

Aus Unfällen lernen

Die Unfallstatistik der Jahre 1995 bis 2004



Starkstrominspektorat

Luppenstrasse 1, CH-8320 Fehraltorf

Tel. +41 44 956 12 12, www.esti.ch

(Sonderdruck aus *Bulletin SEV/VSE* Nr. 21/05)

Störlichtbögen und ihre Auswirkungen

Störlichtbögen in Hochspannungsanlagen sind äusserst seltene Ereignisse, die aber Anlagepersonal, Passanten, Schaltanlagen oder sogar Anlagengebäude gefährden können

So etwa könnte eine Zeitungsmeldung lauten, nachdem sich in einer Hochspannungsanlage ein Elektrounfall mit Störlichtbogen ereignet hat: ... *Netzelektriker waren mit den Vorbereitungsarbeiten in einer Hochspannungsanlage beschäftigt. Plötzlich gab es einen lauten Knall und anschliessend eine starke Rauchentwicklung. Aus unbekanntem Gründen wurde ein Störlichtbogen ausgelöst, welcher eine grosse Hitze und eine starke, explosionsartige Druckwelle erzeugt hatte. Durch die Druckwelle wurden die Elektriker weggeschleudert. Mit schweren Verbrennungen mussten sie ins Spital eingeliefert werden...*

Ein Lichtbogen ist eine durch Gasionisation entstandene leitende elektrische Verbindung zwischen Elektroden unterschiedlichen Potentials, unterschiedlicher Phasenlage oder einer Elektrode und Erde. Tritt ein Lichtbogen an einer

Alfred Franz

elektrischen Anlage bzw. einem elektrischen Betriebsmittel nicht betriebsmässig, sondern durch eine Störung auf, spricht man von einem Störlichtbogen. Verursacht werden kann ein Störlichtbogen durch einen technischen Fehler oder durch eine Fehlhandlung.

Während im Niederspannungsbereich zum Auslösen eines Lichtbogens zuvor ein galvanischer Kurzschluss erforderlich ist, genügt im Hochspannungsbereich schon das Unterschreiten des entsprechenden Luftabstandes zu den unter Spannung stehenden Teilen.

Wie entstehen Störlichtbögen?

Störlichtbögen in Mittelspannungsschaltanlagen sind äusserst seltene Ereignisse. In Deutschland ereignen sich beispielsweise durchschnittlich 1 Lichtbogenfehler pro 10000 Schaltfelder und Jahr.

Die Hauptursache für die Entstehung von Störlichtbögen ist menschliches Fehlverhalten. Ausserdem können innere Fehler durch alterungsbedingte Isolations- oder Kontaktfehler, Ausfall von Messwandlern, Überspannung im System auf Grund von Schaltheandlungen oder Blitzstossspannungen, Verschmutzung,

Eindringen von Kleintieren usw. auftreten.

Auswirkungen eines Störlichtbogens

Je nach Leistung und der Brennzeit des Störlichtbogens können Temperaturen von bis zu 10000°C entstehen – am Fusspunkt des Lichtbogens sind sogar Temperaturen bis zu 20000°C möglich. Das an den Fusspunkten befindliche Material wird dabei verdampft und bildet somit 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.

Durch die rasche Hitzeeinwirkung wird ein Prozess ausgelöst, der in 4 Phasen abläuft und innerhalb von 1000 ms verheerende Folgen zeigt.

Phase 1: Kompressionsphase

Die rasche Lufterhitzung führt zu einer explosionsartigen Druckerhöhung. Innerhalb von 5 bis 15 ms kann sich der Druck um 3 bis 5 bar erhöhen, was einer Druck-

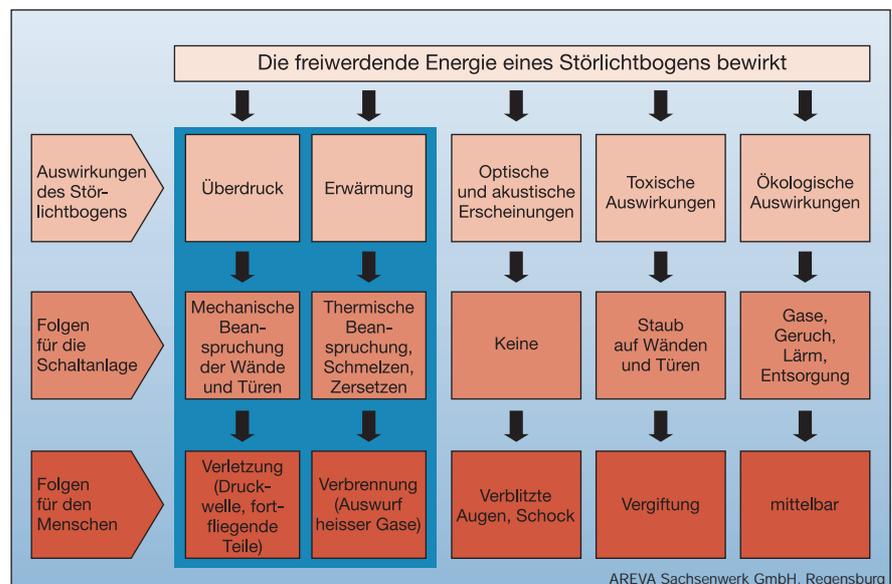


Bild 1 Auswirkungen und Folgen eines Störlichtbogens

Die blau hinterlegten Auswirkungen gehören zu den 5 Beurteilungskriterien einer Störlichtbogenprüfung nach SN EN 62271-200. Aber auch die in den anderen Spalten angegebenen Auswirkungen sollten betrachtet werden. Zu beachten ist, dass bei der Auslösung eines Störlichtbogens auch kurzzeitig eine Durchströmung des Körpers stattfinden kann.

Orte, an denen Störlichtbögen am häufigsten auftreten	Mögliche Ursachen von Störlichtbögen	Beispiele für vorbeugende Massnahmen
Kabel-Schotträume	Unzulängliche Konstruktion	Auswahl geeigneter Masse; Anwendung geeigneter Werkstoffe.
	Fehlerhafte Montage	Vermeidung von Kabelkreuzungen; Überprüfung der vor Ort ausgeführten Arbeiten; richtiges Drehmoment
Trenn-, Last- und Erdungsschalter	Fehler in der festen oder flüssigen Isolierung (schadhaft oder fehlend)	Überprüfung der vor Ort ausgeführten Arbeiten und/oder Spannungsprüfung vor Ort; regelmässiges Prüfen des Füllstandes von Flüssigkeiten, sofern zutreffend
	Fehlbedienung	Verriegelungen; verzögertes Wiederöffnen; unabhängige Handbetätigung; Einschaltvermögen von Last- und Erdungsschaltern; Anweisungen für das Personal
Schraubverbindungen und Kontakte	Korrosion	Verwendung korrosionshemmender Beschichtungen und/oder Fette; galvanische Überzüge; Umhüllungen, soweit möglich
	Fehlerhafter Zusammenbau	Überprüfung der ausgeführten Arbeiten mit geeigneten Mitteln; richtiges Drehmoment; angemessene Befestigungsmittel
Messwandler	Ferroresonanz	Vermeidung dieser Fehlerursache durch geeignete Auslegung der Stromkreise
	Kurzschluss an der Niederspannungsseite von Spannungswandlern	Vermeidung des Kurzschlusses durch geeignete Mittel, z.B. Schutzabdeckung, Niederspannungssicherungen
Leistungsschalter Allgemein	Unsachgemässe Instandhaltung	Regelmässige geplante Instandhaltung; Anweisungen für das Personal
	Fehler durch Personal	Einschränkung der Zugänglichkeit durch Unterteilung in Schotträume; unter Spannung stehende Teile mit Isolierstoffumhüllung; Anweisungen für das Personal
	Alterung unter elektrischer Beanspruchung	Teilentladungsprüfung als Stückprüfung
	Verschmutzung, Feuchtigkeit, Staub, Ungeziefer usw.	Massnahmen, die sicherstellen, dass die festgelegten Betriebsbedingungen eingehalten werden; Verwendung gasgefüllter Schotträume
	Überspannungen	Überspannungsschutz; angemessene Isolationskoordination; Spannungsprüfungen vor Ort

Tabelle Fehlerorte, Ursachen und Beispiele für Massnahmen zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Störlichtbögen

belastung von 30 bis 50 t/m² entspricht. Durch diesen Druckanstieg – oder eher durch diese Druckwellen – können Türen oder Abdeckungen weggeschleudert werden, Gehäuse bersten oder Zwischenwände einbrechen.

Mit dem Zünden des Lichtbogens und dem schlagartigen Druckaufbau wird ein explosionsartiger Knall erzeugt, dessen Schalldruckpegel über 140 dB liegt.

Phase 2: Expansionsphase

Nach der Kompressionsphase entweichen heisse Gase aus dem fehlerhaften Schaltfeld. Luft wird mitgerissen – im Schaltfeld entsteht kurzzeitig ein Unterdruck.

Phase 3: Emissionsphase

Der Druck im Schaltfeld ist nur wenig höher als im Schaltanlagegebäude, in dem bereits ein Druckanstieg erfolgt ist. Wie die folgenden Werte zeigen, halten Wände nur geringe Drücke aus.

- Ziegelwand 24 cm: bis 100 kp/m² bzw. 100 · 9,806 N/m²
- Ortbeton 24 cm: bis 700 kp/m² bzw. 700 · 9,806 N/m²
- Fertigbeton: bis 1600 kp/m² bzw. 1600 · 9,806 N/m²

Damit das Gebäude durch die Druck-erhöhung bzw. durch die einwirkenden Rüttelkräfte keinen Schaden nimmt, müssen entsprechende Druckentlastungskappen eingebaut werden.

Phase 4: Thermophase

Diese Phase erstreckt sich bis zum Ende der Lichtbogendauer. In dieser Phase richtet sich die Lichtbogenenergie vollständig auf die festen Teile. Dabei schmelzen und verdampfen Kupferverbindungen, Einspeisungen, Schaltgeräte sowie Kunststoffe und Isoliermaterial. Bild 1 gibt eine Übersicht, welche Auswirkungen Störlichtbögen haben können.

Die Tabelle zeigt die häufigsten Fehlerorte, Ursachen und mögliche Massnahmen zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Störlichtbögen.

Störlichtbögen können innerhalb von 120 bis 360 ms unterbrochen werden (siehe dazu auch das Unfallbeispiel «Noch schnell den Schleppzeiger zurückstellen» im Fachbeitrag «Aus Unfällen lernen: Unfallstatistik 2004», der ebenfalls in der vorliegenden Ausgabe des *Bulletins SEV/VSE* publiziert ist). In dieser Zeit sind jedoch die Kompressions-, die Expansions- und die Emissionsphase bereits vorbei.

Auch wenn Störlichtbögen in Mittelspannungs-Schaltanlagen selten auftreten, sehen wir an dem erwähnten Beispiel, dass Störlichtbögen innerhalb der kurzen Abschaltzeit mit der freigesetzten Energie bereits grössere Personen-, Anlagen- und Gebäudeschäden verursachen können.

Mit folgenden Massnahmen kann das Schadenpotenzial wesentlich reduziert werden:

- Einsatz von störlichtbogensicheren Schaltanlagen;
- durch den Anbau von Lichtbogenabsorbieren werden die heissen Gase gekühlt und dadurch der Druck verringert;
- durch den Einbau von Druckentlastungskappen in die Wände oder Decke kann das Gebäude vor grossen Druckbelastungen geschützt werden.

Angaben zum Autor

Alfred Franz, Dipl. El.-Ing. HTL, ist Inhaber des Ingenieurbüros A. Franz in 8610 Uster. Alfred Franz führt Beratungen und Projektleitungen für Elektroanlagen, elektrische Energieversorgung sowie Mess-, Steuer-, Regelungs- und Energietechnikwendungen durch.

Neue Norm für Mittelspannungs-Schaltanlagen

Aufwertung des Bedienschutzes und der Störlichtbogenprüfung mit der neuen Norm IEC 62271-200

Die Norm IEC 60298 wurde dem Stand der heutigen Schaltanlagentechnik angepasst, eine Klassifizierung nach Funktionalität vorgenommen und die Störlichtbogenprüfung aufgewertet. Mit der Einführung der Störlichtbogenqualifikation IAC werden nun Prüfergebnisse vergleichbar. Die überarbeitete Norm IEC 60298 wurde im November 2003 unter der neuen Bezeichnung IEC 62271-200 ratifiziert. Die Norm IEC 60298 wird somit nach Ablauf der dreijährigen Übergangszeit per 1. Februar 2007 außer Kraft gesetzt.

Vor einigen Jahren beschloss die IEC, die Normen für Hochspannungsschaltgeräte und Schaltanlagen unter einheitlicher Nummerierung in einer Gruppe zusammenzufassen. Die neuen Nummern werden nicht an einem bestimmten Stich-

Alfred Franz, Dario Marty

tag umgestellt, sondern kommen jeweils erst nach Revision einer Norm zur Anwendung. So wird sich dieser Umstellungsprozess bis etwa zum Jahr 2010 hinziehen. Tabelle I zeigt die Systematik der neuen Normengruppe IEC 62271.

Als erste Norm wurde die IEC 60298 *Metallgekapselte Wechselstrom-Schaltanlagen für Bemessungsspannungen über 1 kV bis einschliesslich 52 kV* revidiert und als neue Norm IEC 62271-200 im November 2003 ratifiziert.

Die Schwerpunkte der Revision IEC 60298

Die Revision hat sich neben verschiedenen formalen Anpassungen hauptsächlich auf drei Schwerpunkte konzentriert.

Schwerpunkt 1: Anpassungen an den Stand der Schaltanlagentechnik

Die frühere Norm behandelte vorwiegend luftisolierte Schaltanlagen, mit Einschub- oder Fahrwagentechnik. Neue

Entwicklungen in Richtung fest eingebauter Schaltgeräte und gasisolierter Schaltanlagen wurden bisher untergeordnet behandelt.

Schwerpunkt 2: Klassifizierung nach Funktionalität

Schaltanlagen wurden in der früheren Norm nach der Konstruktion der 3 Schottungsarten – metallgeschottet, geschottet

und teilgeschottet – eingeteilt. Heute existiert auf dem Markt eine ganze Palette von Anlagen, die nicht mehr ohne Weiteres den 3 Schottungsarten zugeordnet werden können. Zudem entspricht die Klassifizierung nach Schottungsart als Rangordnung nicht den tatsächlichen Gegebenheiten hinsichtlich Sicherheit und Zuverlässigkeit und kann daher missverstanden werden.

In der neuen Norm IEC 62271-200 wird nur noch von *metallgekapselten Schaltanlagen* gesprochen. Die Klassifizierung erfolgt neu nach der Funktionalität – Sicherheit, Betriebsverfügbarkeit und Instandhaltungsfähigkeit – und nicht mehr nach Art der Konstruktion. Bild 1 zeigt die Klassifizierungsstruktur der neuen Norm.

Die in Bild 1 angegebene Betriebsverfügbarkeit beschreibt nicht den Grad der Zuverlässigkeit von Schaltfeldern oder Schaltanlagen, sondern den Grad, bis zu welchem andere Schotträume oder Schaltfelder noch unter Spannung bleiben können, wenn ein Schottraum der Hauptstrombahnen geöffnet wird. Tabelle II zeigt die einzelnen Kategorien der Betriebsverfügbarkeit.

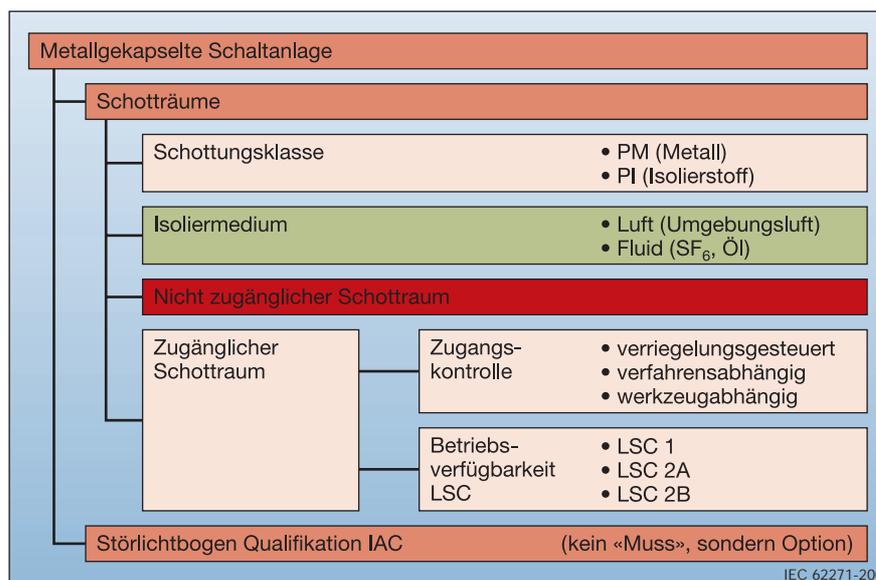


Bild 1 Klassifizierungsstruktur IEC 62271-200

Betriebsverfügbarkeit LSC: Loss of Service continuity category; IAC: Internal arc classification

Inhalt der Norm	Normenbezeichnung*			
	alt		neu	
	IEC	SN EN	IEC	SN EN
Allgemeine Anforderungen	60694		62271-1	62271-1
Leistungsschalter	60056		62271-100	62271-100
Trenn- und Erdungsschalter	60129	60129	62271-102	62271-102
Lastschalter < 52 kV	60265-1	60265-1	62271-103	62271-103
Lastschalter-Sicherungskombinationen	60420		62271-105	62271-105
Metallgekapselte Schaltanlagen	60298	60298	62271-200	62271-200
Fabrikfertige Stationen	61330	61330	62271-202	62271-202

*neue Bezeichnung nach Überarbeitung und Ratifizierung

Tabelle I Bezeichnung der Normen für Schaltgeräte und Schaltanlagen im Bereich Mittelspannung

Kategorie der Betriebsverfügbarkeit	Wenn ein zugänglicher Schottraum (z.B. Schalter) in einem Schaltfeld geöffnet ist ...	Konstruktion
LSC 1	... müssen andere Schaltfelder abgeschaltet sein, zumindest ein weiteres oder der Sammelschienen-Abschnitt	keine Feldtrennwände
LSC 2	LSC 2A ... bleiben alle anderen Schaltfelder unter Spannung	Feldtrennwände und Trennstrecke mit Schottung zur Sammelschiene
	LSC 2B ... bleiben alle anderen Schaltfelder und der Kabelschottraum des offenen Schaltfeldes unter Spannung	Feldtrennwände und Trennstrecke mit Schottung zur Sammelschiene sowie zum Kabel

Tabelle II Betriebsverfügbarkeit LSC



Bild 2 Beispiel einer luftisolierten Leistungsschalteranlage mit 3 Schotträumen; Betriebsverfügbarkeit LSC 2B – PM

Schottungsklasse PM, d.h. alle Schotträume sind gegenseitig durch metallische Zwischenwände/Shutters getrennt. Rot: Sammelschienen-Schottraum; nicht zugänglich; grün: Leistungsschalter-Schottraum, verriegelungsgesteuert und/oder verfahrensbhängig zugänglich; gelb: Kabel-Schottraum, werkzeugabhängig zugänglich.

Die Klassifizierung nach Funktionalität am Beispiel einer luftisolierten Leistungsschalteranlage mit 3 Schotträumen ist in Bild 2 dargestellt.

Schwerpunkt 3: Störlichtbogenqualifikation IAC

Die Störlichtbogensicherheit erhält mit der neuen Norm einen deutlich höheren Stellenwert.

Die Störlichtbogenprüfung ist allerdings nach wie vor ein optionales, freiwillig zu erfüllendes Kriterium. Nach neuer Norm wird jetzt unter vorgegebenen Bedingungen geprüft und nach festen Kriterien beurteilt. Die Prüfung gilt nur als bestanden, wenn alle festgelegten Kriterien erfüllt sind. Die Durchführung der Prüfung und deren Bewertung ist somit nicht mehr eine Vereinbarungssache zwischen Hersteller, Betreiber und Prüflabor. Bild 3 zeigt die Standardanordnung für eine Störlichtbogenprüfung.

Nach bestandener Störlichtbogenprüfung wird das Leistungsschild mit den Daten der Störlichtbogenqualifikation IAC ergänzt. Diese beinhaltet Angaben bezüglich Zugänglichkeitsgrad, Prüf-

stromstärke und Dauer. Bild 4 zeigt die Prüfungsanordnung im Grundriss und ein Beispiel für die Störlichtbogenqualifikation.

Was geschieht mit Konstruktionen, die nach IEC 60298 geprüft wurden?

Die IEC 62271-200 ist eine Produktnorm für Neuentwicklungen, d.h. neu entwickelte Schaltanlagen müssen der neuen Norm entsprechen, sobald diese in Kraft gesetzt wird. Vorhandene Konstruktionen benötigen keine Nachprüfung und Schaltanlagen, die nach der «alten Norm» typengeprüft wurden, können auch in Zukunft auf den Markt gebracht und in Betrieb genommen werden. Ob eine Anlage die neue Norm in allen Punkten erfüllt, bleibt jedoch immer eine Einzelfallentscheidung.

Sollen künftig nur noch störlichtbogengeprüfte Schaltanlagen eingesetzt werden?

Empfehlung für die Betriebsmittelwahl in der IEC 62271-200

Im Abschnitt 8.3 der IEC 62271-200 wird empfohlen, die Betriebsmittelwahl nach durchgeführter Risikobeurteilung vorzunehmen. Als Anleitung für die Risikobeurteilung kann Tabelle III dienen¹⁾, in der Orte aufgelistet sind, an denen erfahrungsgemäss Fehler am wahrscheinlichsten auftreten.

Auszug aus der IEC 62271-200

Abschnitt 8.3: Störlichtbogenqualifikation

Als Leitfaden für die Auswahl einer geeigneten Schaltanlage hinsichtlich Störlichtbögen können die folgenden Kriterien angewendet werden:

- Wo das Risiko als vernachlässigbar betrachtet werden kann, ist eine Störlichtbogenqualifikation nicht erforderlich.
- Wo das Risiko als erheblich angesehen wird, sollen nur Schaltanlagen mit Störlichtbogenqualifikation eingesetzt werden.

Im zweiten Fall sollte die Auswahl unter Berücksichtigung des vorhersehbaren höchsten Stromwertes und der Dauer des Fehlerzustandes im Vergleich mit den Bemessungswerten der geprüften Anlage vorgenommen werden. Ausserdem sollten die Montageanweisungen des Herstellers eingehalten werden (Abschnitt 10 der IEC 62271-200). Von besonderer Wichtigkeit ist der Aufenthaltsort von Personen, wenn ein Störlichtbogen auftritt. Der Hersteller sollte angeben, welche Seiten der Schaltanlage entsprechend

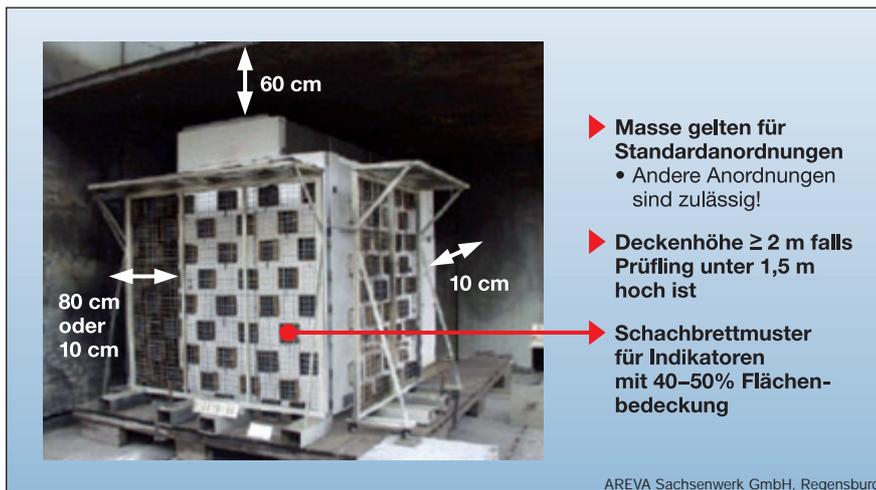


Bild 3 Standardanordnung für Störlichtbogenprüfung, mit Raumnachbildung

der Prüfanordnung zugänglich sind, und der Betreiber sollte diese Anweisung gewissenhaft beachten. Wird zugelassen, dass sich Personen auf einer Fläche aufhalten, die als nicht zugänglich angegeben ist, kann dies zur Verletzung von Personen führen.

Anforderungen an elektrische Starkstromanlagen gemäss Starkstromverordnung

In Art. 40 und Art. 62 ff der Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung, SR 734.2, AS 1994 1199) werden Massnahmen gefordert, welche Personen und Gebäude vor den Auswirkungen eines Störlichtbogens schützen sollen.

Art. 40

Abs. 4: Gasräume müssen zur Druckentlastung im Fehlerfall (Störlichtbogen) mit Sollbruchstellen (z.B. Berstscheiben) versehen werden. Diese sind so anzuordnen, dass bei Gasaustritt das Anlagepersonal nicht gefährdet wird.

Art. 62 Schutzmassnahmen bei Kurz- und Erdschluss

Abs. 1: Alle Teile einer Starkstromanlage müssen so erstellt werden, dass sie den mechanischen und thermischen Beanspruchungen widerstehen, die betriebsmässig oder bei Kurz- und Erdschlüssen am Einbauort auftreten können.

Abs. 2: Elektrische Anlagen müssen so erstellt werden, dass sich Betriebsstörungen und Schäden durch Lichtbogen auf ein Minimum beschränken. Das Wandern von Lichtbögen ist zu verhindern.

Abs. 3: Wo Personen durch die Auswirkungen von Lichtbögen unmittelbar gefährdet sind, müssen besondere Schutz-

massnahmen (Verschalungen, Schutzverkleidung usw.) getroffen werden.

Abs.4: Gebäude müssen so erstellt werden, dass die Folgen eines Druckanstieges beim Auftreten von Lichtbögen nicht zu einer Gefährdung von Personen oder Sachen führt.

Was beinhaltet die Plangenehmigung und was nicht?

Oft hört man von Betriebsverantwortlichen, dass das Starkstrominspektorat die Planvorlage bewilligt und der Inspektor die Anlage abgenommen habe, und die Anlage somit sicher in Ordnung sei.

Die Unterlagen, die dem Inspektorat zur Genehmigung einzureichen sind, müssen alle Angaben enthalten, die für die Beurteilung des Projektes notwendig

sind (Art. 2, Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren für elektrische Anlagen, SR 734.25).

Im Plangenehmigungsverfahren einer Trafostation werden beispielsweise geprüft:

- Disposition der Anlage (Grundrisse, Schnitte, Fenster und Lüftungsöffnungen usw.)
- Anlage- und Erdungsschema
- Sicherheitsrelevante Aspekte wie Abstände, Gangbreiten, Fluchtwege, Berücksichtigung der Brandschutzmassnahmen nach VKF²⁾, Sicherung von Trafos und spannungsführenden Teilen.
- Einhalten des Abstands zu Orten mit empfindlicher Nutzung (Immissions- und Angabengrenzwert gemäss NISV³⁾)
- Einhalten der Vorgaben des Umwelt- und Landschaftsschutzes
- Abstimmung des Vorhabens mit der Raumplanung.

Einzelne Komponenten werden im Einzelnen nicht geprüft, da sie zum Zeitpunkt der Plangenehmigung z.T. noch nicht bekannt sind. Im Zweifelsfall werden jedoch Unterlagen und insbesondere Prüfberichte von Erzeugnissen verlangt.

Was bedeutet die Kontrolle der Anlage durch das Inspektorat?

Fertigstellungsanzeige

Die Unternehmung muss die Fertigstellung der Anlage dem Inspektorat schriftlich mitteilen (Art. 12 der Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren

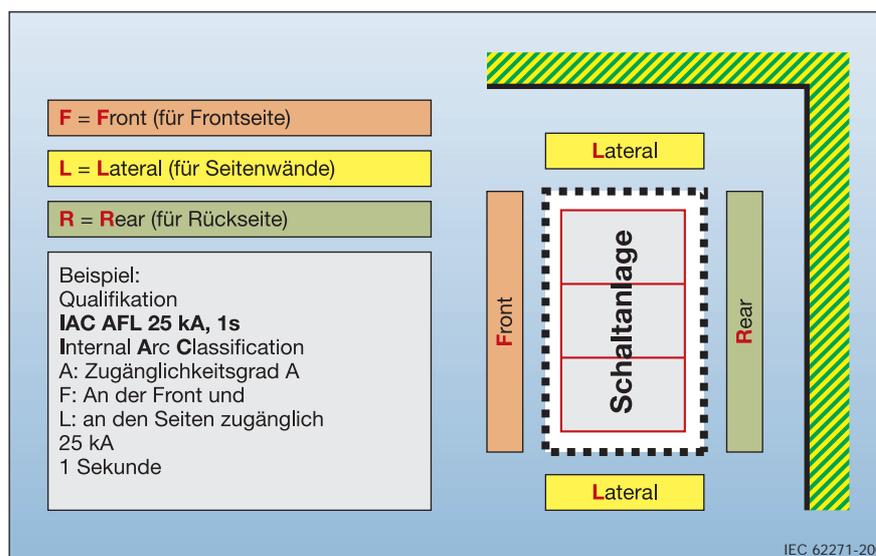


Bild 4 Angaben der Störlichtbogenqualifikation IAC auf dem Leistungsschild

Zugänglichkeitsgrad: A: beschränkt auf befugtes Personal (Bedienerschutz); Zugänglichkeitsgrad: B: unbeschränkte Zugänglichkeit, einschliesslich Öffentlichkeit (Passantenschutz)

Orte, an denen Störlichtbögen am häufigsten auftreten	Mögliche Ursachen von Störlichtbögen	Beispiele für vorbeugende Massnahmen
Kabel-Schotträume	Unzulängliche Konstruktion	Auswahl geeigneter Masse; Anwendung geeigneter Werkstoffe.
	Fehlerhafte Montage	Vermeidung von Kabelkreuzungen; Überprüfung der vor Ort ausgeführten Arbeiten; richtiges Drehmoment
Trenn-, Last- und Erdungsschalter	Fehler in der festen oder flüssigen Isolierung (schadhaft oder fehlend)	Überprüfung der vor Ort ausgeführten Arbeiten und/oder Spannungsprüfung vor Ort; regelmässiges Prüfen des Füllstandes von Flüssigkeiten, sofern zutreffend
	Fehlbedienung	Verriegelungen; verzögertes Wiederöffnen; unabhängige Handbetätigung; Einschaltvermögen von Last- und Erdungsschaltern; Anweisungen für das Personal
Schraubverbindungen und Kontakte	Korrosion	Verwendung korrosionshemmender Beschichtungen und/oder Fette; galvanische Überzüge; Umhüllungen, soweit möglich
	Fehlerhafter Zusammenbau	Überprüfung der ausgeführten Arbeiten mit geeigneten Mitteln; richtiges Drehmoment; angemessene Befestigungsmittel
Messwandler	Ferroresonanz	Vermeidung dieser Fehlerursache durch geeignete Auslegung der Stromkreise
	Kurzschluss an der Niederspannungsseite von Spannungswandlern	Vermeidung des Kurzschlusses durch geeignete Mittel, z.B. Schutzabdeckung, Niederspannungssicherungen
Leistungsschalter Allgemein	Unsachgemässe Instandhaltung	Regelmässige geplante Instandhaltung; Anweisungen für das Personal
	Fehler durch Personal	Einschränkung der Zugänglichkeit durch Unterteilung in Schotträume; unter Spannung stehende Teile mit Isolierstoffumhüllung; Anweisungen für das Personal
	Alterung unter elektrischer Beanspruchung	Teilentladungsprüfung als Stückprüfung
	Verschmutzung, Feuchtigkeit, Staub, Ungeziefer usw.	Massnahmen, die sicherstellen, dass die festgelegten Betriebsbedingungen eingehalten werden; Verwendung gasgefüllter Schotträume
	Überspannungen	Überspannungsschutz; angemessene Isolationskoordination; Spannungsprüfungen vor Ort

Tabelle III Fehlerorte, Ursachen und Beispiele für Massnahmen zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Störlichtbögen

ren von elektrischen Anlagen, SR 734.25). Dieser Fertigstellungsanzeige muss eine Bestätigung des Erstellers beiliegen, aus welcher hervorgeht, dass die Anlage den Anforderungen der Gesetzgebung und den anerkannten Regeln der Technik entspricht.

Kontrolle durch das Inspektorat

Das Inspektorat kontrolliert in der Regel innerhalb eines Jahres nach Fertigstellung, ob die Anlage vorschriftsgemäss und in Übereinstimmung mit den genehmigten Plänen erstellt worden ist, und die zum Schutz der Umwelt verfügbaren Massnahmen umgesetzt worden sind (Art. 13 der Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren von elektrischen Anlagen, SR 734.25).

Schlussfolgerung und Empfehlungen

Häufig werden Störlichtbögen durch menschliches Fehlverhalten ausgelöst¹. In offenen Mittelspannungs-Schaltanlagen ist die Wahrscheinlichkeit eine Störlichtbogenauslösung sehr gross (menschliches Fehlverhalten, Verschmutzung, Isolationsfehler durch Alterung, Eindringen von Kleintieren usw.). Mit folgenden Massnahmen kann das Risiko reduziert werden:

- offene Anlagen durch metallgekapselte Anlagen ersetzen
- Sicherheitsaspekte bei der Betriebsmittelwahl berücksichtigen – insbesondere Personen- und Gebäudeschutz beachten (Störlichtbogensicherheit, Druckentlastung usw.)
- Vorsicht bei der Wiederverwendung von alten Betriebsmitteln (Isolationsfehler durch Alterung oder Haarrisse)
- Anlagenunterhalt regelmässig durchführen und die Wartungsvorschriften der Lieferanten beachten
- Kontrollgänge durchführen, um frühzeitig Schwachstellen zu erkennen
- regelmässige Schulung des Betriebspersonals (Schaltberechtigung, Anlagenkenntnisse, 1. Hilfe usw.).

Weiterführende Literatur

- Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung), SR 734.2, AS 1994 1199
- SN EN 62271-200: Hochspannungs-Schaltgeräte und Schaltanlagen – Teil 200: Metallgekapselte Wechselstrom-Schaltanlagen für Bemessungsspannungen über 1 kV bis einschliesslich 52 kV.
- SN EN 61330: Fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung

Angaben zu den Autoren

Alfred Franz, Dipl. El.-Ing. HTL, ist Inhaber des Ingenieurbüros A. Franz in 8610 Uster. Alfred Franz führt Beratungen und Projektleitungen für Elektroan-

lagen, elektrische Energieversorgung sowie Mess-, Steuer-, Regelungs- und Energietechnikanwendungen durch.

Dario Marty, dipl. El.-Ing. HTL, ist seit über einem Vierteljahrhundert im Dienste der elektrischen Sicherheit beim Eidgenössischen Starkstrominspektorat (ESTI). Er war in der Materialprüfstelle tätig und anschliessend Leiter der Geschäftseinheit Sicherheitszeichen und Marktüberwachung. Zurzeit leitet er das Team Baubewilligungen von Planvorlagen für Starkstromanlagen. Er ist designierter Nachfolger des ESTI-Leiters, dessen Aufgabe er am 1. Januar 2006 übernimmt.

¹ Aus der Norm IEC 62271-200, Abschnitt 8.3

² VKF: Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen

³ NISV: Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV), SR 814.710, AS 2000 213, 23. Dezember 1999

⁴ Siehe dazu auch die Unfallbeispiele im Artikel «Aus Unfällen lernen» in dieser Ausgabe.

Körperschutzmittel als Schutzmassnahme bei Störlichtbögen

Einsatz der persönlichen Schutzausrüstung als wesentlicher Bestandteil der Unfallverhütung

Störlichtbögen erreichen innerhalb von ein paar Millisekunden eine Temperatur von bis zu 10 000 °C. Extrem hohe Wärmestrahlung, ausströmende heisse Gase, Auswurf heisser Partikel sowie eine explosionsartig sich ausbreitende Druckwelle sind die Folge davon. Die Auslösung der Druckwelle wird durch einen Knall begleitet, dessen Schalldruckpegel über 140 dB liegt. Neben schweren Verbrennungen, Verletzungen durch herumfliegende Teile und Schädigung des Gehörs kann der Körper noch durch einen Teilstrom durchflossen werden. Durch konsequente Verwendung der persönlichen Schutzausrüstung (PSA) können schwere Verletzungen weit gehend vermieden werden.

Unter dem Begriff *Körperschutzmittel* (persönliche Schutzausrüstung) für den Elektrofachmann versteht man den Helm

Jost Keller

mit Visier, das geschlossen getragene Arbeitskleid aus flammhemmendem Gewebe, sowie Gummihandschuhe mit Kelflar-Unterziehhandschuhen. Anstelle des Arbeitskleides muss bei grossen Kurzschlussströmen allerdings eine Schaltjacke oder ein Schalmantel getragen werden. Die so gewählten persönlichen Schutzausrüstungen schützen vor der Durchströmung und vor Störlichtbögen im Alltagsbereich, d.h. bei Kurzschlussströmen bis etwa 1000 A. Kurzschlussströme von 1000 A sind in der Praxis aber an vielen Arbeitsorten anzutreffen, wo sie nicht erwartet werden.

Für besondere Situationen – etwa für das Arbeiten unter Spannung – werden weitere Anforderungen an die persönliche Schutzausrüstung gestellt. Darauf wird in diesem Beitrag jedoch nicht eingegangen.

Besonders wichtig ist, dass die Arbeitskleidung als Teil der Schutzausrüstung einen hohen Tragkomfort aufweist, also aus angenehm zu tragendem Mate-

rial gefertigt ist und eine grosse Bewegungsfreiheit erlaubt. Dadurch wird die Schutzausrüstung immer getragen und der Personenschutz gewährleistet.

Rechtliche Anforderungen

... an die Ausrüstung selber

Persönliche Schutzausrüstung für Elektrofachpersonal hat den Normen EN 531 *Schutzkleidung für hitzeexponierte Arbeiter* (Index C), der EN 533 *Schutzkleidung – Schutz gegen Hitze und Flammen – Materialien und Materialkombinationen mit begrenzter Flammenausbreitung* (Index III) und der EN 470 *Schutzkleidung für Schweißen und verwandte Verfahren – Teil 1: Allgemeine Anforderungen* (Risikokategorie III) zu entsprechen.

... an die Verwendung der Ausrüstung

Das Gesetz über die Unfallversicherung (UVG) fordert klar den Einsatz der persönlichen Schutzausrüstung (Kasten). Im Weiteren sind aber auch die Grundsätze bezüglich der Arbeitsmethoden gemäss EN 50110 *Betrieb von elektrischen Anlagen* und die sich daraus ergebende Verwendung der persönlichen Schutzausrüstung zu berücksichtigen.

Soweit die gesetzliche Situation. Wie aber sieht die Praxis aus?

Aus Art. 82 UVG kann abgeleitet werden, dass für alle Arbeiten und Arbeitsplätze eine Gefährdungsbeurteilung gefordert ist. Arbeiten an elektrischen Anlagen und Installationen weisen sehr oft eine grosse Gefahr leistungsstarker Störlichtbogenbildung auf. Soweit wie möglich sind die Gefahren durch technische Massnahmen an der Quelle zu beseitigen. Dies heisst: Freischalten. Wenn dies nicht möglich ist, muss der Schutz durch die persönliche Schutzausrüstung sichergestellt werden.

Der Störlichtbogen ist ein unerwartetes Ereignis, dessen Intensität an Hand der Netzparameter zwar abgeschätzt werden kann, jedoch mit einigen Unsicherheitsfaktoren behaftet ist – etwa mit dem unbekanntesten Abstand der Person zum Lichtbogen. Somit ist das Aufstellen von Regeln für das Tragen der persönlichen Schutzausrüstung immer nur bedingt möglich. Die Eigenverantwortung der Elektrofachleute sowie ihrer Vorgesetzten ist in jedem Fall gefordert. An dieser Stelle muss auch gesagt werden, dass

Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG), AS 1982 1676

Art. 82

¹ Der Arbeitgeber ist verpflichtet, zur Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten alle Massnahmen zu treffen, die nach den Erfahrungen notwendig, nach dem Stand der Technik anwendbar und den gegebenen Verhältnissen angemessen sind.

³ Die Arbeitnehmer sind verpflichtet, den Arbeitgeber in der Durchführung der Vorschriften über die Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten zu unterstützen. Sie müssen insbesondere persönliche Schutzausrüstung benutzen, die Sicherheitseinrichtung richtig gebrauchen und dürfen diese ohne Erlaubnis des Arbeitgebers weder entfernen noch ändern.

Störlichtbögen

auch geprüfte Materialien nicht jedem Störlichtbogen standhalten. Freischalten ist auf jeden Fall besser.

Unterhalt und Instandhaltung der persönlichen Schutzausrüstung

Persönliche Schutzausrüstungen sind in der Regel vor jedem Verwenden einer Sichtkontrolle zu unterziehen; Gummihandschuhe müssen durch Aufblasen getestet werden. Bezüglich Unterhalt und Lebensdauer sind prinzipiell die Herstellerangaben zu beachten, bei der Arbeitskleidung insbesondere auch die Pflegeanleitung.

Wann sind Körperschuttmittel einzusetzen?

Körperschuttmittel, vollständig oder Teile davon, sind dann zu verwenden, wenn das Schutzniveau einer Anlage reduziert wird – beispielsweise, wenn die Schutzabdeckung entfernt werden muss, oder wenn Tätigkeiten ausgeübt werden, die nicht zum normalen Bedienen gehören.

Dabei sind Kurzschlussströme von mehr als 1000 A (Erfahrungswert) als gefährlich einzustufen. Bauart, Zustand (Verschmutzungsgrad) sowie die Umgebungsbedingungen sind bei der Gefahreneinschätzung immer zu berücksichtigen.

Typische Arbeiten, für die persönliche Schutzausrüstungen verwendet werden müssen, sind beispielsweise: Störungs-

suche, Messen, Spannungsfreiheit feststellen, Schutzapparate einstellen, Betätigen von NH-Sicherungen offener Bauweise, Erden und Kurzschliessen, Anbringen und Entfernen von Abdeckungen, Reinigen, Erweitern, Ändern und Instandhalten. Diese Forderung gilt dann, wenn der Eingriff an Orten mit einem Kurzschlussstrom von mehr als 1000 A erfolgt oder auch, wenn sich der Arbeitsbereich in der Gefahren- und Annäherungszone gemäss EN 50110 befindet.

Besondere Vorsicht beim Schalten

Bei Schalthandlungen ist für alle Anlagen die persönliche Schutzausrüstung mit Schaltjacke oder Schaltmantel zu tragen. Eine Ausnahme besteht bei SF₆-Anlagen sowie bei Anlagen, bei denen der Hersteller ausdrücklich angibt, dass auf persönliche Schutzausrüstungen beim Betätigen verzichtet werden kann.

Diese Forderung nach der konsequenten Anwendung der persönlichen Schutzausrüstung ist auch deshalb sinnvoll, weil beim Ausrücken für Schaltarbeiten die Schaltertypen, also die Eigenschaften der Betriebsmittel, oft nicht bekannt sind. Je älter eine Anlage ist, umso wichtiger ist die Anwendung der persönlichen Schutzausrüstung.

Der Einsatz der persönlichen Schutzausrüstung ist zu regeln

Es steht jedem Arbeitgeber frei, den Einsatz von persönlicher Schutzausrüs-

tung in eigener Verantwortung festzulegen oder eine partielle Reduktion für bestimmte Anwendungen festzulegen. Eine klare Regelung ist aber ein Muss: die Arbeitnehmer müssen darauf hingewiesen werden, dass sie sich gemäss UVG (Kasten) an die entsprechenden Weisungen des Arbeitgebers zu halten.

Weiterführende Literatur

EN 50110-1:2004 Betrieb von elektrischen Anlagen (Bezug: www.normenshop.ch)
STI 407.1199.d Sicherer Betrieb von elektrischen Anlagen (Bezug: www.esti.ch)
Sicherheitshandbuch des VSE (Bezug: www.strom.ch)
R. Oster: Elektrizität und persönliche Schutzausrüstung, Bulletin SEV/ASE Nr. 21, 2003.
Leitlinie für die Auswahl persönlicher Schutzausrüstung gegen thermische Auswirkungen durch Störlichtbögen. IVSS, BGFE, Köln. ISBN-Nr. 3-9807576-2-5

Angaben zum Autor

Jost Keller, Dipl. El.-Ing. HTL, ist Leiter «Sichere Elektrizität» (ESTI) und Leiter Weiterbildung (Electrosuisse). Jost Keller ist verantwortlich für das dem ESTI übertragene SUVA-Mandat für die Prävention von Unfällen und für die Abklärung von Unfällen im Elektrobereich. Es ist ferner Mitglied der Kommission für Sicherheit in Elektrizitätswerken des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE) und Mitglied des TK 64 sowie des TC 64 Cenelec und IEC (TK 64/TC 64: Electrical installation and protection against electric shock).
Electrosuisse, 8320 Fehraltorf, jost.keller@esti.ch

Leben retten!

INTERESSIERT AN UNFALLVERHÜTUNG?

Besuchen Sie unsere Schulungen:

- Sicherer Umgang mit Elektrizität
- Qualifikation zur Schalt(anweisungs)berechtigung
- Arbeiten unter Spannung
- Instandhaltung und Prüfung elektrischer Geräte
- Der Sicherheitsbeauftragte unter Spannung: Elektrizität, Nothilfe, Brand
- Nothilfe

Electrosuisse
Luppenstrasse 1
CH-8320 Fehraltorf

Tel. +41 (0)44 956 11 75
Fax +41 (0)44 956 12 49
weiterbildung@electrosuisse.ch
www.electrosuisse.ch

electrosuisse >>>