

Sicherungen mindern das Risiko bei Störlichtbögen

Lichtbogengefährdung

Das Arbeiten unter Spannung gewinnt aus zwei wesentlichen Gründen zunehmend an Bedeutung: Während die Kunden immer weniger bereit sind, Stromunterbrechungen klaglos zu akzeptieren, bauen die Verteilungsnetzbetreiber unter Kostendruck redundante Leitungen und Netzstationen weiter ab.

Bei Arbeiten unter Spannung (AuS) besteht für die Mitarbeiter notwendigerweise eine erhöhte Gefährdung ihrer Gesundheit oder gar ihres Lebens durch elektrischen Schlag oder Störlichtbögen. Jeder Vorgesetzte, der Arbeiten unter Spannung anordnet, muss deshalb die damit verbundenen Risiken gegen die Folgen einer Stromunterbrechung abwägen. Obwohl Lichtbogenstörungen nur sehr selten vorkommen, muss das Risiko hoch eingeschätzt werden, da Berührungen mit Lichtbögen schwere Verbrennungen zur Folge haben oder gar tödlich verlaufen können.

Die richtige Einschätzung der Lichtbogengefährdung und die daraus folgende Auswahl einer angemessenen persönlichen Schutzausrüstung (PSA) ist daher vor jedem AuS-Auftrag unabdingbar.

Ursächlich für die für Menschen und Einrichtungen meist verheerenden Folgen von Störlichtbögen ist die enorme Energie, die bei Lichtbogenkurzschlüssen in Sekundenbruchteilen frei gesetzt wird:

- Leiter verdampfen, heiße Metaldämpfe und flüssiges Metall werden in die Umgebung geschleudert.
- Heiße Metaldämpfe und Metallspritzer können Brände entzünden und bei Menschen in der Nähe schwere Verbrennungen verursachen, entweder direkt oder durch brennende Kleidung.
- Die rasche thermische Ausdehnung erhitzter Luft und verdampfenden Metalls erzeugt einen Explosionsdruck, der Trommelfelle zerreißen, Lungen kollabieren und Menschen umwerfen kann.
- Weitere möglicherweise gefährliche Auswirkungen sind grelles Licht, elektrischer Schlag, giftige chemische Reaktionsprodukte und fliegende Trümmer.

Die Begrenzung der an der Arbeitsstelle möglichen Lichtbogenenergie durch strombegrenzende Sicherungen bietet sich daher als besonders wirksames Mittel zum Verringern der Lichtbogengefährdung an. So haben umfangreiche Versuche in den USA, bei denen Temperaturen und Druckverläufe gemessen wurden, gezeigt, dass strombegrenzende Sicherungen nicht nur die Stromkreiscomponenten schützen sondern auch das Risiko schwerwiegender Verletzungen von Personen messbar vermindern. Vergleichbare Untersuchungen unter den Rahmenbedingungen europäischer Stromverteilungsnetze stehen noch aus.

Europäische Normen

Europäische Normen gibt es für die Qualifikation von persönlichen Schutzausrüstungen gegen die thermischen Auswirkungen von Lichtbögen:

- IEC EN 61482-1-1: "Live working
– Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc"
Test Method 1:
Method A: Determination of arc thermal performance value (ATPV) of materials for clothing of workers.
Method B: Evaluation of protective clothing design („Arc man test“).

- IEC EN 61482-1-2: "Live working – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc"
 - Test method 2: Determination of arc protection class of materials by using a constrained and directed arc (box test)

Beide Europäische Normen messen den Wärmestrom unter Verwendung von Kalorimetern und beschreiben die Eigenschaften von Materialien und Kleidungsstücken unter dem Einfluss der vom Lichtbogen ausgehenden Strahlungs- und konvektiven Energie. Leider sind die Prüfparameter beider Normen so verschieden, dass die Ergebnisse nicht direkt vergleichbar sind (Tabelle I).

Tabelle I - Lichtbogen-Prüfparameter

Prüfparameters	IEC 62482-1-1	IEC 62482-1-2
Prüfspannung	≥ 2000 V	400 V
Unbeeinflusster Prüfstrom	8 kA	4 kA or 7 kA
Lichtbogendauer	Variabel	500 ms
Elektrodenabstand	300 mm	30 mm
Elektrodenmaterial	Edelstahl	Al / Cu
Prüfabstand (Prüfling zum Lichtbogen)	300 mm	300 mm
Lichtbogenumgebung	freie Luft	Parabolische Prüfbox
Prüfergebnis	ATPV	Schutzklasse

IEC EN 61482-1-1 wird hauptsächlich in Nordamerika angewendet und definiert den Lichtbogenschutzwert ATPV (arc thermal performance value) von PSA. Dieser gibt den Grenzwert der thermischen Einwirkenergie an, bei dem entsprechend der Stoll-Kurve (Bild 1) Verbrennungen zweiten Grades zu erwarten sind. Die Prüfungen werden mit einem Hochspannungs-Lichtbogen in freier Luft durchgeführt.

IEC EN 61482-1-2 beinhaltet die europäische Praxis und definiert zwei Schutzklassen für PSA, die sich durch den Wert des unbeeinflussten Kurzschlussstroms unterscheiden: 4 kA für Klasse 1 und 7 kA für Klasse 2. Die Prüfung wird bei Niederspannung mit einer parabolischen Prüfbox durchgeführt, die einen auf den Prüfling gerichteten Lichtbogen erzeugt. Als Prüfkriterium dient auch hier die Einwirkenergie, welche die Stoll-Kurve für Verbrennungen zweiten Grades nicht überschreiten darf (Bild 1).

Keine dieser Europäischen Normen enthält jedoch Regeln oder Anleitungen zur Einschätzung des tatsächlichen Risikos im Rahmen einer Gefährdungsanalyse. Die Verantwortung hierfür bleibt beim Verteilungsnetztreiber.

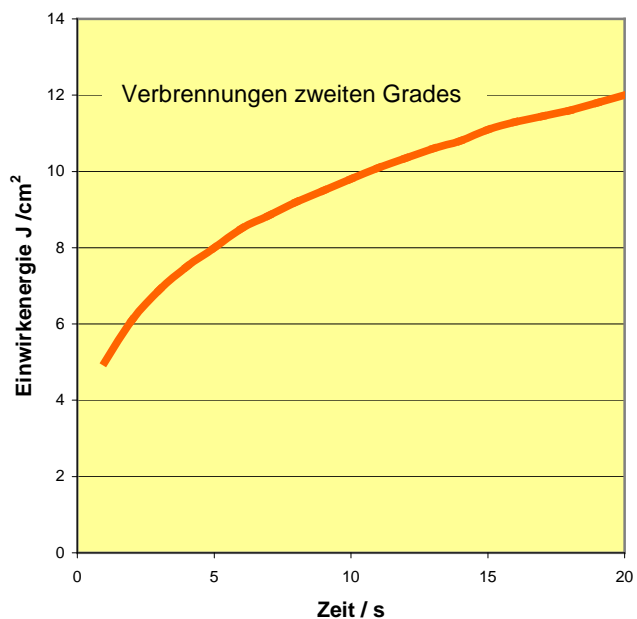


Bild 1 - Hitzetoleranz der menschlichen Haut (Stoll-Kurve)

Risikoeinschätzung

Jeder Entscheidung, ob AuS vertretbar ist und wenn ja, welche Schutzklasse der PSA erforderlich ist, muss eine sorgfältige, auf die Arbeitsstelle bezogene Gefährdungsanalyse vorhergehen. Wegen der zahlreichen Einflussgrößen wie Netzspannung, Arbeitsumgebung, Ausbildungsstand und Sorgfalt des Personals, zu erwartende Störlightbogenenergie an der Arbeitsstelle etc. sind solche Gefährdungsanalysen äußerst schwierig, unterschiedlich für jede Aufgabe und mit großer Unsicherheit behaftet. Andererseits besteht die Notwendigkeit, das Risiko so weit wie möglich realistisch einzuschätzen, damit eine PSA ausgewählt werden kann, die einen ausreichenden Schutz bietet, aber die Arbeit nicht un-

nötig behindert und dadurch womöglich erst Ursache eines versehentlich eingeleiteten Störlichtbogens wird.

Die Schutzklasse der PSA wird allgemein so gewählt, dass die mögliche Einwirkenergie am Arbeitsort keine Hautverbrennungen zweiten Grades verursachen kann. Die Grenzwerte hierzu liefert die Stoll-Kurve (Bild 1). Unterhalb einer Einwirkenergie von etwa 5 J/cm^2 besteht keine Gefahr von Verbrennungen zweiten Grades.

Während die Einwirkenergie schwer vorherzusagen ist, kann die Größe des Stroms bei einem metallischen Kurzschluss an einer Arbeitsstelle aus den Netzimpedanzen recht genau berechnet werden. Die vom Lichtbogen ausgehende Energie, d. h., die für die Lichtbogensgefährdung bestimmende Größe, entspricht etwa der eingespeisten elektrischen Energie $W_{\text{arc}} = U_{\text{arc}} I_{\text{arc}} t_{\text{arc}}$. Folglich wird die Lichtbogensgefährdung entscheidend durch die der Arbeitsstelle vorgeschaltete Überstromschutzvorrichtung beeinflusst. Während sich die Lichtbogenspannung U_{arc} in einem Niederspannungsnetz in einem relativ kleinen Bereich von etwa 80 V bis 130 V bewegt, folgen Lichtbogenstrom und Lichtbogendauer annähernd der Kennlinie der Überstromschutzvorrichtung, z. B. der einer strombegrenzenden Sicherung (Bild 2).

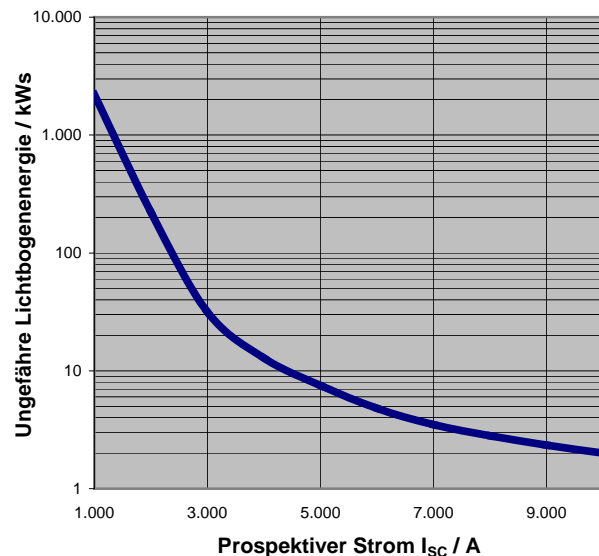


Bild 2 - Annäherung der verfügbaren Lichtbogenenergie bei vorgeschalteter Sicherung gG 250 A

Da eine exakte Berechnung der Einwirkenergie aus dem prospektiven (metallischen) Kurzschlussstrom und der Sicherungskennlinie nicht möglich ist, können nur allgemeine Zusammenhänge aufgezeigt werden, wie die Lichtbogensgefährdung vermindert werden kann, indem man die an der Arbeitsstelle mögliche Lichtbogenenergie begrenzt.

Risikominderung durch Sicherungen

Überstromschutzorgane haben allgemein Zeit/Strom-Charakteristiken entsprechend der Überstromfestigkeit der zu schützenden Einrichtungen, d. h., je größer der Strom desto kürzer die Zeit bis zur Stromunterbrechung. **Sicherungen haben keine mechanisch bedingte Eigenzeit und eignen sich deshalb besonders gut, größte Kurzschlussströme zu begrenzen.**

Bei sehr großen Stromstärken wirken Sicherungen strombegrenzend, d. h., sie sind in der Lage, große Fehlerströme in weniger als einer Viertelperiode zu unterbrechen. In diesem Bereich folgt die Schmelzzeit t_f der Sicherung der Formel $t_f \sim I^{-2}$ (hergeleitet aus $I^2 t_f = \text{constant}$). Die Lichtbogenenergie W_{arc} verhält sich in diesem Bereich näherungsweise invers zum Fehlerstrom $W_{\text{arc}} \sim 1 / I_{\text{arc}}$.

Je größer der Fehlerstrom, desto wirkungsvoller ist die Begrenzung der Lichtbogenenergie durch Sicherungen. (Bild 2)

Versuchsreihen¹ ergaben, dass bei strombegrenzendem Abschalten eines Lichtbogenfehlers die Einwirkenergie im üblichen Arbeitsabstand in der Regel den Wert von 5 J/cm^2 nicht über-

¹ Richard L. Doughty et alii: The use of current-limiting low-voltage fuses to reduce arc-flash energy, IEEE Trans. Vol. 36 Nr. 6 Nov./Dec. 2000

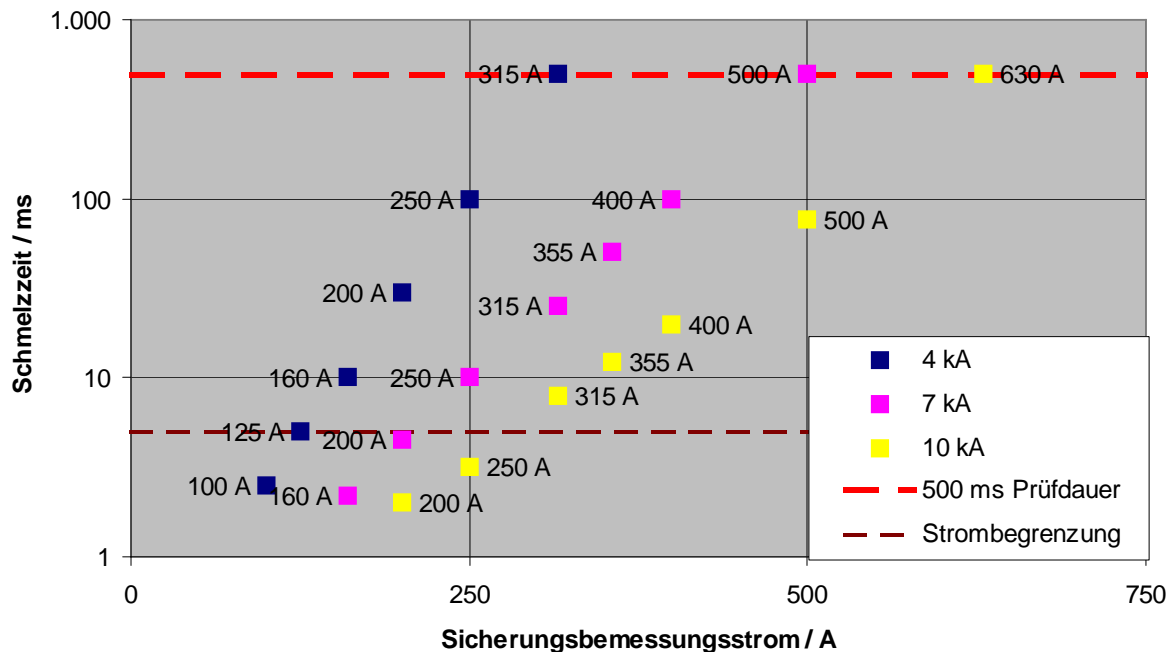


Fig. 3 - Verkürzung der Lichtbogendauer mit gG-Sicherungen bei verschiedenen Lichtbogenströmen

schreitet, der bei ungeschützter Haut eine Verbrennung zweiten Grades hervorrufen würde. Deshalb sollten **wenn immer möglich die vorgeschalteten Schutzeinrichtungen so ausgewählt werden, dass sie versehentlich bei Arbeiten unter Spannung eingeleitete Störlichtbögen strombegrenzend abschalten.**

Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass der Lichtbogenstrom durch die Lichtbogen-spannung beeinflusst wird und erheblich (bis zu 50 %) kleiner sein kann als der errechnete (metallische) Kurzschlussstrom. Prüfergebnisse, die sich auf einen prospektiven (metallischen) Kurzschlussstrom beziehen, können somit nicht auf andere als die geprüfte Anordnung übertragen werden.

Bei Fehlerströmen unterhalb des strombegrenzenden Bereichs kann die Einwirk-energie und damit das Gefährdungspotenzial wegen längerer Lichtbogendauer erheblich ansteigen (Bild 2). Daraus folgt, dass ein Arbeitsort in der Nähe des Einspeisetransformators nicht unbedingt der Ort mit dem größten Lichtbogen-Gefährdungspotenzial ist.

Aber auch in dem Strombereich, in dem Sicherungen nicht strombegrenzend schalten, reduzieren übliche gG-Sicherungen die Lichtbengefährdung in der Regel durch Verkürzung der Lichtbogendauer. Bild 3 zeigt einen Vergleich der Schmelzzeiten von gG-Sicherungen gegenüber der Prüfzeit von 500 ms für die Klassifizierung von PSA der Klassen 1 und 2. (Der prospektive Strom von 10 kA wurde ebenfalls aufgenommen, da dieser Wert zwar nicht

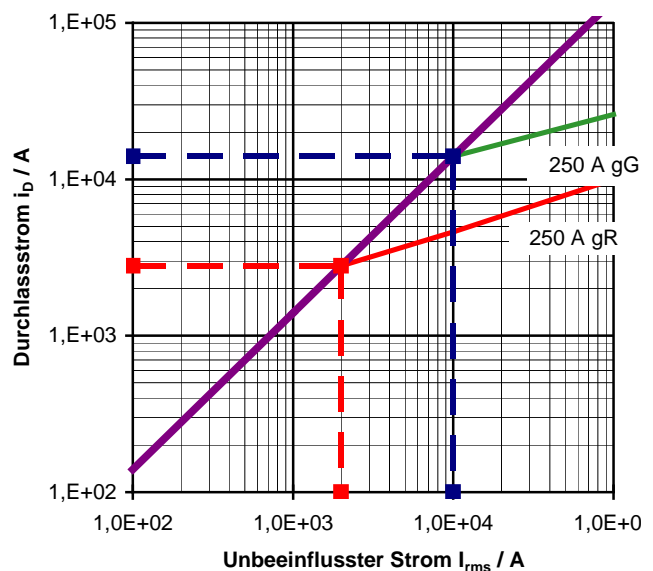


Bild 4 - Strombegrenzung von gG-Sicherungen und superflinken gR-Sicherungen

international genormt aber in Werknormen üblich ist.) Für die Schmelzzeiten in Bild 3 wurden reduzierte Lichtbogenströme von 80 % der prospektiven Ströme angenommen.

Falls erforderlich, kann die Lichtbogenenergie weiter reduziert werden, indem für die Dauer der Arbeiten unter Spannung superflinke gR-Sicherungen als Arbeitsschutz-Sicherungen eingesetzt werden. gR-Sicherungen schalten schon bei wesentlich kleineren Fehlerströmen strombegrenzend ab (Bild 4) und begrenzen daher die Lichtbogenenergie noch wirksamer als gG-Sicherungen. Sie dürfen allerdings wegen ihrer erhöhten Leistungsabgabe nur vorübergehend eingesetzt werden.

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass geeignete Schmelzsicherungen die Energie von Störlichtbögen deutlich reduzieren können. Dies würde in vielen Fällen den Einsatz von PSA einer niedrigeren Schutzklasse zulassen, als es die alleinige Auswahl nach prospektivem Strom und genormter Lichtbogendauer nahe legt. Entsprechende Zuordnungsregeln für PSA bedürfen jedoch noch der experimentellen Absicherung und Bestätigung. Insbesondere muss der Zusammenhang zwischen Einwirkenergie und Lichtbogenenergie bei Schutz durch Schmelzsicherungen noch experimentell auf der Basis der Europäischen Normen und Verteilungsnetzbedingungen untersucht werden.

Dasselbe gilt für die Annahme, dass ein großer prospektiver Strom auch große Lichtbogengefährdung bedeutet. Die Einwirkenergie beim kleinsten möglichen Fehlerstrom sollte ebenfalls betrachtet werden.

Weitere Information und Beratung zu diesem Thema erhalten Sie von Ihren Sicherungsspezialisten, die in [Pro Fuse International](#) organisiert sind.