

Elektrische Zündung – eine Einführung

Inhalt:

1. Allgemeine Begriffe
2. Prinzip
3. Auslegung des Zündkreises
4. Reihenschaltung
5. Parallelschaltung
6. Reihenparallelschaltung
7. Zündgeräte
8. Rechtliches
9. Zusammenfassung
10. Verwenden von Anzündern
11. Glossar

1. Allgemeine Begriffe:

Zur Zündung von Feuerwerk werden heute im Allgemeinen elektrische Anzünder verwendet, die das Bindeglied zwischen der Zündanlage und dem eigentlichen pyrotechnischen Gegenstand darstellen. Im Gegensatz zum (Spreng-) Zünder, der eine brisante Beiladung besitzt und als Haupteffekt eine Stosswelle erzeugt, produziert ein Anzünder nur eine Flamme.

Unter einem Anzünder verstehen wir heute in der Regel den Brückenanzünder, der den früher üblichen Spaltanzünder beinahe vollständig verdrängt hat.

Beim Brücken(an)zünder wird durch einen Stromimpuls eine Glühbrücke aus Widerstandsdraht erhitzt, welche dann einen Primärsatz zündet.

Beim Spaltanzünder war eben dieser Primärsatz durch Zusätze elektrisch leitend gemacht, so dass eine Glühbrücke überflüssig war, allerdings benötigen Spaltanzünder vergleichsweise hohe Zündspannungen und -ströme, so dass sich der Brückenanzünder heute allgemein durchgesetzt hat.

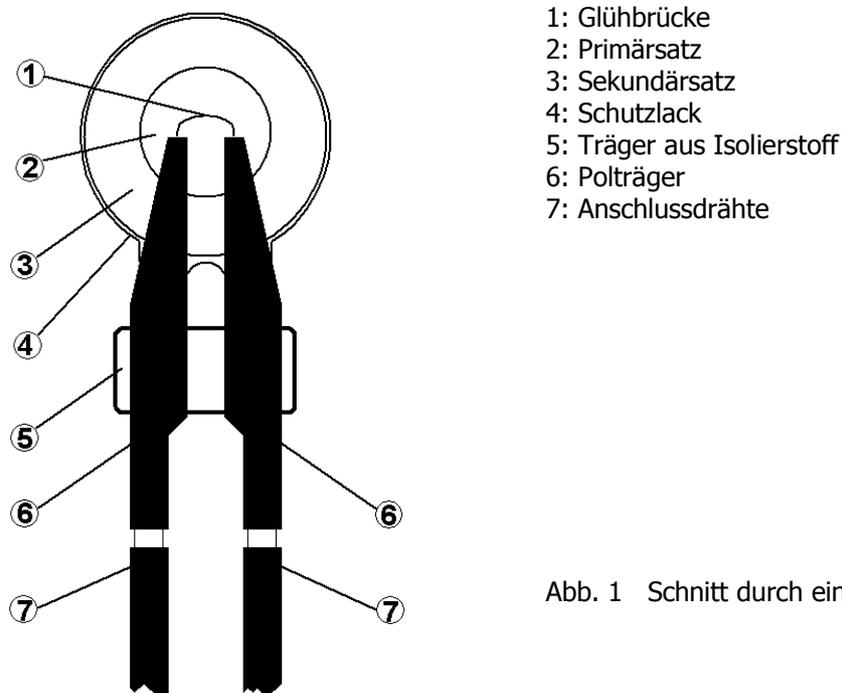


Abb. 1 Schnitt durch eine Anzündpille

Dieser Primärsatz ist so ausgelegt, dass die Energie, die er zum Überschreiten der Zündschwelle braucht, sehr gering, der Satz also sehr empfindlich ist. Solche Sätze enthalten im Allgemeinen Kaliumchlorat als Oxidator sowie Thiocyanate, Nitrocellulose, und ggf. Metallpulver.

Häufig wird der Primärsatz noch mit einem Sekundärsatz ummantelt, da die meisten Primärsätze relativ wenig Energie bei ihrer Umsetzung abgeben. Zur „Wirkungsverstärkung“ werden meist stark metallhaltige Sätze aufgebracht, welche schnell und mit hoher Flammentemperatur abbrennen. Zum Schutz vor Feuchtigkeit und um die Stabilität der Zündpille zu erhöhen wird sie normalerweise noch mit einem Nitrocelluloselack (oder einem anderen synthetischen Lack) beschichtet. Die meisten Hersteller bieten ihre Anzünder mit und ohne einer Plastikhülse an. Der Sinn der Hülse ist vor allem der, die Pille noch einmal zusätzlich vor mechanischer Beanspruchung zu schützen. Gleichzeitig ermöglichen Hülsen mit Querloch eine einfache Montage von Anzündlitze oder anderen Zündschnüren wie ICI® o.ä..



Abb. 2: verschiedene Anzünder (mit und ohne Plastikhülse)
(Bild mit freundlicher Genehmigung von Markus Klatt - FEUERWERK.net)

Anzünder werden in zwei unterschiedlichen Charakteristiken verkauft: A und U. Die Eckdaten sind in untenstehender Tabelle aufgelistet.

Parameter	Einheit	Wert	
		A – Anzünder	U – Anzünder
Nichtansprechstrom	A	0,18	0,45
Ansprechstrom	A	0,6	1,3
Teststrom	mA	<10	<10
Verzögerung bei			
1A (durchschnittl.)	ms	2	-
3A (durchschnittl.)	ms	1	-
Max. Widerstand*	Ω	4,5	3,5
Widerstand**	Ω	0,8 – 2,0	0,4 – 0,8
Zündenergie	mWs/Ω	4	16

Quelle: 1. Anlage zur SprengV, Firmenschriften

-
- * bei einer Zuleitungslänge von 3,5m
 - ** Widerstand der Zündbrücke, max. Abweichung innerhalb der Produktcharge 0,25Ω.

Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal ist der Ansprech- und Nichtansprechstrom. Diese Werte bedeuten folgendes:

Ansprechstrom: Wird der Anzünder von einem Strom durchflossen, der mindestens diese Stärke hat, muss er nach Vorschrift nach maximal 10ms gezündet haben.

Nichtansprechstrom: Wird der Anzünder von einem Strom dieser Stärke durchflossen, ist garantiert, dass auch ein längeres Anliegen (5 min.) dieses Stroms den Anzünder nicht zum Auslösen bringt.

Achtung, den Nichtansprechstrom nicht mit dem Prüfstrom verwechseln, er ist ein absoluter Maximalwert, der auch im schlimmsten Fall beim Testen keinesfalls überschritten werden darf!

2. Prinzipschaltbild eines Zündkreises:

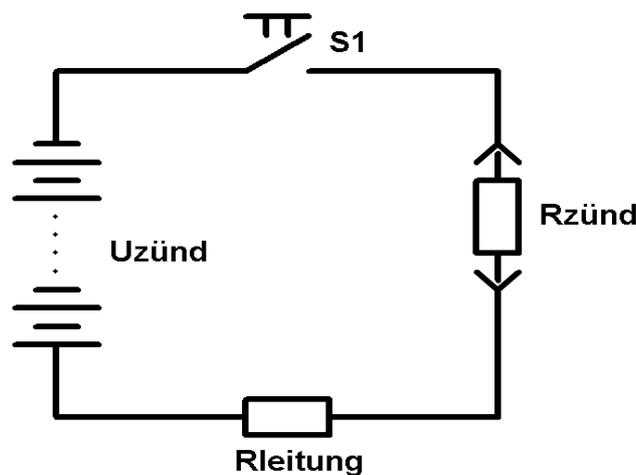


Abb. 3: Prinzipschaltbild eines Zündkreises

Dabei steht $U_{\text{zünd}}$ für die Stromquelle, die die Zündenergie bereitstellt, S_1 für die Auslöseschaltung (im Allgemeinen ein Taster und ein Schlüsselschalter), $R_{\text{zünd}}$ für den Widerstand des elektrischen Anzünders sowie R_{Leitung} für den Widerstand der Zu- und Ableitung.

Funktion:

Ist S_1 geöffnet, so kann kein Strom durch den Zündkreis fließen, schließt man jedoch S_1 , dann werden $R_{\text{zünd}}$ und R_{Leitung} von einem Strom I durchflossen, der durch das Ohm'sche Gesetz

$$U = R_{\text{ges}} \cdot I; \text{ damit } I = U / R_{\text{ges}}$$

bestimmt wird.

Betrachten wir nun zuerst den quasistatischen Fall (wenig Strom über lange Zeit):

Der durch den Anzünder fließende Strom erhitzt diesen (daher der Name Glühbrücke) und würde irgendwann den Primärsatz über die Entzündungstemperatur bringen: Der Anzünder würde auslösen. Nun ist aber die Glühbrücke nicht ideal isoliert, sie wird also dadurch, dass sie Energie an ihre Umgebung abgeben kann, gekühlt. Dadurch ergibt sich ein Gleichgewicht zwischen hereinfließender und hinausfließender Energie, die Folge ist eine Gleichgewichtstemperatur. Wenn diese über der Entzündungstemperatur des Primärsatzes liegt, wird die Zündpille nach einer bestimmten Zeit, die sie zum Aufheizen benötigt, auslösen.

Warum das alles?

Durch diese Parameter ist der garantierte Nichtansprechstrom definiert, denn der Energieeintrag, der durch diesen Strom geleistet wird, ist so gering, dass auch nach 5min die sich einstellende Gleichgewichtstemperatur der Pille nicht hoch genug ist, um auszulösen.

Nun wollen wir den dynamischen Fall näher untersuchen (viel Strom in kurzer Zeit):

Hier ist der Energieeintrag in sehr kurzer Zeit so hoch, dass das die Glühbrücke umgebende Material nicht in der Lage ist, die Energie von der Brücke wegzuleiten, deshalb entsteht eine lokale Überhitzung, wodurch dann der Primärsatz zündet.

Der dynamische Fall ist für den Ansprechstrom bedeutsam: Es ist der Strom, bei dem der Anzünder innerhalb von 10ms soviel Energie erhält, dass er sicher auslöst.

Normalerweise ist die Zeit die der Anzünder zum Auslösen braucht aber um einen Faktor 3-10 geringer.

3. Was muss man bei der Auslegung des Zündkreises beachten?

Es muss, damit der Anzünder sicher zündet, mindestens der Ansprechstrom fließen. Dieser liegt bei einem A - Anzünder bei 0,6A. Es wird aber von Herstellerseite gemeinhin empfohlen, die Zündkreise so zu dimensionieren, dass mindestens 1A fließen kann.

Was bedeutet das?

Für Konstantspannungsquellen kann als Faustregel gelten, dass je Volt der Zündspannungsquelle der Zündkreis ein Ohm haben darf.

Beispiel:

Zündstromquelle: Autobatterie
Zündspannung: 12V

Also darf nach dem Ohm'schen Gesetz bei gegebenen Zündstrom von $I = 1A$ der Zündkreis einen Widerstand von

$$\begin{aligned} R_{\text{ges}} &= U / I \\ &= 12V / 1A \\ &= 12\Omega \end{aligned} \quad \text{haben.}$$

Warum aber nur für Konstantspannungsquellen und was ist das überhaupt?

Es gibt in der Spreng- und Pyrotechnik zwei unterschiedliche Methoden der Zündung:

1. die Zündung mittels Konstantspannungsquelle
2. die Zündung über Stoßstromquellen

1. die Zündung mittels Konstantspannungsquelle:

Darunter versteht man alle Zündstromquellen, die kontinuierlich Strom nachliefern, sind sie erst einmal an den Zündkreis angeschlossen.

Dazu gehören zu allererst jede Form von Batterien und Akkumulatoren, aber auch Generatoren und Transformatoren (→ s. Zündgeräte).

Natürlich sind das im strengeren Sinne keine Konstantspannungsquellen, aber in dem kurzen Zeitrahmen und bei den relativ niedrigen Strömen, in dem sich die Zündtechnik im Allgemeinen abspielt, kann die Spannung - und damit der Strom - der Stromquellen als weitestgehend konstant angesehen werden. Solche Stromquellen eignen sich besonders zur Zündung von → parallelgeschalteten Zündkreisen, da eine geringe zeitliche Differenz im Ansprechverhalten der Anzünder deutlich geringere Auswirkung auf die Funktion des Gesamtaufbaus hat.

2. die Zündung mittels Stoßstromquellen:

Weil Batterien und Akkumulatoren oberhalb einer bestimmten Spannung (i.Allg. 24V) nur noch schwer zu bekommen sind und ausserdem sehr schwer und unhandlich werden, ist man vor allem in der Sprengtechnik, wo man ja in der Regel sehr grosse Zündkreise (50 - 300 Zünder) hat und man demzufolge eine sehr hohe Zündspannung braucht, dazu übergegangen, mittels eines Kondensators zu zünden. Ein Kondensator ist ein, dem Akkumulator ähnliches Speicherelement, welches jedoch auch für sehr hohe Spannungen zur Verfügung steht und nicht auf einer elektrochemischen Reaktion sondern auf elektrostatischer Aufladung basiert.

Der Kondensator wird mit Hilfe eines Generators oder einer elektronischen Spannungsvervielfacherschaltung auf eine hohe Spannung aufgeladen, die im Allgemeinen zwischen 300 und 3000 Volt liegt.

Kondensatorzündmaschinen eignen sich besonders für grosse Zündkreise (Vulkan- und Bengalfronten etc.) jedoch weniger zur Parallelschaltung von Zündkreisen.

Bei Verwendung von Kondensatorzündmaschinen muss man grundsätzlich die maschineneigenen Spezifikationen beachten.

Sie besitzt beispielsweise die Zündmaschine ZEB - N - CU 50™ der Zünderwerke Ernst Brünn® eine Ausgangsspannung von 830V, jedoch ist Ihr Grenzwiderstand mit 195Ω (für U - Zünder) angegeben. Warum das?

Nun, es gibt einen zusätzlichen Parameter, den es zu beachten gilt, der aber bei der Verwendung von Akkumulatoren oder Batterien (was in der Pyrotechnik der weitaus häufigste Fall sein dürfte) kaum eine Rolle spielt: Die Zündenergie.

In Akkumulatoren und Batterien überreichlich vorhanden, ist sie beim Kondensator stark begrenzt. Sie berechnet sich nach der Formel

$$E = C / 2 * U^2$$

Dabei ist E die Zündenergie in Joule (J = Ws), C die Kondensatorkapazität in µF und U die Zündspannung in Volt.

Wir sehen auch, dass es noch einen weiteren Vorteil hat, die Zündspannung bei Kondensatorzündung möglichst hoch zu machen: Sie geht quadratisch in die Energie ein; doppelte Spannung bedeutet bei gleicher Kapazität folglich vierfache Energie.

Ein A - Anzünder benötigt nach obiger Tabelle 4mWs/Ω, ein U - Anzünder 16mWs/Ω. Das bedeutet, je Ω des Zündkreises muss die Zündmaschine diese Energie bereitstellen. In unserem Fall wird bei einem Grenzwiderstand von 195Ω für U-Brückenzünder eine Energie von

$$195\Omega * 16\text{mWs}/\Omega \approx 3,1\text{Ws}$$

benötigt.

Das ist ziemlich genau die Energie, die im Kondensator einer Zündmaschine dieses Typs gespeichert ist. Bei 195Ω Gesamtwiderstand lassen sich also 50 Stück U-Zünder noch sicher versagerfrei zünden.

Auf jeder (zugelassenen) Zündmaschine ist ein Schild, mit genauen Angaben zu Leistungsvermögen und Grenzwiderstand des Geräts. Daran sollte man sich halten, wenn man kein Versager riskieren möchte.

In der Regel gilt: Ein Akkumulator oder eine Batterie (u.U. auch mehrere in Reihe geschaltet) sind meistens das Mittel der Wahl, da preisgünstig, einfach zu beschaffen und zu bedienen und nicht zuletzt benötigen sie keine Aufladezeit; das ist ein unschlagbarer Vorteil, wenn einmal schnell viele Zündungen hintereinander folgen.

Sind die Zündkreise, die man zünden will sehr gross (>30Ω), oder benötigt man viele Anzünder in Reihe (>15 Stck.), oder sind die Kabelstrecken extrem gross (> 200m), muss man auf eine Kondensatorzündmaschine zurückgreifen; meistens ist es dann aber besser nur die entsprechenden Zündkreise mit der Kondensatormaschine zu zünden, den Rest aber konventionell über eine Batterie.

Möchte man mehrere Zünder in einem Zündkreis unterbringen, so gibt es zwei Möglichkeiten, dies zu tun: In Reihen- oder in Parallelschaltung. Natürlich lassen sich die beiden Verfahren kombinieren, das Ergebnis heisst dann Reihenparallelschaltung.

Es entbrennen regelmässig reglerechte Glaubenskriege um die beiden Möglichkeiten, Anzünder miteinander zu kombinieren; sicher ist, dass beide Arten ihre Vor- und Nachteile und ebenso ihre speziellen Einsatzgebiete haben.

4. Reihenschaltung:

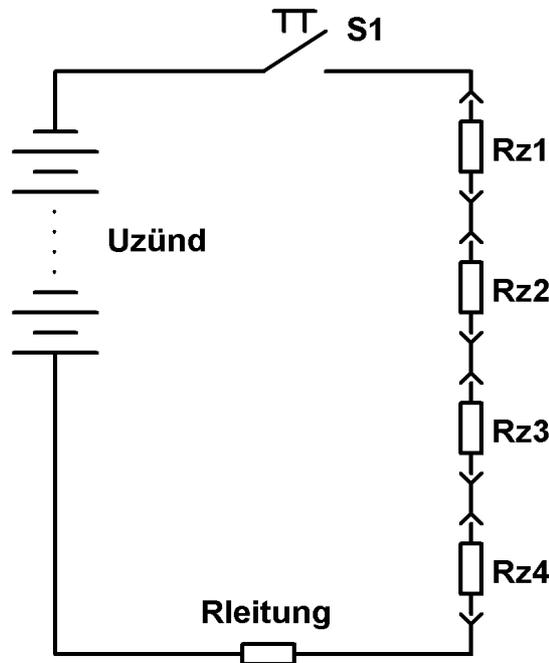


Abb. 4: Zündkreis in Reihenschaltung

Die Anzünder werden also der Reihe nach miteinander verbunden, derselbe Strom fliesst durch alle Anzünder.

Der Widerstand der Schaltung ist gleich der Summe aller Einzelwiderstände:

$$R_{\text{ges}} = R_{\text{leitung}} + R_{z1} + R_{z2} + R_{z3} + R_{z4}$$

Über jedem Widerstand fällt eine Spannung ab, der vom Strom I und dem jeweiligen Widerstand abhängig ist.

Alle Spannungen ergeben zusammen wieder $U_{\text{zünd}}$.

In der Praxis rechnet man pro Anzünder mit rund 2Ω , was zwar ein bisschen hoch gegriffen ist, jedoch dem maximal erlaubten Wert entspricht, und damit mit einem Spannungsabfall von $2V$ je Zünder (mit $I = 1A$). So kommt auch die Faustregel „zwei Volt pro Zünder“ zustande, dabei wird aber gerne die Zuleitung vergessen. Das ist bei Kabellängen von $1-3m$ relativ unkritisch, da die 2Ω wie gesagt etwas hoch gegriffen sind und so auch noch ein paar Meter Kupferdraht mit abdecken, ausserdem ist $1A$ Zündstrom ja mehr als ausreichend, so dass das System insgesamt für so einen Fall genügend Sicherheitsreserven bereithält.

Werden die Kabellängen größer sollte man sich aber nicht mehr auf die oben erwähnte Faustregel verlassen, sondern lieber nachmessen (bzw. ggf vorher nachrechnen).

Achtung: Bei Berechnungen die Rückleitung nicht vergessen!

Die Vorteile der Reihenschaltung liegen klar auf der Hand:

Einen Fehler in Form einer Unterbrechung, schlechten Verbindung oder eine beschädigte Zündpille erkennt man sofort am Widerstand des Kreises.

Das Auslösen geschieht im Rahmen der Ansprechgenauigkeit gleichzeitig.

Dem gegenüber stehen die Nachteile der Reihenschaltung:

Schon bei verhältnismässig wenigen Anzündern braucht man zum Zünden Spannungen, die mit „haushaltsüblichen“ Mitteln kaum mehr bereitzustellen sind.

**Achtung: Auf keinen Fall darf Netzspannung direkt zum Zünden verwendet werden! Solche Experimente können tödliche Folgen haben und erhebliche Sachschäden nach sich ziehen.
Nur ein Fachmann kann die Gefahren, die von Mittel- und Hochspannung ausgehen realistisch beurteilen.**

Noch einen Nachteil hat die Reihenschaltung: Brennt ein Anzünder durch, unterbricht er damit den Stromkreislauf und theoretisch würde dann kein weiterer Anzünder mehr funktionieren. Die Ursache, warum die Reihenschaltung dennoch so eine wunderbar zuverlässige Sache ist, liegt in der thermischen Trägheit der Zündpille begründet (es ist zwar schon genügend Energie in die Zündpille übergegangen, aber der Satz hat noch nicht gezündet), und in der Tatsache, dass die heißen Verbrennungsgase des Primär- und Sekundärsatzes kurzfristig ein thermisches → Plasma mit relativ niedrigem Widerstand darstellen. Zudem dauert es ein Weilchen, bis die Glühbrücke durchbrennt (auch wenn der Primärsatz schon gezündet hat, bleibt der Widerstandsdraht noch eine Zeit lang intakt), so dass alle Anzünder die Möglichkeit haben, anzusprechen.

Aber da liegt auch die Schwierigkeit: All diese Phänomene sind von atemberaubender Kurzfristigkeit und damit müssen die Toleranzen der Pillen untereinander sehr klein sein, damit das Spielchen noch zuverlässig funktioniert.

Mitunter liegen die Toleranzen so weit auseinander, dass eine Reihenschaltung von A - Anzündern verschiedener Firmen nicht mehr versagerfrei funktioniert. Bei sehr billigen Anzündern (vornehmlich aus China, wo die Anzünder teilweise noch handgelötet werden) können bereits die Chargenabweichungen bei Reihenschaltung zu Versagern führen. Diese Toleranzen in der Fertigung führen dann immer wieder zu „unerklärlichen Stehenbleibern“, bei denen aus einem Zündkreis ein oder zwei Anzünder versagen, der Rest aber fehlerfrei zündet, obwohl bei näherer Untersuchung die Anzünder keine offensichtliche Beschädigung aufweisen.

Ganz besonders problematisch wird es, schaltet man Anzünder mit A- und U - Charakteristik zusammen. Man kann mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass zwar die A - Pillen auslösen werden, aber gleichzeitig eine Art „Sicherheit“ für die U - Pillen darstellen, diese also nicht zünden werden, weil die A-Anzünder den Stromkreis vorzeitig unterbrechen und so verhindern, dass die notwendige Zündenergie in die U-Anzünder eingetragen wird.

Ebenfalls sollte man beachten, dass mit zunehmender Spannung die Nebenschlussgefahr, also die Gefahr, dass über eine schlecht isolierte Verbindung ein Teil des Stromes einen anderen Weg nimmt als vorgesehen, steigt. Besonders bei Kondensatorzündmaschinen ist das verheerend, da dann unter Umständen nicht mehr genügend Energie zur Zündung des gesamten Kreises vorhanden ist. Man sollte deshalb seine Verbindungen, zündet man mit mehr als 42V, gründlich isolieren und vor Nässe schützen.

Grundsätzlich gilt:

Nur Anzünder gleicher Charakteristik und gleichen Herstellers (am Besten gleicher Chargen) in Reihe schalten und bei Verwendung hoher Zündspannung auf gute Isolierung achten.

5. Parallelschaltung:

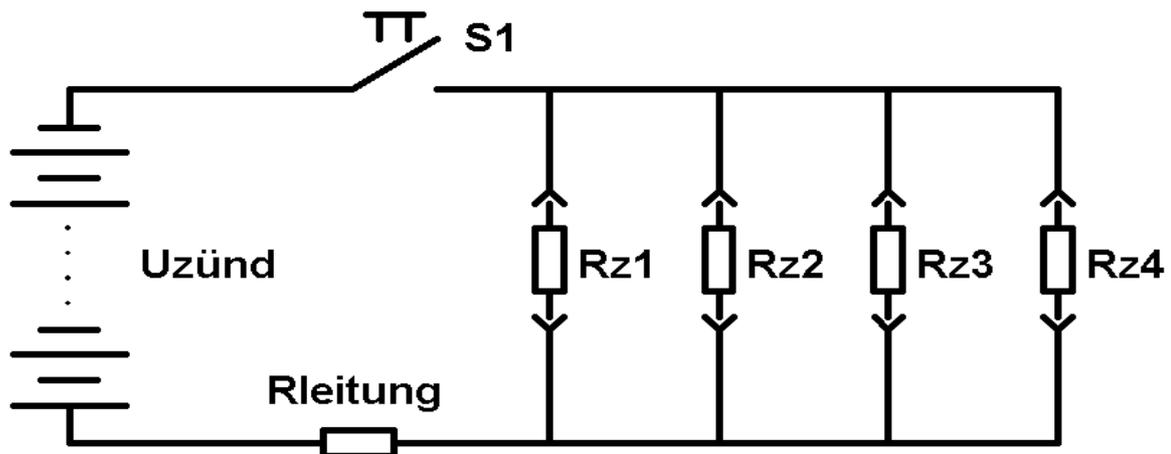


Abb. 5: Zündkreis in Parallelschaltung

Hier haben nun alle Anzünder eine gemeinsame Versorgungsleitung. mit jedem hinzukommenden Zünder wird logischweise der Gesamtwiderstand geringer und zwar nach dem Gesetz:

$$R_{\text{ges}} = R_{\text{leitung}} + R_{\text{ersatz}}$$

dabei ist R_{ersatz} der Widerstand, denn alle Anzünder ausmachen. Er gehorcht folgendem Gesetz:

$$1/R_{\text{ersatz}} = 1/R_{z1} + 1/R_{z2} + 1/R_{z3} + 1/R_{z4}$$

Häufig werden die Anzünder direkt am Ausgang der Zündanlage parallelgeschaltet, so dass R_{leitung} häufig Null ist.

Theoretisch kann man so unendlich viele Anzünder zusammenschalten, man sollte sich aber darüber im Klaren sein, dass sich der Zündstrom gemäss der Einzelwiderstände aufteilt, man also bei unendlich vielen Anzündern einen theoretischen Widerstand von Null hätte. Ist die Zündstromquelle nicht in der Lage einen entsprechend hohen Zündstrom zu liefern, zündet im schlimmsten Falle keiner der Anzünder.

Schon bei 10 Anzündern parallel ergibt sich bei einem Einzelwiderstand von 2Ω ein Gesamtwiderstand von $0,2\Omega$, was faktisch ein Kurzschluss ist.

Diese Aspekte sind in der Pyrotechnik aber eher nebensächlich, denn normalerweise sollten ohnehin nicht mehr als 3 Kreise parallelgeschaltet werden. Braucht man mehr Anzünder verwendet man normalerweise die \rightarrow Reihenparallelschaltung, so dass die einzelnen Äste der Schaltung bereits einen höheren Widerstand haben. Desweiteren haben die verwendeten Stromquellen meist einen so niedrigen Innenwiderstand, dass dieser (bei Verwendung nicht allzuvieler Zweige) nicht ins Gewicht fällt. (\rightarrow s. Zündgeräte).

Die Vorteile der Parallelschaltung

sind das sichere Zünden auch (leicht !) unterschiedlicher Anzünder (also etwa A - Anzünder unterschiedlicher Firmen, nicht aber A - und U - Anzünder) und die hohe Sicherheit, da ein kaputter Zünder oder eine Unterbrechung nicht gleich alle Anzünder lahmlegen würde. Gegen einen Kurzschluss ist allerdings auch eine Parallelschaltung nicht gefeiert.

Die Nachteile der Parallelschaltung

sind vor allem, dass ein Fehler in einem der Äste nicht erkannt werden würde. Da hilft nur vor dem Anklempfen an die Anlage jeden Ast sorgfältig durchzumessen (→ Zusammenfassung).

Man sollte beachten, dass viele (speziell → microcontrollergesteuerte) Zündanlagen mit einer Kondensatorentladung zünden, so dass unter Umständen für den zweiten und/oder dritten Ast nicht mehr genügend Zündenergie zur Verfügung steht, da das Auslösen des ersten Astes bereits den Kondensator „leergesaugt“ hat.

Wird nämlich ein parallelgeschaltetes System gezündet, wird zuerst derjenige Ast, der den niedrigsten Widerstand hat, zünden, wenn dieser dann durchgebrannt ist, wird der nächste folgen. Eine Ausnahme bildet ein System bei dem die Einzelwiderstände sehr nahe beieinanderliegen und der Zündstrom in jedem Ast gross genug ist, alle Äste gleichzeitig zu zünden.

Die Parallelschaltung sollte also sicherheitshalber nur bei Zündung mit Konstantspannung verwendet werden (oder wenn der Zündkondensator eine sehr hohe Kapazität hat und das Zündzeitfenster lang genug ist). Auf diese Faktoren hat man normalerweise keinen Einfluss und nicht alle Zündanlagenhersteller machen genaue Angaben zu diesen Eckdaten. Man sollte in so einem Fall immer nachfragen oder im Zweifel auf eine Parallelschaltung verzichten.

Eine so gleichzeitige Zündung wie bei der Reihenschaltung kann man bei der Parallelschaltung nicht garantieren, allerdings sind die Abweichungen normalerweise so gering, dass sie für das menschliche Auge ohnehin nicht sichtbar sind.

6. Reihenparallelschaltung:

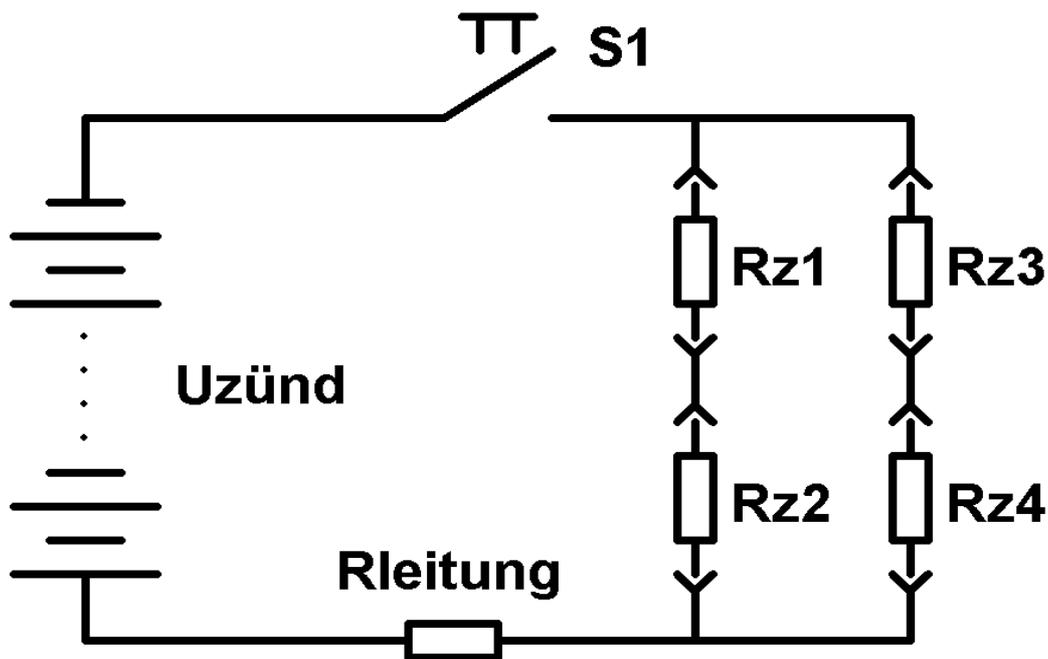


Abb. 6: Zündkreis in Reihenparallelschaltung

Die Reihenparallelschaltung ist im Grunde einfach eine Kombination aus Reihen- und Parallelschaltung. Sie wird in der Praxis weitaus häufiger angewandt als die reine Parallelschaltung, da hier die Busäste einen relativ hohen Widerstand haben können, und man mehr Anzünder an einen Ausgang geschaltet bekommt, als das mit Reihen- oder Parallelschaltung alleine möglich wäre.

Man sollte darauf achten, dass die einzelnen Äste möglichst gleichen Widerstand haben! Solche Schaltungen kann man nur bei Zündung mit Konstantspannung anwenden, da hier zusätzlich noch ganz beträchtliche Zündenergien benötigt werden, die ein „normaler“ Ausgang einer Zündanlage häufig nicht bereitstellt. Bindend sind auf jeden Fall die Angaben des Zündanlagenherstellers.

Dazu ein Beispiel:

Wir wollen als Zündstromquelle wieder unsere Autobatterie aus Kapitel 2 hernehmen. Eine Autobatterie (oder ein anderer hochkapazitiver Blei-Akkumulator) ist absolut in der Lage, einen zum Zünden (auch mehrerer Kreise) ausreichenden Zündstrom auch über längere Zeit zur Verfügung zu stellen. Sie eignet sich also wunderbar für unsere Zwecke.

Die Zündspannung liegt bei 12V; wie wir in Kapitel 2 berechnet haben, reicht das für 12Ω Zündkreiswiderstand sicher aus. (in der Praxis entspricht das normalerweise 3-4 Anzündern und 40m Draht (Hin- und Rückleitung)).

Da eine Autobatterie wie oben erwähnt über beträchtliche Leistungsreserven verfügt, können wir aber problemlos 5 bis 10 Kreise á 12Ω parallelschalten. Das entspräche dann in der Praxis irgendwo zwischen 15 und 40 Anzündern, und damit kann man durchaus eine anständige Bengalfront zünden. Man kann natürlich noch die Zündspannung auf das Doppelte heraufsetzen, indem man noch eine zweite Autobatterie in Reihe mit der Ersten schließt, und kann so bis zu 80 Anzündern in einer Zündung unterbringen.

7. Zündgeräte:

In den vorherigen Kapiteln war immer von Zündstromquellen die Rede, was ist darunter eigentlich genau zu verstehen?

Nun, eine „Zündstromquelle“ ist ein Überbegriff für das Gerät, das uns im Feld die Energie zum Zünden bereitstellt.

Das kann im einfachsten Falle die erwähnte Autobatterie sein, im kompliziertesten Falle eine microprozessorgesteuerte Zündanlage. So unterschiedlich sie in ihrer Komplexität auch sein mögen, spätestens ab den Klemmen für die Anzündern gelten für sie wieder die gleichen Regeln und Gesetze. Der Markt für Zündanlagen ist mittlerweile ziemlich unüberschaubar geworden, deshalb soll hier auch nicht auf einzelne Modelle eingegangen werden, sondern nur eine grobe Orientierungshilfe gegeben werden, was für welche Anwendungsfälle geeignet ist.

Für sehr kleine Feuerwerke, also für Feuerwerke mit weniger als 30 Zündungen (unabhängig vom Aufwand und Menge an pyrotechnischen Effekten) eignet sich ganz hervorragend ein Nagelbrett oder eine kleine mit Schaltern ausgestattete Zündanlage. Da sich der Drahtverbrauch hier noch in Grenzen hält und ausserdem die Sache verhältnismässig übersichtlich ist (welcher Effekt gehört an welchen Ausgang der Anlage), braucht es auch noch keine Anlage, die über →Multicores und →Breakoutboxen verfügt.

Hier stellt sich am ehesten die Frage nach geeigneten Zündstromquellen. Verwendet man ein Nagelbrett, so kann man beispielsweise Autobatterien, Blei-Gel-Akkus, Trockenbatterien (am besten eignen sich hier 4,5V Flachbatterien bzw. Baby- oder Monozellen) oder NiCd- (bzw. NiMH-) Akkupacks verwenden.

Ein Wort zu Trockenbatterien:

Es werden vielfach 9V-Blockbatterien verwendet (vor allem im Modellraketen-sport), jedoch besitzt eine 9V-Blockbatterie einen vergleichsweise hohen Innenwiderstand und ist (in frischem Zustand) höchstens für ein bis zwei Anzündern tauglich. Flachbatterien, Baby- und Monozellen haben im Vergleich dazu einen sehr viel niedrigeren Innenwiderstand und eignen sich deshalb besser zum Zünden.

Möchte man sich (zum Testen von einzelnen Effekten oder für die Bühne) eine kleine „Zündmaschine“ für ein bis zwei Anzündern bauen, kann man jedoch eine 9V-Blockbatterie mit einem entsprechend grossen Kondensator puffern; allerdings ist so eine Zündmaschine zum Zünden eines Feuerwerks angesichts der Betriebsumstände und Größenverhältnisse schlicht und einfach unterdimensioniert.

Die Stromquellen sollen also einen möglichst kleinen Innenwiderstand aufweisen, obwohl es hier auf ein paar Ohm nicht ankommt (es sind also keine speziellen Hochleistungsakkus nötig, man muss das immer im Verhältnis zum Zündwiderstand sehen, ein bis zwei Ohm sind definitiv niederohmig genug), prinzipiell kann man den Innenwiderstand einfach als Teil des Leitungswiderstandes betrachten.

Man sollte ausserdem darauf achten, nur Akkumulatoren gleichen Typs zusammenzuschalten (also Blei-Gel-Akkus nicht mit Autobatterien kombinieren und nicht NiCd-Zellen mit NiMH-Zellen zusammenschalten. Es müssen identische Modelle des gleichen Herstellers sein, die in Akkupacks zusammengefasst werden). Und bei 48V ist spätestens Schluss, denn ab 42V verlässt man den Bereich der Kleinschutzspannung (24V sind ohnehin für fast alle Belange genug). Man sollte sich darüber im Klaren sein, dass ein solches Akkupack eine nicht ganz ungefährliche Angelegenheit ist.

Auch wenn man mit wenig Aufwand Packs jenseits der 100V bauen kann (die, ausser man verwendet Trockenbatterien, schwer und unhandlich werden) ist das zum einen unnötig und zum anderen eine potentielle Gefahrenquelle, da auf dem Abbrennplatz meist mit offenen Verbindungen gearbeitet wird (besonders beim Nagelbrett), man sich also leicht einen gefährlichen Schlag holen kann.

Achtung: **Niemals einen Akkupack kurzschliessen! Dies kann zu schwersten Verletzungen, Bränden und hohen Sachschäden führen! In einen Akkupack gehört grundsätzlich eine Sicherung!**

Ein kurzgeschlossener Akkumulator entwickelt innerhalb kürzester Zeit ganz beträchtliche Mengen an thermischer Energie, was häufig zum Zerplatzen des Akkugehäuses führt und damit die Elektrolyte (z.B. Schwefelsäure) in weitem Umfeld verteilt. Besonders gefährlich sind hier auf höchste Impulsströme getrimmte Akkumulatoren mit kleinstem Innenwiderstand, also Autobatterien und Hochleistungsakkus aus dem Modellbau.

Ausserdem schmilzt ein kurzgeschlossener Autoakku innerhalb von Sekunden einen Schraubenschlüssel, welcher dann in Form von geschmolzenem Metall herumfliegt.

Deshalb gehört in jeden Akkupack eine Sicherung, die solche Unfälle verhindert. Eine träge 16A Feinsicherung oder ein entsprechender Sicherungsautomat leisten hier gute Dienste.

Natürlich kann man sich auch mittels eines Transformators die benötigte Niederspannung erzeugen, jedoch bringt das das Problem mit sich, dass man immer einen 230V~ Anschluss am Zündplatz haben muss, der auch jederzeit funktionieren sollte, was speziell im Feld nicht immer ganz einfach zu garantieren ist. Dem gegenüber steht der Vorteil, dass es niemals einen leeren Akku gibt.

Achtung: **Auf keinen Fall darf Netzspannung direkt zum Zünden verwendet werden! Solche Experimente können tödliche Folgen haben und erhebliche Sachschäden nach sich ziehen. Nur ein Fachmann kann die Gefahren, die von Mittel- und Hochspannung ausgehen realistisch beurteilen.**

Bleiben noch, sollten es die Gegebenheiten nicht anders zulassen, die Kondensatorzündmaschinen. (Natürlich kann man auch auf eine der traditionellen Federzug- oder Stossgriffzündmaschinen zurückgreifen, jedoch ist, von der schönen Optik abgesehen, das Verhältnis Gewicht / Preis / Leistung eher ungünstig.)



Abb. 7: verschiedene Kondensatorzündmaschinen der Zünderwerke Ernst Brunn®

(Bilder mit freundlicher Genehmigung der Firma Leopold Hartmann)

Eine geprüfte Maschine ist in der Pyrotechnik nicht notwendig, jedoch garantiert eine Prüfung (die wie ein TÜV in regelmäßigen Abständen erneuert werden muss) die einwandfreie Funktion der Maschine.

Kleine Zündanlagen, sollen sie selbstgebaut werden, betreibt man am besten mit Blei-Gel-Akkumulatoren, da diese wartungsfrei, lageunabhängig, unkompliziert zu Laden, hochstromfähig, billig und einfach verfügbar sind.

Stellt man höhere Anforderungen an die Komplexität der Choreographie werden zwangsläufig mehr Cues fällig, speziell wenn das Feuerwerk begleitend zu Musik geschossen werden soll. Wir bewegen uns nun in Bereichen um 30-150 Zündungen, je nach Länge und Größe des Feuerwerks. Hier kommen wir in den Bereich, der entweder bereits mit microprozessorgesteuerten Anlagen geschossen wird (mit fest einprogrammierter Show, speziell in Bereichen >100Cues) oder mit grossen Handzündanlagen. Das Unterscheidungsmerkmal zu den microprozessorgesteuerten Anlagen ist, dass hier keine feste Show mit den zu den Cues gehörigen Zeiten einprogrammiert ist, sondern der Feuerwerker selbst das „zeitgebende“ Element ist. Wie das Zündsignal zum Anzünder kommt ist bei dieser Betrachtung erst einmal nebensächlich, insofern zählen einige Funkzündanlagen und andere kabelgebundene Anlagen ebenfalls in diesen Bereich, obwohl die Zündbefehlübertragung durchaus von Microprozessoren abgewickelt wird. Standardmässig, lassen sich solche „grossen“ Zündpulte aber auch noch ohne übermässige Elektronik verwirklichen, dazu gehören vor allem die Zündanlagen mit →Multicores und →Breakoutboxen und →Matrixanlagen. Auch wenn man Anlagen dieser Größe selbst bauen kann, sollte man sich darüber klar sein, dass es viel Erfahrung, Geld und vor allem Geduld braucht, ein solches Projekt zu verwirklichen.

Bleiben nun noch die großen Großfeuerwerke, mit Cuezahlen >150 die heutzutage fast standardmässig mit microprozessorgesteuerten Zündanlagen abgebrannt werden, zumal solche Feuerwerke normalerweise eine hohe Musiksynchronizität und/oder komplexe Zündabläufe erfordern, welche mit herkömmlichen Zündanlagen nur mit extremem Aufwand zu realisieren wären. Zwar gibt es Firmen mit Handzündanlagen mit mehr als 500 Cues, aber das dürften eher Exoten sein. Solche Feuerwerke erreichen leicht einmal >2000 Cues, so dass hier nicht mehr das Zünden, sondern die Choreographie und die Logistik die große Herausforderung darstellen. Hier wird dann schon der Verschleißdraht zu einem nicht unbedeutenden Kostenfaktor.

Solche Zündanlagen selbst zu entwickeln, ist mit ganz erheblichem finanziellen und Zeitaufwand verbunden. Da dass das Ergebnis häufig den Ansprüchen in Bezug auf Robustheit, Sicherheit und Zuverlässigkeit nicht gerecht wird, ist es oft besser sich bestehenden Standards anzupassen.

8. Rechtliches:

In Deutschland müssen Anzündmittel eine BAM - ZZE - Zulassung haben, welche die Einhaltung bestimmter Parameter, wie Ansprech- und Nichtansprechstrom, notwendige Zündenergie, Widerstansfähigkeit gegen elektrostatische Entladung etc. garantiert. Zu jedem zugelassenen Anzünder gibt es ein Datenblatt, in dem die genauen Werte des Anzünders aufgeführt sind und das der Hersteller im Allgemeinen auf Anfrage zur Verfügung stellt.

Auf dem Markt sind immer wieder nicht zugelassene Anzünder zu finden, deren Werte sich zwar an denen der zugelassenen orientieren, jedoch auch ganz erheblich davon abweichen können! Geschieht aufgrund der Verwendung von derartigen Zündmitteln ein Unfall, hat das in der Regel ein sehr unangenehmes (versicherungsrechtliches) Nachspiel.

Für Nichtscheinhaber kommt die Verwendung eines nichtzugelassenen Anzünders der Verwendung von Feuerwerk der Klasse IV gleich.

Für Zündgeräte gibt es, sofern sie für Grossfeuerwerk verwendet werden, keine gesetzlich verankerten Vorschriften, sondern nur Richtlinien. Für Zündgeräte, die bei Indoorveranstaltungen genutzt werden, existieren verschiedene Unfallverhütungsvorschriften (z.B. die GUV - I - 812 (vorm. GUV 26.11)), in denen die Anforderungen an ein pyrotechnisches Zündsystem festgehalten sind.

Für Zündanlagen, die verkauft werden, gelten darüber hinaus natürlich noch die VDE - Vorschriften, sowie eine ganze Reihe spezieller Richtlinien für Elektrogeräte (RoHS-Richtlinien, Elektroaltgeräte-Entsorgungsvorschriften etc.).

Ganz im Gegensatz dazu sind die Zündmaschinen für die Sprengtechnik in den Kommentaren und Anlagen zum Spreng ganz genau reglementiert. Bei einem Selbstbau lohnt sich also auch der Blick in die entsprechenden Texte.

Auch wenn die Vorschriften für Indoor - Zündanlagen nicht für Grossfeuerwerks-Zündanlagen greifen, ist es mit Sicherheit kein Fehler, sich, will man ein eigenes Zündpult konstruieren, daran zu orientieren.

Im Einzelnen heißt dass:

- Die Zündung sollte mit Kleinschutzspannung durchgeführt werden (es sei denn, es sprechen gravierende Gründe dagegen (s.o.)).
- Die Auslöseschaltung muss aus mindestens zwei Schaltelementen bestehen, wovon mindestens einer ein Taster sein muss.
- Eine unbeabsichtigte und / oder unauthorisierte Zündung muss ausgeschlossen sein. Dies wird beispielsweise durch Einsatz eines Schlüsselschalters sichergestellt.
- Das Zündgerät muss den „elektrotechnischen Regeln“ nach GUV-V A2 entsprechen.
- Der Prüfstrom darf beim Zündertesten nicht mehr als 25mA betragen.
- Das direkte Zünden mit Netzspannung ist verboten.

Passiert aufgrund einer fehlerhaft konstruierten Zündanlage ein Unfall, so kann man davon ausgehen, dass die Anlage nach eben diesen Kriterien geprüft wird. Stellt sich dabei heraus, dass der Erbauer der Anlage diese (und/oder z.B. VDE - Vorschriften) ausser Acht gelassen hat, kann ihm durchaus eine Mitschuld zugesprochen werden, da der Richter immer anhand des „Standes der Technik“ und Vorschriften zu verwandten Themata urteilen wird. Und die sind, wo immer explosionsgefährliche Güter im Spiel sind, sehr streng.

Deshalb eine Warnung an alle, die sich berufen fühlen, ihre eigene Zündanlage zu konstruieren:

Man sollte sich immer vollkommen darüber im Klaren sein, womit man hier arbeitet. Einmal von der rein formal - juristischen Haftbarkeit abgesehen: eine abgerissene Hand oder ein erblindetes Auge oder gar Schlimmeres sind ein hoher Preis für die Ersparnis weniger Euro an einer Zündanlage.

Man sollte also, möchte man tatsächlich den Selbstbau wagen, sich angemessen Zeit nehmen. Ein solches Projekt, auch eine 30-Kanal - Kleinanlage ohne viel Schnickschnack, ist kein Wochenendprojekt.

Dazu gehört auf jeden Fall ein sorgfältig ausgearbeiteter und durchgerechneter Schaltplan, der auch dem entsprechen muss, was im Endeffekt gebaut wurde (!). Diesen Schaltplan sollte man, wenn man sich nicht zu 100% sicher ist, was man tut (und am Besten auch dann!) jemandem zeigen, der sich damit auskennt, und das nicht nur mal nebenbei, sondern richtig, mit viel Konzentration. Auch der beste Profi irrt sich einmal oder vergisst etwas...

Zusätzlich sollte man sich Gedanken machen, was passiert, wenn einmal ein Bauteil kaputt geht (beispielweise ein Schalter verschweisst); professionell heisst so etwas dann FMEA (Failure Mode and Effects Analysis).

Ein Richter wird im Falle eines Falles so etwas sicher verlangen, es lohnt sich also, sich vorher einmal Gedanken gemacht zu haben, damit es erst gar nicht so weit kommt.

Schliesslich sollte man beim Aufbau nicht sparen; wackelige fliegende Drahtverhaue, Platinensteckverbinder und Billig-Taster taugen zwar für den Basteltisch, haben aber im Feld nichts verloren. So etwas ist bestenfalls ärgerlich, wenn beispielsweise aufgrund einer schlechten Lötung die Show stehenbleibt, schlimmstenfalls - man kann sich das gar nicht oft genug ins Gedächtnis rufen - kann so etwas einen selbst oder einen Mitarbeiter das Leben kosten.

Man sollte darauf achten, dass die Komponenten die man verbaut auch wirklich den Anforderungen einer in Dreck und Matsch, Schnee und Regen eingesetzten, bei hohen Plus- und tiefen Minusgraden benutzten Anlage gerecht werden.

Man bekommt, wofür man bezahlt, dass gilt auch hier; und dass ein Steckverbinder mehr als 15 Pole besitzt, qualifiziert ihn nicht automatisch zum feldtauglichen Multicore-Stecker. Es ist kein Zufall, dass Profi-Equipment ganz beträchtliche Summen kostet.

Hat man dann seine Anlage entworfen und gebaut, sollte man das Ganze schon im Vorfeld des ersten Feuerwerks gründlich testen, damit es nicht, wenn es darauf ankommt, ein böses Erwachen gibt. (Dazu verwendet man am besten die selben Anzünder, die man auch später verwenden möchte.)

9. Zusammenfassung:

1. Da eine Anzündpille sehr empfindlich ist, soll man **mit Anzündern vorsichtig umgehen**, sie nicht fallen lassen und Effekte mit bereits montiertem Anzünder (One Shot Candles, vorbereitete Bomben etc.) mit besonderer Vorsicht behandeln. **Wo immer möglich** sollte man **Anzünder mit Plastikschtzhülse verwenden**. Man riskiert sonst bestenfalls Versager, schlimmstenfalls einen Unfall.
2. Bei Anzündern gilt: **Nur gleich zu gleich!** Werden mehrere Anzünder in einem Zündkreis verwendet, sollte man darauf achten, nur A- bzw. U – Anzünder zu verwenden, vorzugsweise von der gleichen Firma, idealerweise aus derselben Charge.
3. Wird mit einer Kondensatorzündmaschine gezündet, sollte man nur Reihenschaltung anwenden, ansonsten sollte man bei Parallelschaltung darauf achten, dass die beiden Äste annähernd gleichen Widerstand haben (+/- 10%). Beim Anschließen parallelgeschalteter Zündkreise diese vor dem Anklemmen separat testen (Punkt 4 und 7 beachten). **Angaben des Anlagenerstellers unbedingt beachten!**
4. **Wenn man testet, muss der Platz geräumt werden, als würde man sich feuerbereit machen**, denn ein Unfall z.B. durch ein defektes Messgerät ist schneller passiert als man denkt, speziell dann, wenn nicht zugelassene Anzünder verwendet werden. Muss, beispielweise weil eine Funkzündanlage verwendet wird, am Platz gemessen werden, sollte man besonders **darauf achten, dass man nicht in der Schusslinie derjenigen Effekte sitzt, die man gerade durchmisst**.
5. Anzünder mit beschädigtem Kopf nicht mehr verwenden
6. **Anzünder vor elektrostatischer Entladung schützen**. Zwar sollte eine Entladung nach dem DIN – Körpermodell die Pille nicht zum Auslösen bringen, jedoch gibt es einige Unfälle, deren Ursache nicht eindeutig geklärt ist, und die Vermutung nahe liegt, dass eine solche Entladung der Grund der vorzeitigen Zündung war. Besondere Vorsicht sollte man beim Abdecken verladener Gestelle mit Polyethylen – Folie walten lassen, da sich das Material durch das Abwickeln stark aufladen kann.
Allgemein gilt: Das Elektrostatikproblem stellt sich besonders an sehr trockenen Tagen. Am wirksamsten kann man ihm durch Kurzschliessen der Zünderdrähte begegnen. Naturgemäss sind auch U – Anzünder bedeutend robuster gegenüber etwaigen Entladungen. Das ist aber kein Schutz vor einem Durchschlag der Entladung von der (kurzgeschlossenen) Glühbrücke zu einem geerdeten Metallgegenstand ausserhalb der Pille durch den Primärsatz! Manche Anzünder haben eine schwach leitfähige - oft silberfarbige - Aussenlackierung die die Anschlussdrähte kontaktiert und damit innerhalb der Pille einen Faradayschen Käfig bilden. Die Lackierung leitet solche Entladungen dann auf der Aussenseite der Pille zur Erde ab.
7. **Messgeräte, die zum Testen eines fertigen Aufbaus verwendet werden, müssen einen Teststrom von <10mA aufweisen**. Dies ist der von den Herstellern empfohlene maximale Teststrom. Am sichersten, speziell, wenn man sich beim Testen in unmittelbarer Nähe zum verzünderten Effekt aufhält, fährt man mit (zugelassenen) Zündkreisprüfern für die Sprengtechnik, die zwar nicht ganz billig sind, aber eine ganze Reihe von Sicherheitsschaltungen besitzen, so dass sie auch im Falle einer Fehlfunktion keine Zündung auslösen können.
Man sollte beachten, dass die Verwendung zugelassener Zündkreisprüfer in der Pyrotechnik zwar nicht vorgeschrieben ist, man jedoch im Falle des Unfalles am Stand der Technik – in diesem Fall der Sprengtechnik – gemessen wird, verwendet man also andere Geräte, kann es durchaus passieren, dass man Schwierigkeiten mit seiner Versicherung bekommt.
8. **Bei aufziehendem Gewitter muss sofort jeder Aufbau eingestellt werden**, da durch Erdströme naher Blitzeinschläge die Anzünder unkontrolliert auslösen können.



Abb. 8: ein für Sprengarbeiten zugelassener Zündkreisprüfer (zu Punkt 7)

(Bild mit freundlicher Genehmigung der Firma Leopold Hartmann)

10. Verwendung von Anzündern:

Es ist wichtig, sehr vorsichtig mit den Anzündern, besonders bei der Montage, umzugehen. Ein starker Stoß kann – wegen des empfindlichen Primärsatzes – zu einer Entzündung der Pille führen, und dies um so leichter, je härter der auftreffende Gegenstand und das Wiederlager sind. Vorsicht ist vor allem bei italienischen Zylinderbomben geboten, bei denen man den Anzünder kurz oberhalb der Spoletta (Verzögerung der Bombe) in der Stoppine anbringt. Da diese Bomben häufig recht stramm in die Rohre passen, wird gerne mit einem Stück Holz (oder was eben sonst so herumliegt) nachgeholfen. Kommt einem dabei die Zündpille in die Quere, zerstört man im besten Fall die Pille, im schlimmsten Fall kann es zur Zündung kommen.

Grundsätzlich gilt: Wann immer möglich, Anzünder mit Plastikschutzhülse verwenden!

Speziell bei musiksynchronen Pyromusicals ist ein Einbringen des Anzünders direkt in die Ausstoßladung am sinnvollsten, da die Verzögerung der Stoppine entfällt. Werden die Anzünder am Ende der Stoppine angebracht, spart man zwar Draht, jedoch ist ein genaues Setzen von Cues, passend zur Musik, beinahe unmöglich. Allerdings darf diese Methode nur für Kugelbomben angewandt werden, die ihre Verzögerung unten, also direkt in der Ausstoßladung haben (manche (v.a. großkalibrige) Kugelbomben italienischer und spanischer Provinienz sowie Zylinderbomben haben ihre Verzögerung an der Oberseite, häufig daran zu erkennen, dass die Bomben eingepackt sind wie Bonbons. Im Zweifel entweder nachschauen oder die Stoppine so kurz wie möglich abschneiden und von oben zünden).



Abb. 9: eine großkalibrige Zylinderbombe, von oben verzündert



Abb. 10: Kugelbomben aus Spanien mit Verzögerung oben

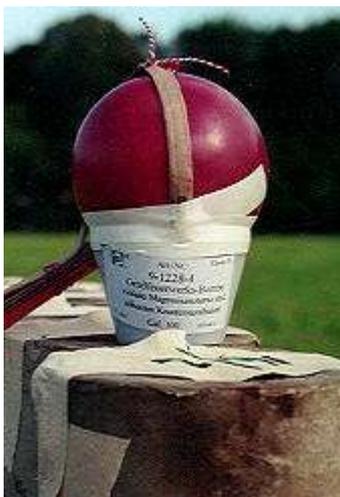


Abb. 11: Kugelbombe mit Hartplastikschale



Abb. 12: italienische Kugelbomben

(Bilder mit freundlicher Genehmigung von Markus Klatt - FEUERWERK.net)

Auch hier verwendet man am Besten Pillen mit Hülse, da diese weniger empfindlich reagieren, wenn die Bombe (ggf. etwas zu schnell) in den Mörser hinabgelassen und „nachgestochert“ wird oder der Anzünder durch ein zu kleines Loch in die Ausstoßladung gepresst wird.



Abb. 13: Kugelbombe mit Verzögerung unten



Abb. 14: Stechen des Anzünderloches



Abb. 15: eingesetzter Anzünder



Abb. 16: Anzünder mit Klebeband gesichert

Bei vielen Bomben sind sowohl die Bomben selbst als auch die Treibladung nochmals zusätzlich in kleine Kunststofftütchen eingepackt. Diese werden bei obiger Methode beide zerstört (speziell muss auch der Treibladungsbeutel durchstochen werden, um eine sichere Zündübertragung von der Pille auf die Treibladung zu gewährleisten); befürchtet man, dass sich Wasser in den Rohren sammelt, (etwa durch Kondens- bzw. Regenwasser oder durch undichte Rohrböden eindringende Bodenfeuchtigkeit) kann die Methode des Zünderns in die Stoppine zusätzliche Sicherheit bringen. Alternativ kann man aber auch die Bomben nach dem Zündern wieder in Kunststofftüten verpacken.

Will man gedeckte Stoppine mit einem Zünder versehen steckt man die Zündpille (mit Hülse) ca. eine Fingerlänge in den Papierschlach (Achtung: darauf achten, dass die Pille auch wirklich direkt neben der Stoppine zu liegen kommt und nicht etwa in einer anderen Papierlage). Nun kann man das Ende entweder mit einem Klebeband abkleben (als besonders haltbar und wasserdicht hat sich braunes Packband erwiesen), oder das Ende umschlagen und mit einem Drahthalbschlag sichern (siehe Bilderserie). Dieser Halbschlag dient gleichzeitig noch als Zugentlastung und ist mit etwas Übung die schnellste Art, einen Anzünder in eine Stoppine zu montieren.



Abb. 17: Entfernen der Anfeuerung



Abb. 18: Einsetzen des Anzünders



Abb. 19: Sichern mittels Klebeband



Abb. 20: Sichern mittels Halbschlag
Bild 1



Abb. 21: Sichern mittels Halbschlag
Bild 2



Abb. 22: Sichern mittels Halbschlag
Bild 3

Bei Batterien, bei denen die Anfeuerung aus Viscofuse (grüne Zündschnur) besteht, gibt es verschiedene Möglichkeiten:

1. In einen Anzünder mit Querloch bringt man ein ca 3-4 cm langes Stück Anzündlitze und knickt diese nach beiden Seiten ab. Dann wird das Ganze neben die Viscofuse gelegt und mit Klebeband gesichert. Dies ist die einzige Möglichkeit, die dem Nichtscheinhaber erlaubt ist, da hier keine baulichen Veränderungen an den pyrotechnischen Gegenständen vorgenommen werden müssen. Allerdings ist sie nicht besonders genau.

Statt Anzündlitze kann der Scheinhaber auch Matchtape verwenden, was oftmals schneller geht. Wichtig ist in jedem Fall das gründliche Abkleben mit Aluminiumfolie, um ein eventuelles, vorzeitiges Zünden zu verhindern.



Abb. 23: Zündern einer Batterie KI II
Anbringen der Anzündlitze



Abb. 24 Anlegen des Anzünders



Abb. 25: Verwendung von Matchtape
statt Anzündlitze



Abb. 26: Überkleben mit Aluminiumfolie

2. Besonders bei kleinkalibrigen Boxen (Kl. II Cakeboxen o.ä.) sollte man die Viscofuse so nahe wie möglich am ersten Rohr schräg abschneiden und den Anzünder, den man vorher in ein ca. 2-4 cm langes Stück Stoppine eingebracht hat, darüberschieben und mit Klebeband sichern. Alternativ kann man zum Abkleben auch einfach Matchtape verwenden und die Stoppine weglassen und nachher noch mit Papierklebeband und/oder Alufolie zum Schutz vor Funken überkleben.



Abb. 27: schräges Abtrennen der Viscofuse



Abb. 28: Ansetzen des Anzünders



Abb. 29: Abkleben mit Matchtape



Abb. 30: Funkenschutz mit Aluminiumfolie

3. Bei großkalibrigen Batterien (Kal. 45mm und darüber) kann man auch die Viscofuse durch den Anzünder ersetzen. Dazu das Loch vorsichtig mit einem geeigneten Werkzeug (also antistatisch und nicht funkenreissend, besonders eignen sich Zündkanalstecher aus der Sprengtechnik oder ein angespitzter Hartholzstab) vergrößern, bis man Anzündpille mit Hülse hineinbekommt, danach abkleben. Darauf achten, dass der Verzögerer der Bombette (falls vorhanden) oder der Komet nicht beschädigt werden und die Treibladung nicht durch das Loch herausrieselt.

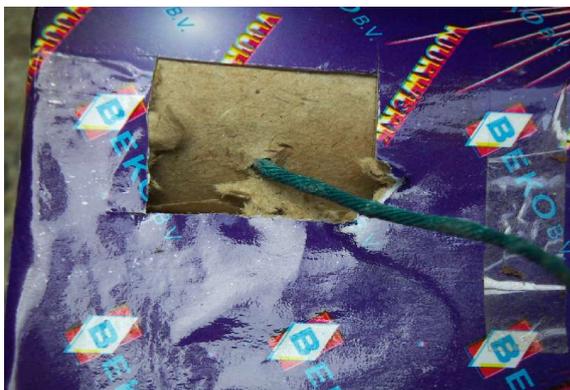


Abb. 31: Freilegen der Zündschnur



Abb. 32: Abtrennen der Zündschnur



Abb. 33: Aufweiten des Loches

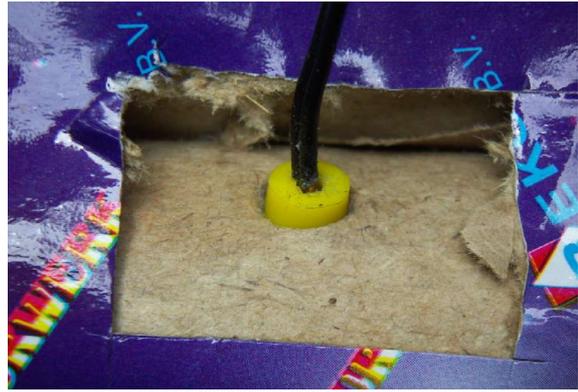


Abb. 34: Einbringen des Anzünders



Abb. 35: Sichern des Drahtes



Abb. 36: Abdichten

Kl. IV Batterien besitzen normalerweise eine Stoppine, hier geht man analog zu den Bomben vor.

Bei Römischen Lichtern, die nicht werksseitig mit einer Stoppine versehen sind, führt man ein ca. 20 cm langes Stück ungedeckter Stoppine durch das Querloch eines Anzünders und bringt diese in das Römische Licht ein. Alternativ kann, besitzt die Hülse des Anzünders kein Querloch, ein Stück ungedeckter Stoppine mittels Papierklebeband an der Hülse befestigt werden bzw. die Stoppine angeknötet werden.

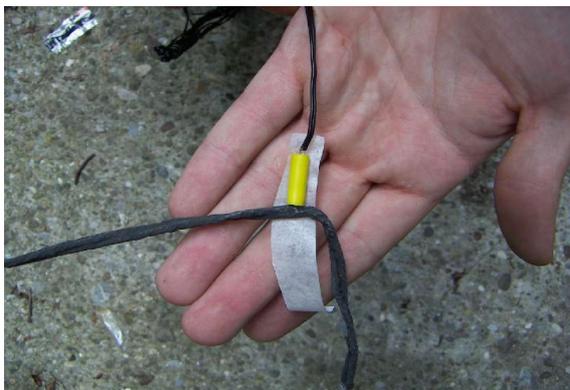


Abb. 37: Anbringen der Stoppine Schritt 1

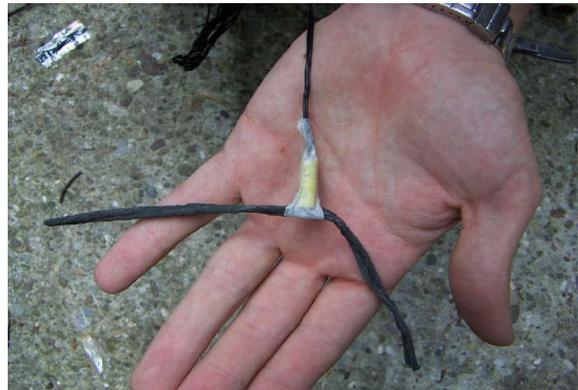


Abb. 38: Anbringen der Stoppine Schritt 2

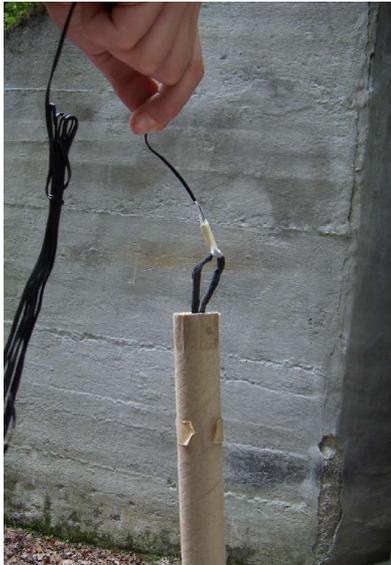


Abb. 39: Einbringen in das röm. Licht



Abb. 40: Abdecken mit Aluminiumfolie



Abb. 41: Sichern mit Klebeband

Vulkane, Fontänen, Bengalartikel etc. werden am einfachsten nach Methode 1 für Cakeboxen verzündert, wobei hier die Anzündlitze auch durch ungedeckte Stoppine ersetzt werden kann.

Oneshots haben in der Regel entweder bereits einen Anzünder eingebaut (Achtung: dann entweder nur Oneshots der gleichen Firma zusammen verwenden oder entsprechend die Anzünder austauschen) oder haben ein vorbereitetes Loch zur Aufnahme des Anzünders. Zum Verzünden schiebt man die Pille (mit Hülse) so weit hinein, dass das Ende der Hülse mit der Aussenwand des Oneshots bündig ist. Zum Schutz vor Feuchtigkeit sollte man das Ganze noch mit Klebeband abdichten. Dabei den Draht nach unten wegführen (verhindert, dass Kondens- oder Regenwasser welches am Oneshot herunterläuft, in die Treibladung gelangt).

Ist das Loch zu groß, schiebt man den Anzünder ganz hinein und klebt besonders gründlich ab. Speziell hier sollte man keine Anzünder ohne Hülse verwenden, da der Kopf sonst häufig beschädigt wird.

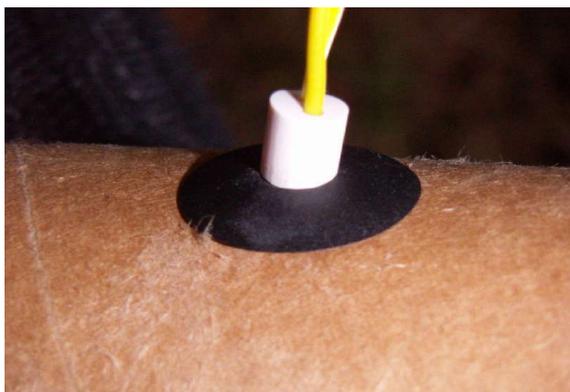


Abb. 42: Anzünder mit Hülse im Oneshot



Abb. 43: Oneshot verzündet und abgeklebt

Bei Feuertöpfen sollte man, wenn möglich, den Anzünder ins Innere der Treibladung bringen, da sie häufig sehr genau zünden müssen. Je nach Feuertopf ist das aber nicht immer möglich, sollte die Treibladung nicht einfach zugänglich sein (zum Zünden nicht den ganzen Artikel delaborieren!), die Stoppine so kurz wie möglich abschneiden und wie bei den Bomben verfahren.



Abb. 44: typischer Feuertopf zum Verladen in Mörserrohre

(Bild mit freundlicher Genehmigung von Markus Klatt - FEUERWERK.net)

Will man zwei Drähte - beispielsweise die Anschlussdrähte des Anzünders mit einem Verlängerungsdraht - verbinden, kann man das auf konventionelle Art und Weise tun und sie verdrillen oder man verwendet Schneidklemmverbinder (z.B. Schotchklok™ der Firma 3M® o.ä.). Diese haben den Vorteil, dass man die Drähte nicht abzuisolieren braucht, da der Verbinder das beim Zusammenpressen selbst erledigt. Ausserdem sind sie in der Regel fettgefüllt, so dass keine Feuchtigkeit an die Verbindung selbst gelangen kann.

Dem gegenüber stehen die Nachteile, dass solche Verbinder zum einen nicht ganz billig sind und zum anderen speziell die grösseren Exemplare für 3 Drähte nur sicher mit einer speziellen Zange zu verpressen sind. Gerade bei solchen Verbindern gestaltet sich eine Fehlersuche oft recht aufwändig, da Fehler oftmals nicht so offensichtlich sind, wie bei konventionell verdrillten Drähten. Ganz wichtig ist es, die Drähte immer bis zum Anschlag einzuschieben, da sonst eine leitende Verbindung nicht hergestellt werden kann. Eine Zugentlastung ist bei Schneidklemmverbindern nicht unbedingt notwendig, dient aber der zusätzlichen Sicherheit und ist mittels einfachem Verknoten leicht herstellbar.

Man sollte noch auf den Klemmbereich der Verbinder achten: Schneidklemmverbinder können nur eindräftige (!) Leiter mit einem relativ kleinen Toleranzbereich sicher verbinden. Wenn die im Feld existierenden Drahtdurchmesser zu stark voneinander abweichen (z.B. 0,5mm und 0,8mm) wird es sehr schwierig, einen Verbinder zu finden, der beide Durchmesser noch zuverlässig klemmt. Die Klemmbereiche und ausserdem die zugelassenen Drahtwerkstoffe und Isolationspezifikationen findet man im zugehörigen

Datenblatt, welches vom Hersteller bereitgestellt wird.

Die einfachste Methode zwei Drähte zu verbinden ist, sie zu verdrillen. Dabei spielt weder der Durchmesser noch das Material der Drähte eine Rolle.

Man entmantelt die Drähte auf 3-4cm Länge, am Besten mit einer Abisolierzange, welche vorher auf den Drahtdurchmesser eingestellt wurde oder einer selbsteinstellenden Zange. Mann muss besonders darauf achten, dabei keine Marken/Kerben auf dem Leiter zu hinterlassen, da an einer solchen Schwachstelle der Leiter gerne abbricht. So etwas passiert schnell, wenn man beispielsweise mit einem Seitenschneider oder einem Messer arbeitet.

Dann hält man die beiden Drähte so, dass sich die abisolierten Enden kreuzen und verdreht sie mindestens über eine Länge von 1cm miteinander. Mehr Windungen bringen zwar keinen besseren Übergangswiderstand, aber mehr Stabilität. Die kurzen Drahtenden sollte man zur Verminderung der Verletzungsgefahr abknipsen, sonst sticht man sich sehr gerne daran.

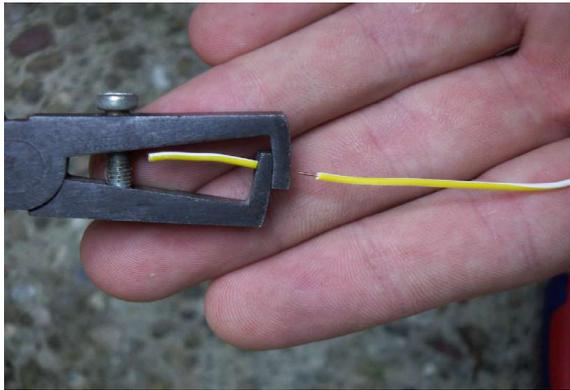


Abb. 45: Abisolieren des Drahtes mit geeignetem Werkzeug

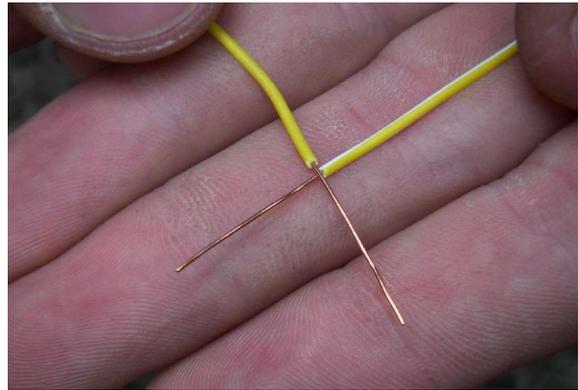


Abb. 46: Kreuzen der Drahtenden

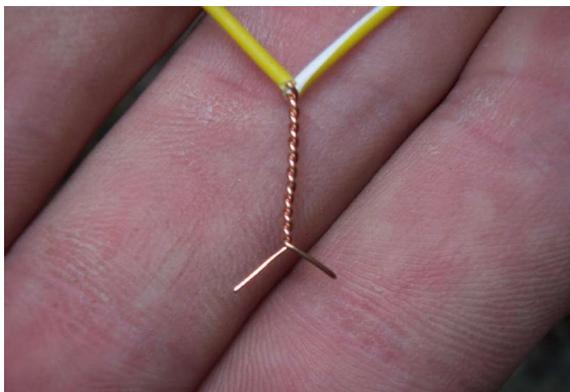


Abb. 47 Verdrillen



Abb. 48: Einfache Zugsicherung

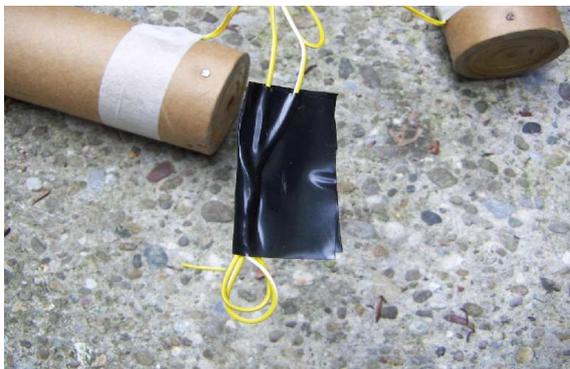


Abb. 49: Abkleben

Bei Drahtverlängerungen kann man entweder die Enden jeweils in die entgegengesetzte Richtung biegen und mit dem in diese Richtung verlaufenden Draht nochmals verdrehen und gegebenenfalls mit Klebeband isolieren,

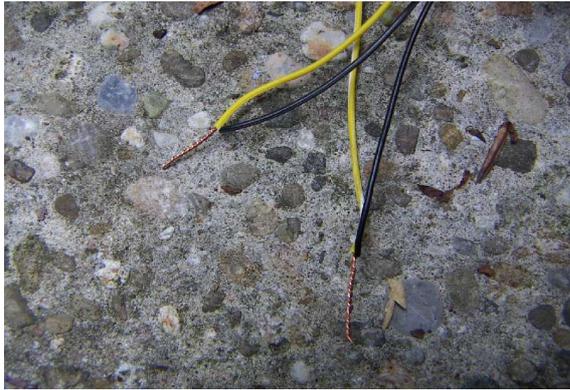


Abb. 50 Verdrillter Doppeldraht

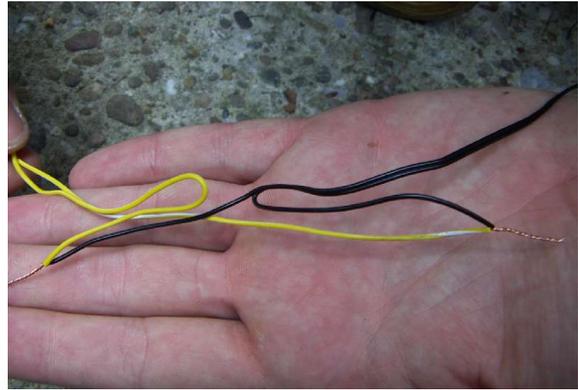


Abb. 51: Biegen in entgegengesetzte Richtungen

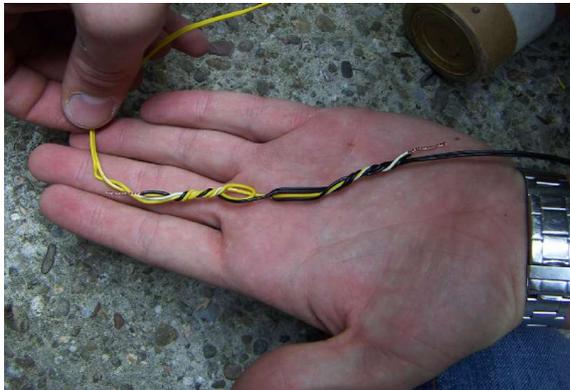


Abb. 52: Verdrillen

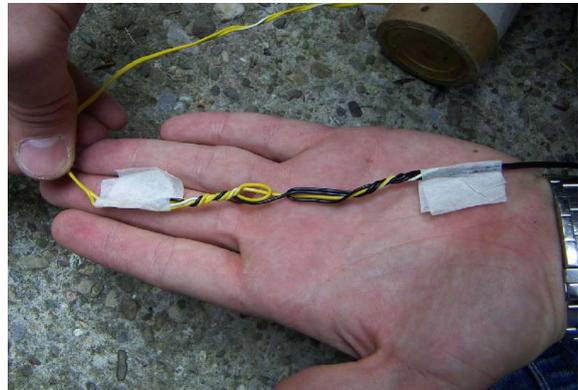


Abb. 53: Abkleben

oder man verknotet die beiden verdrehten Drähte mittels eines einfachen Sackstiches und schiebt ein Stück abgeschnittenen Strohhalms darüber (alternativ Klebeband), welches man dann mit Draht einmal umknickt, damit es nicht wieder herunterfällt.

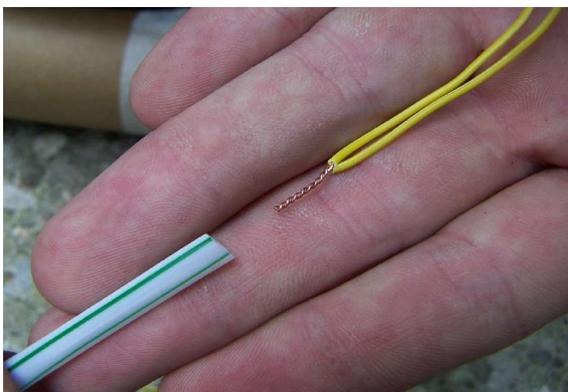


Abb. 54: Verdrillte Leiter und Strohalm-
abschnitt

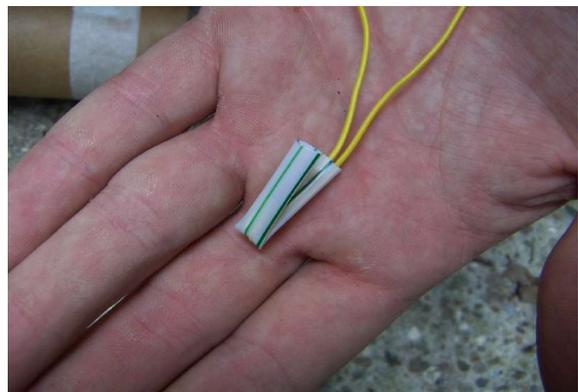


Abb. 55: Abknicken des Strohalm-
abschnitt



Abb. 56: Sicherung mittels Sackstich

Ein Verbinden mit Schneidklemmverbinder ist vor allem dann sinnvoll, wenn die Verbindungen längere Zeit bestehen müssen (wenn beispielsweise einige Effekte schon Wochen vorher vorbereitet werden), wenn die Verbindungen stark der Feuchtigkeit oder korrosiver Atmosphäre ausgesetzt werden (bei Feuerwerken am Wasser, speziell am Meer) oder wenn es einmal sehr schnell gehen muss.

Man sollte beachten, dass nicht alle Verbinder auf dem Markt brandhemmend sind. Also Vorsicht bei Verwendung in unmittelbarer Nähe zu Frontstücken o.ä. aber auch, wenn die Verbinder im Mörserrohr zu liegen kommen, weil die Anzünderanschlussdrähte zu kurz waren. Hier lieber auf Verdrillen zurückgreifen, sonst kann es in seltenen Fällen dazu kommen, dass der Verbinder Feuer fängt. Dass die Isolation der Verlängerungsdrähte dann natürlich →brandhemmend oder zumindest →selbstverlöschend sein sollte, versteht sich von selbst.



Abb. 57: verschiedene Schneidklemmverbinder



Abb. 58: Schneidklemmverbinder mit Verpresszange



Abb. 59: Drähte müssen bis zum Anschlag eingeführt werden



Abb. 60: Vollständig verpresster Verbinder



Abb. 61: Zugentlastung mittels Sackstich

Beim Sichern der Verbindung gegen Zug wie oben mit Hilfe eines Sackstichs ist allerdings Vorsicht geboten: Nicht alle Drahtmaterialien vertragen so eine raue Behandlung. Speziell Stahldraht, gern als Verschleiß- oder Schondraht in der Sprengtechnik eingesetzt, wo er aufgrund seiner höheren Zugfestigkeit beim Einbringen der Ladungen in die Bohrlöcher Vorteile bringt, nimmt ein Verknoten oftmals (besonders bei niedrigen Temperaturen) übel und kann brechen. Verknoten sollte man also nur bei reinem Kupferdraht anwenden und die Knoten brauchen dann auch nicht ganz fest zugezogen werden (Achtung: Stahldraht aus der Sprengtechnik sieht auch kupfern aus, denn er wird zum Korrosionsschutz und zur Verbesserung des ubergangswiderstandes verkupfert).

11. Glossar:

Ansprechstrom: Wird der Anzünder von einem Strom durchflossen, der mindestens diese Stärke hat, muss er nach Vorschrift nach maximal 10ms gezündet haben.

Anzünder: Synonym für Brückenanzünder, Zündpille, Brennmomentzünder oder pyrotechnischer Anzünder. Er besitzt im Gegensatz zum (Spreng-) Zünder eine pyrotechnische Beiladung, die lediglich eine Flamme, nicht jedoch eine Detonationsdruckwelle an seine Umgebung abgibt.

BAM: Abkürzung für die in Berlin ansässige Bundesanstalt für Materialprüfung; die BAM ist die in Deutschland für die Zulassung von Feuerwerks- und Zündartikeln zuständige Stelle.

brandhemmend: Ein Gegenstand wird als b. bezeichnet, wenn er auch bei Flammeinwirkung selbst nicht zu brennen anfängt.

Breakoutbox: Ein Gehäuse mit Anschlussklemmen für Zündkreise. Eine B. stellt im Feld die Verbindung von Zündanlage und Feldverkabelung her, meistens zu einem →Multicore, welches die Aufgabe hat, Verbrauchsdraht einzusparen, indem man wiederverwendbares Kabel verlegt.

DIN-Körpermodell: Für die elektrostatische Entladung; eine, dem durchschnittlichen menschlichen Körper entsprechende Kapazität mit definiertem Ableitungswiderstand. Dieser Testaufbau wird auf eine Testspannung aufgeladen und in verschiedenen Arten auf die Zündpille aufgebracht. In der 1. Anlage zur 1.SprengV wird die Entladung eines auf 25kV geladenen Kondensators mit einer Kapazität von 500pF über einen 5kOhm-Widerstand über den Anzünder ohne Auslösung vorgeschrieben.

funkenreissend: Ein Gegenstand wird als f. bezeichnet, wenn er aus einem Material besteht, welches beim Kontakt mit einem anderen harten Gegenstand dazu neigt, winzige Splitter oder Abrieb abzugeben, welche dann mit dem Luftsauerstoff pyrophor reagieren und als Funken sichtbar werden. Als f. sind z.B. alle Gegenstände aus Stahl einzustufen. Nicht f. sind beispielsweise Gegenstände aus Kupfer, Messing, Blei oder Holz.

Glühbrücke: Strecke aus Widerstandsdraht, meist aus Chromnickeldraht, welcher sich wie bei einer Glühbirne erhitzt, wenn er von Strom durchflossen wird und damit den →Primärsatz zündet.

Grenzwiderstand: Maximaler Widerstand, bei dem die sichere Zündung mit einer bestimmten Zündmaschine noch sichergestellt ist. Bei neueren Maschinen bezieht er sich immer auf Zünder mit U - Charakteristik, bei alten Maschinen (speziell bei Stossgriffmaschinen) ist der Wert noch für A - Zünder angegeben.

Innenwiderstand: Der Widerstand einer Stromquelle, der das Nachliefern von Strom begrenzt. Dieser Widerstand ist bauartbedingt und Grund der Tatsache, dass reale Stromquellen bei hoher Strombelastung einen Abfall der Ausgangsspannung zeigen.

Matchtape (Stickymatch): Plastik- oder Papierklebeband, welches in der Mitte eine Spur aus Schwarzpulver besitzt. Wird das Klebeband zu einem Schlauch zusammengefaltet ergibt sich im Prinzip eine gedeckte →Stoppine.

Matrixanlage: Eine Zündanlage, welche ihre Zündkanäle über eine Diodenmatrix kodiert und damit eine sehr gute Kabelausnutzung ermöglicht. Bei einer M. können beispielsweise über ein 24 poliges Kabel 12*12 = 144 Kanäle angesprochen werden.

Microprozessor: Kleine, meist programmierbare Recheneinheit, welche heute in allen Bereichen der Elektronik zum Steuern von Prozessen und Abläufen eingesetzt wird. Ein M. erlaubt eine wesentlich fehlersicherere Implementierung von Steuerungen als Programme auf einem PC, da die Anzahl an miteinander kommunizierenden Softwareebenen wesentlich geringer ist, das Programm also deutlich hardwarenäher abläuft.

Modul: →Breakoutbox einer microprozessorgesteuerten Zündanlage. In einem M. ist zusätzlich zu den Klemmen auch noch die Ansteuerungselektronik der Zündanlage und manchmal auch noch ein Energiespeicher untergebracht.

Multicore: Ein Kabel welches mehrere Adern hat, im Allgemeinen soviele Adern wie beabsichtigte Cues plus eine gemeinsame Masseleitung.

NiCd: Abkürzung für Nickel-Cadmium, (ältere) Akkumulatorentechnologie, welche verbreitet in hochstromfähigen Klein-Akkupacks, z.B. für Elektrowerkzeuge oder im Modellbau eingesetzt wird.

Nichtansprechstrom: Wird der Anzünder von einem Strom dieser Stärke durchflossen, ist garantiert, dass auch ein längeres Anliegen (5 min.) dieses Stroms den Anzünder nicht zum Auslösen bringt.

NiMH: Abkürzung für Nickel-Metall-Hydrid. Neuere Akkumulatorentechnologie mit höherer Leistungsdichte als →NiCd-Akkumulatoren.

Plasma: Ionisiertes Gas, also Gas, bei dem durch Energiezufuhr ein oder mehrere Elektronen aus der Schale der Gasatome geschlagen wurden und das deshalb leitet. Die Energie kann in Form von Strahlung, chemischer Reaktionswärme oder elektrischer Energie zugeführt werden.

Primärsatz: Pyrotechnischer Satz, welcher die Zündübertragung vom relativ schwachen Zündimpuls der →Glühbrücke an den umgebenen Satz weitergibt und verstärkt.

pyrophor: Bezeichnet die Eigenschaft, mit Luftsauerstoff selbstentzündlich zu reagieren, das also für die Entzündung keine weitere Aktivierungsenergie mehr vornöten ist, als die durch die (anfänglich langsame und nicht unter Verbrennung stattfindende) Oxidation des Materials eingetragene Reaktionswärme.

Schneidklemmverbinder: Vorrichtung, bei der eine im Verbinder eingebaute V-förmige Schneide zuerst die Isolation des Drahtes durchdringt und dann den Leiter einklemmt. Die Schneide verformt sich dabei elastisch, so dass eine ganz hervorragende Rüttelsicherheit des Kontaktes und eine gasdichte Verbindung erreicht wird; der Toleranzbereich der Drähte und der Verbinder ist jedoch aufgrund der sehr kleinen elastischen Verformung der Schneide recht eng.

selbstverlöschend: Ein Gegenstand wird als s. bezeichnet, wenn er bei unmittelbarem Flammenkontakt zwar abbrennt, wird diese Flamme jedoch entfernt, so hört der Gegenstand auf zu brennen. Viele Drahtisolationen z.B. aus PVC sind s. ausgelegt.

Stoppine: Meist Baumwollschnur, welche mit einem schwarzpulverähnlichen Satz ummantelt ist und im Allgemeinen zur Anfeuerung eingesetzt wird. Gedeckte S. ist zusätzlich mit einem lose passenden Papierschlauch umgeben, durch den die heißen Gase in Abbrandrichtung durchschlagen können. Dadurch erreicht gedeckte S. Abbrandgeschwindigkeiten von bis zu 15 m/s

Zünder: Grundsätzlich ein Anzünder, der zusätzlich zum pyrotechnischen Satz der Pille noch eine Beiladung aus Initialsprengstoff und eine weitere Beiladung aus brennendem Sprengstoff besitzt. Als Initialsprengstoff werden normalerweise Bleiazid, Bleitrinitroresorcinat oder Tetrazen (häufig gemischt) eingesetzt. Als Sekundärsprengstoff verwendet man PETN oder Tetryl. (Spreng-)Zünder sind hoch gefährlich und finden in der Pyrotechnik (ausser für die Verwendung in Spezialeffekten) grundsätzlich keine Verwendung.

Zündkanalstecher: Dorn, meist aus Kupfer oder Messing, um ein Loch in gelatinöse Sprengstoffpatronen zu stechen, welches später den →Zünder aufnimmt. Z. sind aufgrund der verwendeten Materialien nicht funkenreissend und deshalb auch für die Verwendung in der Pyrotechnik bestens geeignet.

Zündkreisprüfer: Im wesentlichen ein Ohmmeter, jedoch mit speziellen Schutzbeschaltungen, welche auch im Falle einer Fehlfunktion oder mechanischen Defekts des Geräts ein Abgeben eines zum Zünden geeigneten Stromes verhindern. Z. müssen geprüft und zugelassen sein, sollen sie für die Sprengtechnik verwendet werden.

Zündpille: Siehe Anzünder.

Copyright: Thomas Perthen 2007

Obwohl es eigentlich selbstverständlich sein sollte, weise ich nochmals ausdrücklich darauf hin, dass der Umgang mit pyrotechnischen Gegenständen mit einem erheblichen Risiko verbunden sein kann und deshalb fachkundigen Personen vorbehalten bleiben muss. Selbstverständlich ist auch ein äusserst sorgfältiges und verantwortungsbewusstes Arbeiten nötig.