



06/2015

**Kurzschlussströme, Abschaltzeiten, Durchlassenergie, Verletzungsrisiko:
Wie relevant ist die Abschaltzeit? Wir kennen 0,3 / 0,4 / 5 und 120 Sekunden
gemäss Normen und Starkstromverordnung.**

Auswirkungen von Störlichtbögen:

Je nach Leistung und Brennzeit eines Störlichtbogens können sehr differenzierte physikalische Wirkungen entstehen, die hauptsächlich aus der extrem hohen Temperatur in der Lichtbogensäule resultieren. Es sind Temperaturen über 10'000 °C in einem Lichtbogen möglich. Bei der Ausbildung des Lichtbogens wird ein Teil des Metalls der Elektroden verdampft und ionisiert. Es bildet dabei eine leitfähige Verbindung zwischen den Elektroden. Durch den sich verstärkenden Stromfluss erhöht sich die Temperatur weiter und es kommt zur Ausbildung eines Plasmas zwischen den Elektroden. Dieses Plasma gibt Wärmestrahlung ab.

Die Verletzungsgefahr ergibt sich insbesondere durch:

- Druckwellen, Krafteinwirkungen auf den Körper und weggeschleuderte Teile, die sich bei der raschen Erwärmung des Gases rund um den Lichtbogen ergeben.
- Schallimmissionen, die das Gehör gefährden.
- elektromagnetische Strahlung, insbesondere optische Strahlung (sichtbar, ultraviolett, infrarot), die zu irreversibler Schädigung von Haut und Augen führen kann.
- schwere Hitzeschäden infolge optischer Strahlung, der heissen Plasmawolke und der Gasströmung (Wärmestrom).
- toxische Gase und heisse Partikel, die bei der Verbrennung und Pyrolyse der umgebenden Materialien (inklusive der Elektroden) entstehen.

Prüfparameter für Klasse 1 und Klasse 2, Quelle: Elektropraktiker.de

Tafel ① 400 V-Prüfungen für PSA, Proben-Abstand 300 mm

Schutzklasse	Prüfstrom	Prüfanordnung	Lichtbogenzeit
1 (Boxtest, genormt*)	4 kA	1-phasig	500 ms
2 (Boxtest, genormt*)	7 kA	1-phasig	500 ms
X (Test, nicht genormt)	10 kA	3-phasig	1000 ms

* gemäß IEC 61482-1-2

Messanordnungen:

Der Abstand der Elektroden muss 30 mm ± 1 mm betragen, der Abstand zwischen der Mittellinie des Lichtbogens und der Oberfläche der Prüfplatte oder der Prüf-Kleiderpuppe (Oberkörper torso) 300 mm ± 5 mm.

Elektrische Lichtbogenkennwerte

Die Kennwerte des elektrischen Lichtbogens werden durch die folgenden Parameter definiert:

Prüfspannung: 400 V ± 5 % Wechselspannung

Prüfstrom I_{arc} , class: Klasse 1: 4 kA ± 5 %, Klasse 2: 7 kA ± 5 %

Lichtbogendauer: 500 ms ± 5 %

Frequenz: Die Prüfung ist mit einer Frequenz von (50 ± 0,1) Hz oder (60 ± 0,12) Hz durchzuführen.



Diese Parameter müssen für die Prüfungen eingestellt werden; innerhalb einer Testserie bleiben die Parameter unverändert. Bei jeder Prüfung sind die tatsächliche Lichtbogen Spannung und der tatsächliche Lichtbogenstrom über die Lichtbogendauer aufzuzeichnen.

Auf welche Parameter können wir direkt Einfluss nehmen?

Die Lichtbogendauer ist direkt abhängig von der Abschaltzeit!

Je nach Anzahl und Art der sich berührenden Leiter entsteht einer der folgenden Kurzschlussströme:

- **3-poliger Kurzschlussstrom I_{k3}** : Kurzschluss zwischen 3 Polleitern
- **2-poliger Kurzschlussstrom I_{k2}** : Kurzschluss zwischen 2 Polleitern
- **1-poliger Kurzschlussstrom I_{k1}** : Kurzschluss zwischen L und N oder L und PEN oder L und PE

(für den Überstromschutz ist der kleinste der 3 Werte zu berücksichtigen, NIN 2015, 4.3.4.2 B+E)

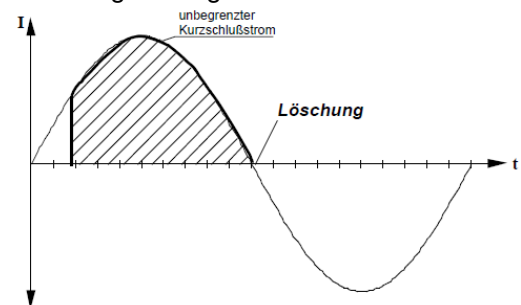
Es muss zwischen dem maximalen und dem minimalen Kurzschlussstrom unterschieden werden.

Der maximale Kurzschlussstrom entsteht an der Einspeisung der zu schützenden Leitung bei einem widerstandslosen Kurzschluss zwischen den 3 Polleitern. Er bestimmt das minimale Bemessungsschaltvermögen der Überstromunterbrecher und dient beim Einsatz von Leitungsschutzschalter oder Leistungsschalter der Überprüfung des Kurzschlusschutzes der Leiter. Der maximale Kurzschlussstrom wird am Einbauort des Überstromunterbrechers berechnet. Die Ermittlung ist auch mit Hilfe von Nomogrammen (NIN 2015, 4.3.4.2.1 B+E) oder von Computerprogrammen (Belvoto, NIN digital) möglich.

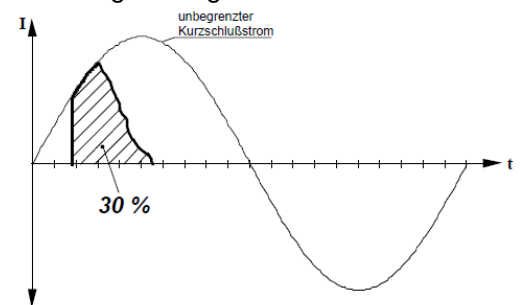
Der minimale Kurzschlussstrom entsteht am Ende der zu schützenden Leitung und kann nicht genau ermittelt werden. Er berücksichtigt den Übergangswiderstand an der Kurzschlussstelle sowie die Erwärmung der Leiter bei einem Kurzschluss.

Der minimale Kurzschlussstrom dient der Überprüfung des Kurzschlusschutzes der Leiter, wenn Leitungsschutzschalter, Leistungsschalter oder Schmelzsicherungen eingesetzt werden. Er beträgt $\frac{1}{4}$ des 3-poligen oder $\frac{3}{4}$ des 1-poligen Kurzschlussstromes, der am Ende der zu schützenden Leitung berechnet bzw. gemessen wird (NIN 2015, 4.3.5.2 B+E).

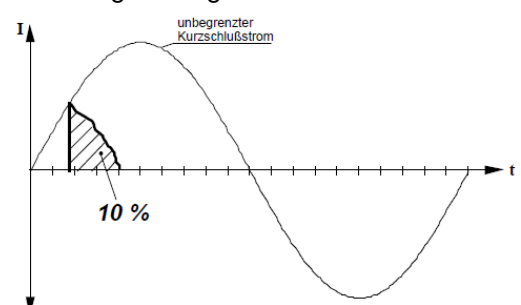
Strombegrenzungsklasse 1:



Strombegrenzungsklasse 2:



Strombegrenzungsklasse 3:



Quelle: GBW

Durchlassenergie und Strombegrenzung

Die Durchlassenergie eines Überstromunterbrechers ist umso kleiner, je schneller dieser im Kurzschlussfalle abzuschalten vermag.

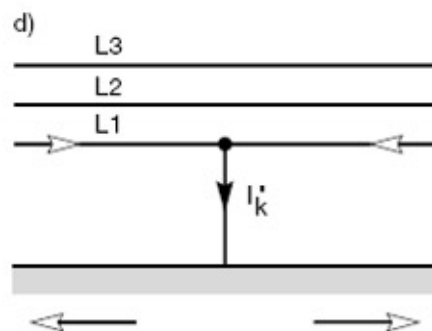
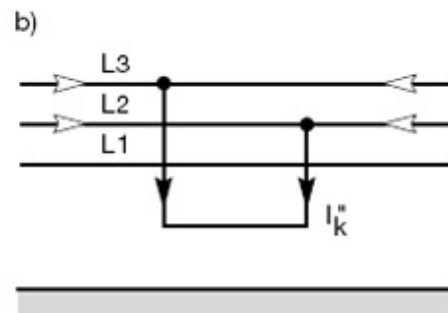
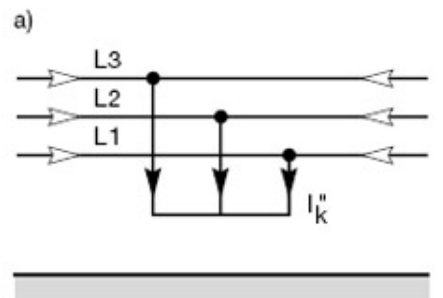
Bei Leitungsschutzschaltern gibt die Strombegrenzungsklasse an, welche Energie beim Ausschalten eines Stromes, welcher seinem Bemessungsschaltvermögen entspricht, durchgelassen werden darf. Die Strombegrenzungsklasse wird auf Leitungsschutzschaltern mit den Zahlen 1, 2 oder 3 in einem Quadrat bezeichnet.

Kurzschlussstromberechnungen, Quelle: Buch Elektrische Anlagen gemäss StV

$$I_{k3} = \frac{U_{Str}}{Z_L + Z_T} = 100 \%$$

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3} \times U_{Str}}{2 (Z_L + Z_T)} = 86 \%$$

$$I_{k1} = \frac{U_{Str}}{Z_L + Z_T + Z_{PEN}} = 50 \%$$



Strombegrenzung, Wärmemenge, Auslösezeit, Durchlassenergie

Strombegrenzung kann auch mit einem höheren Innenwiderstand des Überstromunterbrechers erreicht werden, z.B. mit einem Bimetall. Der Innenwiderstand lässt sich jedoch nicht beliebig vergrössern, weil die erzeugte Wärmemenge ja auch irgendwie abgeführt werden muss. ($W = I^2 \cdot R \cdot t$):

Zusammenfassend kann gesagt werden:

Je kürzer die Auslösezeit eines Überstromunterbrechers bzw. je höher der Innenwiderstand, umso kleiner wird die Durchlassenergie und umso besser ist die strombegrenzende Wirkung.



**Max. Durchlassstrom von NHS
(Schmelzeinsatz)**

- 250 A > 15'000 A
- 200 A > 12'000 A
- 125 A > 10'000 A
- 100 A > 8'000 A
- 80 A > 6'000 A
- 25 A > 2'500 A
- 16 A > 1'800 A

Kurze Ausschaltzeiten erreicht man:

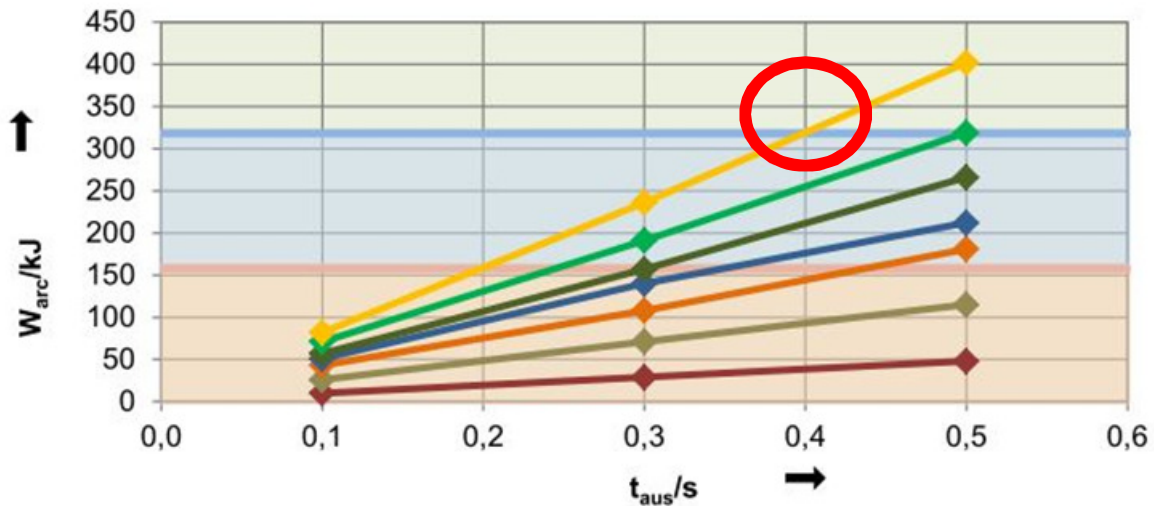
Bei Schmelzsicherungen:

- Hoher Kurzschlussstrom
- Spezielle Ausführung des Schmelzleiters (Arbeitsschutzsicherungen)

Aus Unfällen lernen:

Störlichtbogen und seine Auswirkungen

Lichtbogenenergie in Abhängigkeit der Ausschaltzeit



Lichtbogenenergie W_{arc} in Abhängigkeiten der Ausschaltzeiten t_{aus} .

Quelle: TU-Ilmenau


Lichtbogendauer t_{aus} , bis die prospektiven Kurzschlussströme die Klasse 1 bzw. die Klasse 2 überschreiten.

	Lichtbogenenergie W_{arc}						
	Lichtbogendauer (Ausschaltzeit) t_{aus} / s bis zur Überschreitung der Klasse						
	$I_p = 1\text{ kA}$	$I_p = 2,3\text{ kA}$	$I_p = 4\text{ kA}$	$I_p = 5\text{ kA}$	$I_p = 6\text{ kA}$	$I_p = 7\text{ kA}$	$I_p = 8,5\text{ kA}$
Klasse 1			0,44 s	0,35 s	0,3 s	0,25 s	0,2 s
Klasse 2						0,5 s	0,4 s

Die Einhaltung der Klasse 1 bzw. Klasse 2 t_{aus} ist bis 0,5 s gewährleistet.

Quelle: TU-Ilmenau



<p>Unfall:</p> 	<p>Begründungen: Schmelzsicherungen: Die Auslösezeit wird mit zunehmendem Kurzschlussstrom kürzer. Ist die Auslösezeit kürzer 0,4 s, so ist die Wärmemenge begrenzt.</p>
<p>Wir lernen daraus:</p> 	<ol style="list-style-type: none">1. Hoher Kurzschlussstrom2. Schnelle Abschaltzeit3. Kleine Durchlassenergie4. Kleine Wärmemenge <p>NHS-Sicherungen schützen optimal und begrenzen wirkungsvoll die Einwirkdauer von Lichtbögen.</p>
	<ol style="list-style-type: none">1. Grosser Kurzschlussstrom2. Lange Abschaltzeit 12 s3. Riesiger Schaden4. Strombegrenzung nur auf der HS-Seite5. Schwere Verletzung6. Kurzschlussstrom 23'000 A7. $(W = I^2 \cdot R \cdot t)$8. $23'000^2 \times 0,01 \times 12 \text{ s} = 63'480 \text{ kWs}$, entspricht 17,634 kWh. Gerechnet mit 0,4 s: $23'000^2 \times 0,01 \times 0,4 \text{ s} = 2116 \text{ kWs}$ entspricht 0,588 kWh. Ergibt eine Reduktion um Faktor 30! <p>ESTI hat Vorbildfunktion, darum tragen Inspektoren korrekte, dem Arbeitsplatz angepasste PSA lieber einmal zu viel als einmal zu wenig!</p>



Bei Abschaltzeiten von 5 und 120 s ist die Durchlassenergie (Verletzungsenergie) so gross, dass die verunfallte Person immer mit Folgen zu rechnen hat. Bei Abschaltzeiten < 0,4 s wird dies glimpflicher verlaufen. Verhältnis Fläche = Lichtbogenenergie. Die Schutzmassnahmen und die Netzqualität sind ebenfalls besser.

André Moser, Leiter Inspektionen Fehraltorf

Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI
Luppenstrasse 1, 8320 Fehraltorf
Tel. +41 44 956 12 12
Fax +41 44 956 12 22
info@esti.admin.ch
www.esti.admin.ch