

1.2 Schaltgeräte

Geräte, in denen Strompfade verbunden, unterbrochen bzw. getrennt werden, lassen sich unter dem Sammelbegriff «Schaltgeräte» zusammenfassen. Zu den Schaltgeräten gehören außer den Schaltern auch Anlasser, Steckvorrichtungen und Sicherungen. Zur Verhütung von Schäden und Unfällen müssen alle Schaltgeräte, die sowohl für die Funktion als auch für die Sicherheit einer elektrischen Anlage von größter Bedeutung sind, den Anforderungen nach **DIN VDE 0660** und anderen Normen genügen. Danach müssen Schaltgeräte den betriebsmäßig auftretenden Strömen und mechanischen Beanspruchungen gewachsen sein, ohne Schaden zu nehmen und ohne die Sicherheit zu gefährden.

1.2.1 Schaltkontakte

Zu den stör anfälligsten Bauteilen der Schaltgeräte zählen die Kontakte. Die gebräuchlichsten Kontaktarten sind Druckkontakte nach Bild 1.9, wie sie z.B. bei Druck Tastern und Mikroschaltern verwendet werden. Auch reibende Kontakte, wie z.B. Walzenschaltkontakte und Messerkontakte, sind gebräuchlich. Eine besondere Art des Kontaktes ist der Quecksilberschaltkontakt nach Bild 1.10. Die festen und beweglichen Kontaktstücke unterliegen während des Schaltvorganges mehr oder weniger starken Funken- oder Lichtbogenbeanspruchungen, die Veränderungen auf der Kontaktoberfläche zur Folge haben. Auch bei geschlossenen Kontakten kann bereits durch den Betriebsstrom infolge einer hohen Stromdichte in der Übergangsstelle eine merkliche Erwärmung auftreten. Bei dem Druckkontakt in Bild 1.9 ist ersichtlich, dass die Berührungsflächen nicht plan aufeinander liegen. Der Stromübergang erfolgt, bedingt durch die Oberflächenrauheit und Unebenheit der Kontakte, nur an wenigen Stellen.

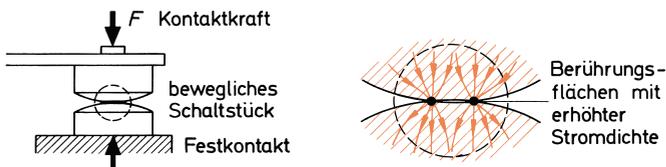


Bild 1.9 Schaltkontakt (Druckkontakt)

Die Erwärmung ist abhängig von der Größe des Übergangswiderstandes, und sie nimmt quadratisch mit ansteigendem Strom zu. Es ist also ein kleiner Übergangswiderstand anzustreben.

Der *Übergangswiderstand* wird aus dem Engewiderstand und dem Fremdwiderstand gebildet.

Der *Engewiderstand* entsteht an der Stelle der Querschnittseinengung infolge kleiner Berührungsflächen zwischen den Kontakten. Durch glatte Kontaktoberflächen, vorgeschriebenen Kontaktdruck, entsprechende Härte und gute Leitfähigkeit des Kontaktwerkstoffes lässt sich der Engewiderstand positiv beeinflussen.

Der *Fremdwiderstand* wird durch Fremdstoffe oder Verunreinigungen und durch Oxidschichten mit schlechter Leitfähigkeit an der Kontaktoberfläche gebildet.

Durch das Ölen von Kontakten wird der Fremdwiderstand vergrößert. Den größten Schutz gegen Verunreinigungen bieten Schutzrohrkontakte, die in einem Glasrohr gasdicht eingeschmolzen sind (Reedrelais- und Quecksilberschaltkontakte).

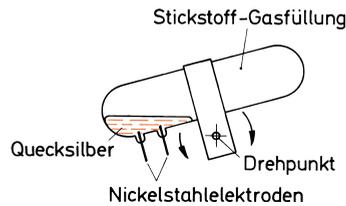


Bild 1.10 Quecksilberschaltkontakt

Außer einem kleinen Übergangswiderstand im kalten wie auch warmen Betriebszustand werden an Schaltkontakte weitere Anforderungen gestellt, wie z.B.:

- gute elektrische Leitfähigkeit, um niedrige Verlustleistungswerte zu erreichen;
- hohe Wärmeleitfähigkeit zwecks besserer Kühlung;
- geringe Neigung zum Verschweißen sowie zur Werkstoffwanderung;
- hohe mechanische Verschleißfestigkeit und
- hohe chemische Beständigkeit.

Diese Eigenschaften erhält man vor allem durch entsprechende Kontaktwerkstoffe.

Kontaktwerkstoffe

Für Steuerstromkreise kommen hauptsächlich Kontakte mit Überzügen aus *Feinsilber* (Ag, lat. Argentum) oder Silberbronzes in Frage, da Silber und Silberoxide elektrisch und thermisch relativ gut leiten.

Silber-Kadmium-Legierungen verringern die Neigung zum «Kleben» der Kontakte, werden aber aus Gründen der Umweltverträglichkeit nicht mehr verwendet. Stattdessen finden *Silber-Nickel-* und *Silber-Zinn-Legierungen* Verwendung.

Silber-Palladium erhöht die chemische Beständigkeit.

Wolfram-Kontakte sind sehr abbrandfest; sie werden bei großen Schaltheufigkeiten, z.B. an Reglern, eingesetzt.

Kupferkontakte finden in der Starkstromtechnik Verwendung. Auf der Kontaktoberfläche bilden sich Kupferoxide. Da sich diese schlecht leitenden Oxidschichten bei kleinen Kontaktdrücken besonders nachteilig bemerkbar machen, ist die Anwendung von Kupferkontakten auf Schaltgeräte kleinerer Leistung begrenzt, z.B. bei Walzenschaltern.

Goldlegierungen (Au-Legierungen) mit Ag, Cu, Ni, Co, Pt oder Pd finden bei kleinsten Spannungen und geringsten Kontaktdrücken Verwendung.

Für Starkstromkontakte höherer Belastbarkeit (>200 A) wird außer den vorgenannten Werkstofflegierungen zunehmend mit Silber-Kohlenstoff-Verbindungen gearbeitet.

Quecksilberschaltkontakt

Die Prinzipdarstellung dieses Kontaktes ist in Bild 1.10 aufgeführt. Im Gegensatz zum herkömmlichen Schaltkontakt benötigt der Quecksilberschaltkontakt keine zusätzliche Kontaktkraft. Die in eine Glasröhre eingeschmolzenen Elektroden werden in der Einschaltlage durch das flüssige Quecksilber gebrückt. Bei Verwendung von Schutzgas können ein Verzundern und eine Oxidation stark herabgemindert werden, so dass eine Lebensdauer von mehreren Millionen Schaltspielen ohne Wartung erreicht wird.

Funken- und Lichtbogenentstehung

Das Öffnen und Schließen eines unter Spannung stehenden Stromkreises kann einen Abreiß- bzw. Schließfunken zur Folge haben. Je nach Größe des Stromes, der Spannung und der Induktivität des zu schaltenden Stromkreises ist die Funkenbildung weniger oder stärker ausgeprägt. Die stärkste Form der Funkenbildung ist der Lichtbogen, der aufgrund seiner hohen Temperatur Kontaktmaterial zum Verdampfen bringen kann.

Die Entstehung des Lichtbogens beginnt damit, dass mit geringer werdender Kontaktkraft der Engewiderstand und damit die Stromdichte bis unmittelbar vor der Kontaktöffnung ansteigen. Der Spannungsfall am Kontakt nimmt ebenfalls mit steigendem Übergangswiderstand zu. Die im Stromkreis vorhandene Selbstinduktion ist bestrebt, den Stromfluss aufrechtzuerhalten. Während der Kontaktöffnung steigt die Stromdichte an der Kontaktstelle derart an, dass eine starke Materialerwärmung eintritt. Austretende Elektronen ionisieren die kurze Luftstrecke zwischen den Schaltstücken, die damit elektrisch leitend wird. Es kann ein Funke überschlagen. Bei ausreichender Energiezufuhr wird der Stromfluss über die ionisierte Luftstrecke aufrechterhalten. Dadurch weitet sich der Funke zum Lichtbogen aus.

Bei Gleichstrom ist die Funken- oder Lichtbogenbildung stärker ausgeprägt als bei Wechselstrom, da der Gleichstrom nicht periodisch durch Null geht. Im Nulldurchgang ist die Lichtbogenstrecke entionisiert, also nichtleitend. Um die Lichtbogenwirkung zeitlich zu begrenzen, sind Schaltkontakte möglichst kurzzeitig, also sprunghaft mit hoher Geschwindigkeit, zu öffnen oder zu schließen.

Beim Schließvorgang treten häufig Prellerscheinungen auf. Das heißt, nach dem Schließen federn die beweglichen Schaltstücke mehrfach zurück, so dass wiederum Lichtbögen entstehen können. Durch federnd nachgebende Konstruktionen und gleichmäßige Kräfteverteilungen werden Prellungen gedämpft, bzw. es wird die Preldauer verkürzt (Bilder 1.11 und 1.61c).

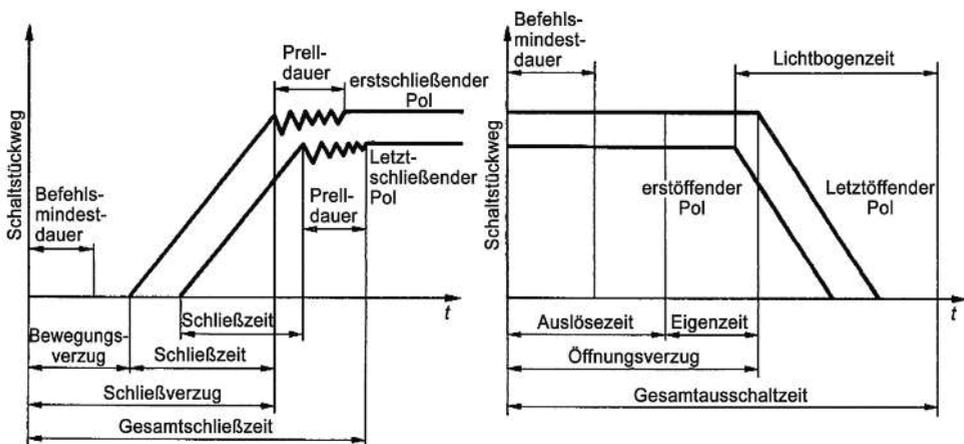


Bild 1.11 Zeitbegriffe für Schaltgeräte [2]

Bei verschiedenen handbetätigten Schaltgeräten mit schleichenden Schaltbewegungen, wie z.B. beim älteren Walzenschalter ohne ausgeprägte Einrastung der Schaltstellung, ist es ratsam, zügig durchzuschalten, um schleichende Kontaktgebungen zu verhindern. In messenden Schaltgeräten mit schleichenden Schaltbewegungen, wie z.B. in Wächtern, Begrenzen, Reglern usw., werden vielfach Momentschalter verwendet, deren Kontakte sprunghaft umschalten.

Um die Lichtbogenlöschung besser verstehen zu können, muss erst einmal der Lichtbogen in Gasen näher betrachtet werden.

Lichtbögen in Gasen

Wird zwischen zwei unter Spannung stehenden Elektroden (Kontakte eines Schaltgerätes) ein Plasma eingebracht, so wandern unter der Wirkung des elektrischen Feldes die Ionen im Plasma zur negativen Elektrode (Katode) und die Elektronen zur positiven Elektrode (Anode). Es fließt im Plasma ein elektrischer Strom. Unter bestimmten Eigenschaften im Stromkreis und an den (Schalt-) Kontakten kann der Lichtbogen (Plasma) dem Stromkreis so viel Energie entnehmen, wie notwendig ist, um seine Leitfähigkeit aufrechtzuerhalten.

Die Lichtbögen in der Schaltgerätetechnik können als thermische Lichtbögen betrachtet werden, da je nach Stromstärke und Randbedingungen eine Temperatur von mehr als 4000 K zu erwarten ist. An realen Lichtbögen ist die Temperatur über dem Säulenquerschnitt nicht konstant. Die Temperatur fällt von ihrem Maximalwert in der Lichtbogenmitte auf wesentlich niedrigere Werte im Lichtbogenrandgebiet ab. Die hohe Temperatur bewirkt in der Lichtbogenmitte einen höheren Ionisierungsgrad als in der übrigen Säule. Dadurch erreicht der Lichtbogenkern eine größere Leitfähigkeit, weist weniger Verluste auf als die Randgebiete und wird vom überwiegenden Teil des Lichtbogenstromes durchflossen. Wärmeverluste durch die Umgebung (umgebendes Gas, Schaltkontakte und Gehäusewände) entziehen dem Lichtbogenrand ständig Energie und schnüren ihn zum Kern hin ein. Durch Wärmeverluste bzw. Kühlung wird die Lichtbogenspannung also erhöht und eine Stromunterbrechung wahrscheinlicher.

Die Spannung an einem Lichtbogen verteilt sich nicht linear über den Verlauf des Lichtbogens, sondern unterscheidet sich an den elektrodennahen Gebieten der Anode bzw. Katode wesentlich davon (Bild 1.12).

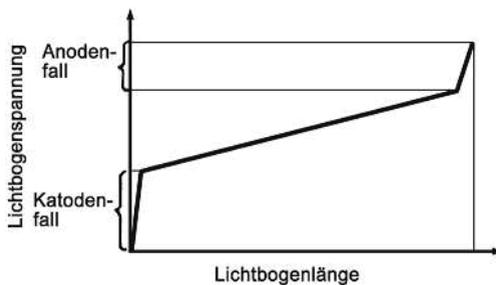


Bild 1.12 Lichtbogenspannung [2]

Der Katodenfall weist bei Luft und atmosphärischen Bedingungen Werte von 10 V bis 15 V auf, der Anodenfall etwa Werte von 2 V bis 10 V. Die Größen sind material- und stromabhängig, wobei die kleineren Werte den größeren Strömen zugeordnet werden können. Der Katoden- und Anodenfall ist also ein Gas-Metall-Übergang, der entfernte Ähnlichkeiten zu einem PN- bzw. NP-Übergang bei Halbleitern aufweist.

Der Spannungsabfall durch den Katodenfall und dem Anodenfall addiert sich also auf Werte zwischen 12 V und 25 V. Dadurch lässt sich erklären, dass bei diesen Spannungen ein Lichtbogen oft sehr gut zu beherrschen ist.

Lichtbögen im Vakuum

Öffnet man eine Schaltstrecke unter Vakuum, so bleibt der Stromfluss zunächst ausschließlich durch Elektronen aufrechterhalten. Sie werden aus der Katode ähnlich wie bei Luft durch Feld- bzw. Thermo-Feldemission ausgelöst. Durch die hohe Stromdichte kurz vor der Abhebung kommt es zu hoher lokaler Erwärmung; dieser Effekt lässt an der Anode und Katode Metaldampf entstehen, in dem es auch zu Ionisierungsvorgängen kommt. Der Vakuumlichtbogen brennt also in einem reinen Metaldampfplasma. Da im Vakuum die Leitfähigkeit des Plasmas abrupter abnimmt als unter atmosphärischen Bedingungen, kommt es in Stromkreisen mit Induktivitäten eventuell zu gefährlichen Überspannungen.

Lichtbögen in Ölen

In der Schaltgerätetechnik kommt es gelegentlich vor, dass der Lichtbogen Flüssigkeiten als Umgebungsmedium aufweist, insbesondere Öl. Auch hier handelt es sich im Grunde um Lichtbögen in Gasen, da die hohe Lichtbogentemperatur eine sofortige Verdampfung der benachbarten Flüssigkeit zur Folge hat. Das entstehende Wasserstoffgas (ca. 75 %) wirkt im hohen Maße kühlend auf den Lichtbogen.

Ein großer Anteil der Energieverluste (ca. 30 %) entsteht durch die Zersetzung des Öls und seine Ausdehnung als Gas. Durch die bessere Kühlung mit Wasserstoff und die Zersetzung des Öls wird dem Lichtbogen mehr Energie entzogen als an Luft unter atmosphärischen Bedingungen.

Durch die oben erwähnten physikalischen Eigenschaften lassen sich der Lichtbogen und damit auch der Lichtbogenspannungsbedarf folgendermaßen beeinflussen:

- Verlängerung durch schnelles Öffnen der Schaltkontakte,
- Verlängerung durch Ausnutzung des thermischen Auftriebs der heißen Bogensäule (Plasmaströmung),
- Verlängerung durch gezielte Gas- oder Flüssigkeitsströmung,
- Verlängerung durch Wirkung eines Magnetfeldes (Eigenmagnetfeld, Blasspule),
- Verlängerung durch verbesserte Lichtbogenlaufeigenschaften,
- Kühlung durch Öl, Kammerwände, Schaltstücke und Gase,
- Kühlung durch Kühlbleche,
- Aufteilung durch Löschbleche (Anoden- und Katodenfall),
- Lichtbogenlöschung mit RC-Schaltglied (Bild 1.13),
- kontaktlose Schaltgeräte (Halbleiter-Schaltgeräte).

Für die Lichtbogenlöschung sowohl im Gleichstrom- wie im Wechselstromkreis ist es erforderlich, dass die Schaltstrecke der wiederkehrenden Spannung ohne Wiederezünden standhält. Im Augenblick des Nulldurchgangs des Stromes ist die Leistungszufuhr zum Lichtbogen unterbrochen. Der Zwischenraum der Schaltstücke ist jedoch noch vom Lichtbogenplasma erfüllt; es hat in diesem Moment immer noch eine sehr hohe Temperatur und ist noch zum großen Teil leitfähig. Daher muss auch das Restplasma so schnell wie möglich abgebaut werden (z.B. durch Kühlung an den Lichtbogenlöschkammern).

Lichtbogenlöschung durch RC-Schaltglied

Das Schalten von Gleichstrom bewirkt im verstärkten Maße Abreißfunken und damit einen größeren Kontaktabbrand gegenüber Wechselstrom. Bei Schaltgeräten in Gleichstromkreisen mit kleiner Leistung lassen sich die Funkenbildung am Schaltkontakt und damit auch die Funkstör-

nung dadurch vermindern, dass man eine Reihenschaltung aus einem Kondensator C und einem Widerstand R parallel zum Schaltkontakt legt (Bild 1.13). Im geschlossenen Zustand des Schaltkontaktes sind der Kondensator und der Widerstand kurzgeschlossen und entladen. Mit dem Öffnen der Kontaktstelle beginnt die Kondensatoraufladung. Der Ladestrom, der zum Kondensator fließt, klingt ab, und die Spannung am Kondensator und am Schaltkontakt nimmt zu. Bevor die Spannung den Überschlagnungswert überschreitet, ist der Schaltkontakt so weit geöffnet, dass ein Funke nicht mehr entstehen kann. Im geöffneten Zustand des Schaltkontaktes ist der Kondensator bis zum anstehenden Spannungswert aufgeladen. Beim Schließvorgang begrenzt der Widerstand R den Entladestrom und vermindert somit einen Schließfunken.

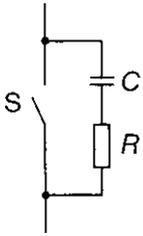


Bild 1.13 RC-Schaltglied

Lichtbogenlöschung durch Aufteilung bzw. Verlängerung

Schaltgeräte mit größerem Schaltvermögen sind so konstruiert, dass entstehende Lichtbögen schnell zum Erlöschen gebracht werden. Die Löschung erfolgt in sog. *Entionisierungskammern*, die zur Kühlung und zur Teilung der Lichtbögen Kühlbleche enthalten (Bild 1.14). Diese *Lichtbogenkammern* verhindern außerdem Querschlüsse, d.h. Überschläge in die Nachbarschaltzone. Um die Lichtbogenstrecke zu vergrößern und um sie damit schneller zum Abreißen zu bringen, können auch sog. *Blasmagneten* verwendet werden. Der Lichtbogen besteht aus ionisiertem Gas, das auch als Plasma bezeichnet wird. Es ist stromleitend und hat somit ein eigenes Magnetfeld. Der Lichtbogen wird durch das Zusammenwirken der Magnetfelder abgedrängt. Man spricht dann von magnetischer Beblasung (Bilder 1.15, 1.16 und 1.17). Das Verbrennen der Schaltkontaktflächen wird dadurch vermindert, dass der Lichtbogen zu den hörnerförmigen Kontaktverlängerungen abwandert. Die Lichtbogenlöschung mit Hilfe von Blasmagneten wird oft in Verbindung mit Lichtbogenlöschkammern angewendet. Der Lichtbogen wird dann in die Löschkammer hineingedrückt.

Bei den hier nicht aufgeführten Hochspannungsschaltgeräten sind andere, aufwendige Konstruktionen zur Lichtbogenlöschung notwendig. Grundsätzlich unterscheidet man bei Schaltgeräten über 1000 V Lichtbogenlösungen durch Gasströmungen (Hartgasschalter, Druckgasschalter) und Flüssigkeitsströmungen (Ölströmungsschalter, Expansionsschalter). Erklärungen siehe Band «Elektro-Installationstechnik», Mittelspannungs-Schaltgeräte.

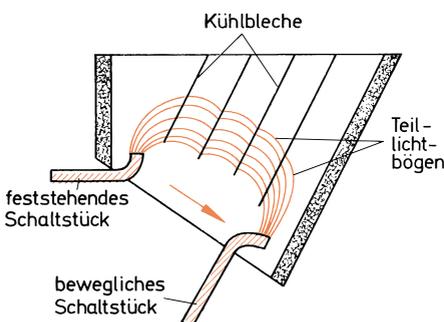


Bild 1.14 Lichtbogenlöschkammer

Beispiel für die konsequente Umsetzung der Lichtbogenbeeinflussung sind Schaltgeräte mit Strombegrenzung; diese bauen bereits nach sehr kurzer Zeit hohe Lichtbogenspannungen auf. Durch diesen hohen Spannungsbedarf (Erhöhung des Widerstandes im Stromkreis) wird der Strom seinen maximalen Wert nicht erreichen. Der Strom wird in solchen Schaltgeräten schon vor dem nächsten «normalen» Nulldurchgang zu null. Den höchsten Stromwert in dieser Zeit nennt man Durchlassstrom. Die Gesamtausschaltzeit ist bei einem 50-Hz-Netz dann kleiner als 10 ms.

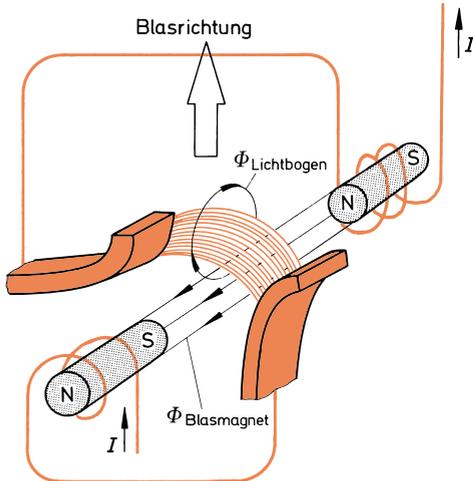


Bild 1.15 Prinzipdarstellung eines Blasmagneten

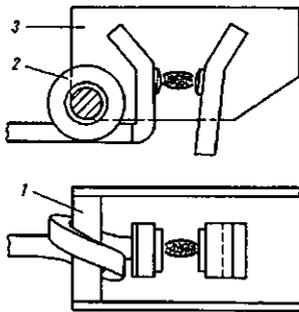


Bild 1.16 Magnetische Blausung 1 Blaskern, 2 Blaspule, 3 Blasblech [2]

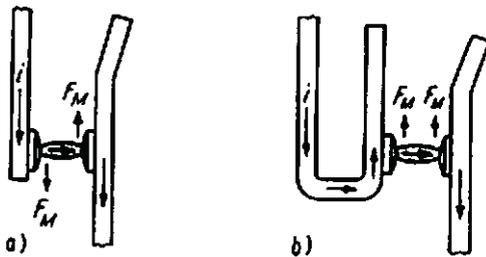


Bild 1.17 Ungünstige (a) und günstige (b) konstruktive Gestaltung der Zu- bzw. Ableitung des Lichtbogenstromes [2]

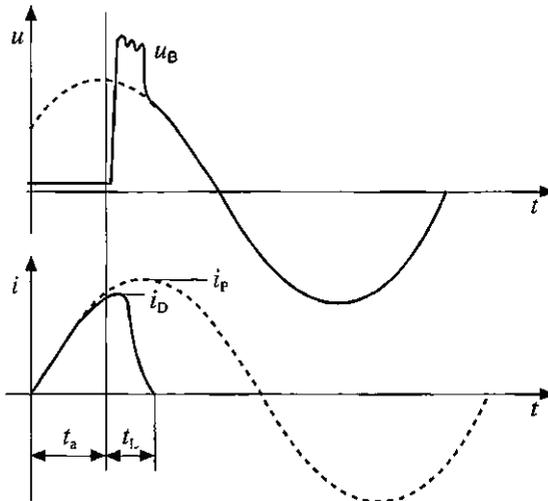


Bild 1.18 Spannungs- und Stromverlauf bei einem Schaltgerät mit Strombegrenzung [10]

Hierbei sieht man in Bild 1.18, dass die Lichtbogenbrennschaltungsspannung (u_B) auch größere Werte als die Netzspannung erreichen kann. Dies kann unter Umständen zu Problemen führen. Die Zeit t_a stellt die Ausschaltverzögerung dar – also die Zeit, bis das Schaltgerät den Stromkreis zu öffnen beginnt. Die Lichtbogenbrenndauer wird hier mit t_l dargestellt. Der Durchlassstrom i_D bleibt, wie zu sehen ist, unter dem Wert des unbeeinflussten Stoßkurzschlussstromes i_P .

1.2.2 Bemessungsdaten von Schaltgeräten

Die Schaltgeräte werden den der Praxis entsprechenden Erfordernissen angepasst. Falsch angewendete, zu schwach ausgelegte oder zu stark überdimensionierte Schaltgeräte sind unzweckmäßig und haben damit höhere Kosten zur Folge. Für die verschiedenartigsten Anwendungsfälle stehen entsprechende Schaltgeräte zur Auswahl bereit. Die spezielle Auswahl von Schaltgeräten erfolgt nach folgenden wichtigen Gesichtspunkten und Größen:

- **Bemessungsstrom** (alt: Nennstrom): Der Bemessungsstrom ist der Strom, der unter Betriebsbedingungen ständig fließen darf.
- **Bemessungsspannung** (alt: Nennspannung): Die Bemessungsspannung ist die Spannung, an der das Schaltgerät betrieben werden darf und für die die Isolation bemessen ist.
- **Bemessungsfrequenz**: Die Bemessungsfrequenz ist die Frequenz der Spannungsversorgung, für die ein Schaltgerät bestimmt ist und auf das sich die anderen Bemessungsdaten beziehen. Dabei sollte man immer beachten, dass die Schaltkontakte andere Bemessungsfrequenzen aufweisen können als die Antriebe, wie z.B. die Spulenspannung.
- **Schaltvermögen**: Kennzeichnende Größen eines Schaltgerätes sind das *Bemessungs-Einschaltvermögen* und das *Bemessungs-Ausschaltvermögen*.

Das Bemessungs-Einschalt- oder -Ausschaltvermögen gibt an, welchen größten Strom das Schaltgerät bei einer bestimmten Spannung und einem bestimmten Leistungsfaktor $\cos \varphi$ ohne Schaden zu nehmen beherrscht. Ist der Schalter strombegrenzend, so übersteigt das

angegebene Schaltvermögen den tatsächlich geschalteten Strom um ein Vielfaches. Das Schaltvermögen wird entweder direkt in Ampere (A) oder in Kiloampere (kA) angegeben. Eventuell wird die Größe der Vorsicherung genannt, die einen unzulässig hohen Kurzschlussstrom auf den zulässigen Wert begrenzt. Auch bei geschlossenen Schaltkontakten kann eine Überbeanspruchung des Schaltgerätes auftreten, wie z.B. im Kurzschlussfall, wenn eine zu groß ausgewählte Vorsicherung einen Abschaltstrom zulässt, der für das Schaltgerät zu groß ist.

Überschreitet ein auftretender Kurzschluss bzw. Abschaltstrom das Schaltvermögen des Schaltgerätes, so können die Schaltkontakte verbrennen bzw. verschweißen. Der Lichtbogen und die auftretenden Stromkräfte können das Schaltgerät im Extremfall zerstören.

Werden Schaltgeräte ausgewechselt oder nachträglich eingebaut, so ist im Zweifelsfall festzustellen, wie hoch der zu erwartende Kurzschlussstrom an der Einbaustelle werden kann. Liegen mehrere Schaltgeräte an einer gemeinsamen Sicherung (Gruppensicherung), so darf der zulässige Höchstwert der Vorsicherung das Schaltvermögen des kleinsten Schalters nicht überschreiten. Je nach Sicherungsart lässt sich aus einer zugehörigen Kennlinie der Abschaltstrom ermitteln (Abschnitt 1.2.9). Bei Gleichstrom ist das Schaltvermögen bezogen auf Wechselstrom wesentlich geringer.

- Lebensdauer: Die Lebensdauer wird bei Schaltgeräten in *Schaltspielen* angegeben. Ein Schaltspiel ist das einmalige Ein- und Ausschalten. Einige Beispiele zeigt Tabelle 1.3.

Tabelle 1.3 Beispiel für die Lebensdauer und Schalzhäufigkeit

Gerätebeispiel	Lebensdauer in Schaltspielen ca. S	Schalzhäufigkeit in Schaltspielen ca. S/h
Leistungsschalter	$1 \cdot 10^3$ bis $1 \cdot 10^4$	60
Motorschutzschalter	$1 \cdot 10^5$	40
Leistungsschütze	$1 \cdot 10^6$ bis $1 \cdot 10^7$	250...3000
Steuerschütze	$1 \cdot 10^6$ bis $3 \cdot 10^7$	600...10 000
Zeitrelais	$3 \cdot 10^7$	je nach Einstellbereich

- Schalzhäufigkeit: Hierunter versteht man die zugelassenen Schaltspiele je Stunde. Sie werden angegeben in S/h (Tabelle 1.3). Dabei teilt die **DIN EN 60947-1 (VDE 0660-102)** September 2015 [28] die Schaltgeräte wie folgt ein:

1 Schaltspiel/h	Klasse 1
3 Schaltspele/h	Klasse 3
12 Schaltspele/h	Klasse 12
30 Schaltspele/h	Klasse 30
120 Schaltspele/h	Klasse 120
300 Schaltspele/h	Klasse 300
1200 Schaltspele/h	Klasse 1200
3000 Schaltspele/h	Klasse 3000
12 000 Schaltspele/h	Klasse 12000
30 000 Schaltspele/h	Klasse 30000
120 000 Schaltspele/h	Klasse 120000
300 000 Schaltspele/h	Klasse 300000

- Schutzarten nach **DIN VDE 0470**: Gemeint ist hier der Schutz gegen das Eindringen von Fremdkörpern und Feuchtigkeit. Dieses Thema wird im Buch «Elektro-Installationstechnik» ausführlich behandelt.

- Einschaltdauer: Sie wird in % angegeben, z.B. ED 40 %, und gibt an, wie viel % des gesamten Zyklus das Betriebsmittel eingeschaltet sein darf. Wenn nicht anders angegeben, beträgt die Zyklusdauer 10 min. ED 40 % bedeutet also: Das Betriebsmittel darf 4 min eingeschaltet und muss dann zum Abkühlen 6 min ausgeschaltet sein. Genormte Werte der relativen Einschaltdauer sind 15 %, 25 %, 40 % und 60 %.
- Gebrauchskategorie bzw. Schaltbedingungen: Die Gebrauchskategorie bzw. Schaltbedingungen eines Schaltgerätes legt den Anwendungsfall fest, unter denen diese die angegebene Lebensdauer aufweist. Die Gerätenormen legen dabei nachstehende Betriebsbedingungen fest:
 - Strom (Ströme), ausgedrückt durch das Vielfache des Bemessungsstromes,
 - Spannung(en), ausgedrückt durch das Vielfache der Bemessungsspannung,
 - Leistungsfaktor bzw. Zeitkonstante,
 - Verhalten bei Kurzschluss
 usw.

Man unterscheidet z.B. nach **DIN EN 60947-4-1 (VDE 0660-102)** Februar 2014 für Schütze und Motorstarter nach Tabelle 1.4.

In der Norm **DIN EN 60947-4-1 (VDE 0660-102)** Februar 2014 [30] Seite 35 steht weiter:
 «... Jede andere Anwendung muss zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden, wobei Angaben im Herstellerkatalog oder -angebot als Vereinbarung gelten.

... Alle Stern dreieckstarter und Zwei-Stufen-Anlasstransformatoren gehören zur Gebrauchskategorie AC-3. ...».

Tabelle 1.4 Gebrauchskategorie für Schütze bzw. Motorstarter

Stromart	Gebrauchskategorien	Typischer Anwendungsfall
Wechselspannung	AC-1	Nichtinduktive bzw. schwach induktive Last, Widerstandsöfen
	AC-2	Schleifringläufermotoren: Anlassen und Ausschalten
	AC-3	Käfigläufermotoren: Anlassen und Ausschalten, dabei dürfen gelegentliches Tippen oder Gegenstrombremsen während einer begrenzten Dauer vorkommen
	AC-3e	Käfigläufermotoren mit höherem Anzugsstrom : Anlassen und Ausschalten, dabei dürfen gelegentliches Tippen oder Gegenstrombremsen während einer begrenzten Dauer vorkommen
	AC-4	Käfigläufermotoren: Anlassen und Ausschalten und Tippen, Gegenstrombremsen bzw. Reversieren
	AC-5a	Schalten von Gasentladungslampen
	AC-5b	Schalten von Glühlampen
	AC-6a	Schalten von Transformatoren
	AC-6b	Schalten von Kondensatorbatterien
	AC-7a	Schwach induktive Last in Haushaltsgeräten
	AC-7b	Motorlast für Haushaltsgeräte
	AC-8a	Schalten von hermetisch gekapselten Kühlkompressormotoren mit manueller Rückstellung der Überlastauslöser
AC-8b	Schalten von hermetisch gekapselten Kühlkompressormotoren mit automatischer Rückstellung der Überlastauslöser	
Gleichspannung	DC-1	Nichtinduktive bzw. schwach induktive Last, Widerstandsöfen
	DC-3	Nebenschlussmotoren: Anlassen und Ausschalten und Tippen, Widerstandsbremsen, Gegenstrombremsen bzw. Reversieren
	DC-5	Reihenschlussmotoren: Anlassen und Ausschalten und Tippen, Widerstandsbremsen, Gegenstrombremsen bzw. Reversieren
	DC-6	Schalten von Glühlampen

Dabei sind die in Tabelle 1.5 genannten Ein- und Ausschaltbedingungen entsprechend den Gebrauchskategorien in der Norm **DIN EN 60947-4-1 (VDE 0660-102)** Februar 2014, Seite 55 [30], für Schütze und Motorstarter vereinbart.

Tabelle 1.5 Ein- und Ausschaltbedingungen

Gebrauchskategorie	Ein- und Ausschaltbedingungen		
	I_c/I_e	U_r/U_e	$\cos(\varphi)$ bzw. L/R
AC-1	1,5	1,05	0,8
AC-2	4	1,05	0,65
AC-3	8	1,05	0,45 für $I_e < 100$ A 0,35 für $I_e > 100$ A
AC-3e Ausschalten	8,5	1,05	0,45 für $I_e < 100$ A
AC-3e Einschalten	12 bzw. 13	1,05	0,35 für $I_e > 100$ A
AC-4 Ausschalten	10	1,05	0,45 für $I_e < 100$ A 0,35 für $I_e > 100$ A
AC-4 Einschalten	12 bzw. 13	1,05	0,45 für $I_e < 100$ A 0,35 für $I_e > 100$ A
AC-5a	3	1,05	0,45
AC-5b	1,5	1,05	mit Glühlampen
AC-8a	6	1,05	0,45 für $I_e < 100$ A 0,35 für $I_e > 100$ A
AC-8b	6	1,05	0,45 für $I_e < 100$ A 0,35 für $I_e > 100$ A
DC-1	1,5	1,05	1
DC-3	4	1,05	2,5
DC-5	4	1,05	15
DC-6	1,5	1,05	mit Glühlampen

I_c Ein- bzw. Ausschaltstrom

I_e Bemessungsstrom

U_r Spannung vor dem Einschalten bzw. wiederkehrende Spannung

U_e Bemessungsspannung

Man unterscheidet z.B. nach **DIN EN 60947-3 (VDE 0660-107)** Februar 2017 noch gesondert in Lastschalter, Trennschalter, Lasttrennschalter und Schalter-Sicherungseinheiten.

Die für Netztrenneinrichtung nach **DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1)** wichtigen Bestimmungen enthält Tabelle 1.6.

Weitere Bemessungsdaten wie die Baugröße, die Verlustleistung usw. sollten dabei nicht außer Acht gelassen werden, da diese Kenndaten auch wichtig sein können.

Um die hohen Anforderungen an ein Schaltgerät besser verstehen zu können, soll nun an einem einfachen Beispiel gezeigt werden, wie der Einfluss des Leistungsfaktors und des Einschaltzeitpunktes beim Einschalten auf den Strom wirkt.

Tabelle 1.6 Gebrauchskategorie für Trennschalter bzw. Lasttrennschalter

Stromart	Gebrauchskategorie		Typische Anwendungen
	Kategorie A für häufige Betätigung	Kategorie B für gelegentliche Betätigung	
Wechselspannung	AC-20A	AC-20B	Schließen und Öffnen ohne Last
	AC-21A	AC-21B	Schalten von ohmscher Last einschließlich geringer Überlast
	AC-22A	AC-22B	Schalten von gemischter ohmscher und induktiver Last einschließlich geringer Überlast
	AC-23A	AC-23B	Schalten von Motoren oder anderer hochinduktiver Last
Gleichspannung	DC-20A	DC-20B	Schließen und Öffnen ohne Last
	DC-21A	DC-21B	Schalten von ohmscher Last einschließlich geringer Überlast
	DC-22A	DC-22B	Schalten von gemischter ohmscher und induktiver Last einschließlich geringer Überlast (z.B. Nebenschlussmotoren)
	DC-23A	DC-23B	Schalten von hochinduktiver Last (z.B. Reihenschlussmotoren)

Den Einschaltstrom an einem Schaltgerät kann man sich aus der Überlagerung (also Summe) aus stationärem Strom und Ausgleichstrom vorstellen. Der Ausgleichstrom ist nur während der Zeit des Übergangs von einem stationärem Strom (offener Stromkreis) zum anderen (lange geschlossener Stromkreis) vorhanden.

In Bild 1.19 ist die Überlagerung für den Einschaltzeitpunkt beim Nulldurchgang der Spannung dargestellt. Wenn der Einschaltzeitpunkt näher am Stromnulldurchgang des stationären Stromes liegt, ist der Ausgleichstrom deutlich geringer (Bild 1.20). Deutlich höhere Strommomentanwerte treten beim Einschalten magnetischer Kreise mit Sättigungserscheinungen auf. So können leerlaufende Transformatoren bis ca. das Fünzigfache ihres Bemessungsstroms aus dem Netz aufnehmen. Auch Käfigläufermotoren weisen solche Einschaltstromspitzen auf, die erst bei Erreichen der Nenndrehzahl auf den Bemessungsstrom zurückgehen.

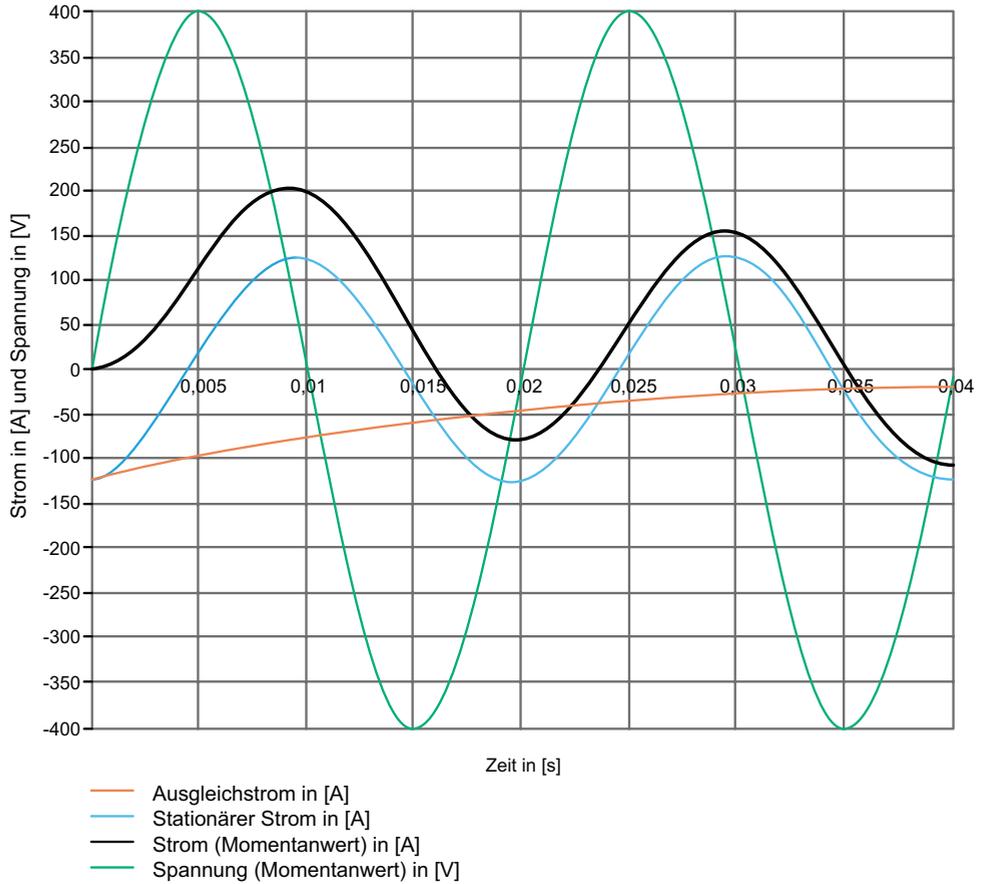


Bild 1.19 Einschalten im Spannungsnulldurchgang