als einzelne elektrische Satzauslöser. Außerdem kann man leichter Effekte bündeln. Je nach Hersteller ist auch eine einfache Kombination verschiedener Zeiten möglich.



Nachteil:

Aufgrund von Produktionstoleranzen können die angegebenen Zeiten doch etwas variieren so dass beim Einsatz mehrerer Verzögerer eine nicht unerhebliche Zeitdifferenz entsteht. Außerdem ist die Gefahr gegeben das ein Teil oder eine komplette Reihe zu früh oder gar nicht zündet. Für präzise Musikfeuerwerke ist der Einsatz von Vorbrennern in großem Maße daher abzuwägen.

Abschließend sind noch einige Verzögerungssysteme verschiedener Hersteller aufgelistet:

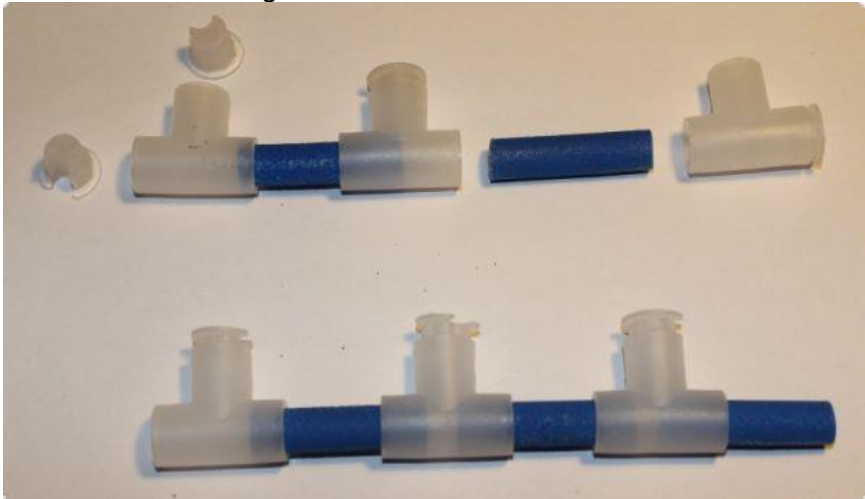


Abb. Vorbrennersystem (Fa.Nico)

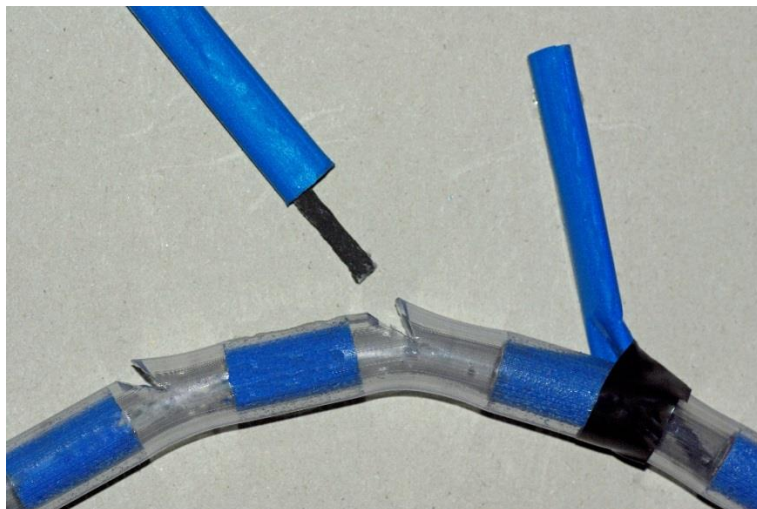


Abb. PyroDelay (Fa.PyroProdukt)



Abb. Pyroclock (Fa.Monetti)



Abb. Easy Way (Fa.Pyroart)