

TOTALLY INTEGRATED POWER

Technische Schriftenreihe Ausgabe 7.1

Der Störlichtbogen in Mittelspannungs- und
Niederspannungsschaltanlagen
[siemens.de/tip-cs](https://www.siemens.de/tip-cs)



Der Störlichtbogen in Mittelspannungs- und Niederspannungsschaltanlagen

Ein Lichtbogen entsteht durch die Ionisierung eines Gases (in der Regel Luft) mittels einer elektrischen Entladung zwischen Elektroden unterschiedlichen Potentials oder Phasenlage, bzw. zwischen einer Elektrode und Erde. Gebräuchlich ist auch der Begriff Bogenentladung. Wird diese durch eine Störung, wie z. B. einen Kurzschluss in einer Schaltanlage, erzeugt, wird von einem Störlichtbogen gesprochen. Während für die Auslösung eines Störlichtbogens im Niederspannungsbereich meist ein galvanischer Kurzschluss nötig ist, genügt im Mittelspannungsbereich das Unterschreiten eines minimalen Luftabstands zwischen den unter Spannung befindlichen Teilen einer Schaltanlage.

Die Wahrscheinlichkeit, dass in einer Schaltanlage ein Störlichtbogen vorkommt, ist sehr gering, aber nicht zu vernachlässigen. Für luftisolierte Schaltanlagen wird von einem Erwartungswert von 10^{-4} p. a. (per annum; Ereignisse pro Jahr) und bei gasisolierten Schaltanlagen von 10^{-5} p. a. ausgegangen. Das heißt, dass statistisch in einem Jahr in einem von 10.000 Schaltfeldern (luftisoliert), bzw. in einem von 100.000 Schaltfeldern (gasisoliert), ein Störlichtbogen entsteht.

In der Niederspannung sind ca. 5 % der Stromunfälle Fehler mit Störlichtbogen. Hier unterscheidet man zwischen seriellen und parallelen Lichtbögen.

Ein serieller Lichtbogen ist strom- bzw. leistungsschwach, also im Laststrombereich, stellt eine hohe Anlagengefährdung durch Brand dar und geht in der Regel zum parallelen Störlichtbogen über. Ein paralleler Lichtbogen ist im Gegensatz dazu strom- bzw. leistungsstark, also auf Kurzschlussstromniveau, und birgt eine hohe Gefährdung von Personen und Anlagen. Bei nahezu 95 % aller Störlichtbögen handelt es sich um parallele Störlichtbögen und serielle, die in parallele übergehen.

Ursachen für die Entstehung eines Störlichtbogens in Schaltanlagen, auch innerer Fehler genannt, können sein:

- Material- oder Funktionsfehler von Geräten (z. B. Isolationsfehler, schadhafte Kontaktstellen, Montagefehler)
- Falsche Bemessung und Dimensionierung (z. B. abblasende Sicherungen)
- Überbeanspruchung, Verschmutzung, Feuchtigkeit
- Handhabungsfehler und Unachtsamkeiten beim Bedienen und Arbeiten (z. B. unzulässiges Arbeiten unter Spannung)
- Kleintiere und andere Fremdkörper (z. B. vergessenes Werkzeug), die ins Innere der Schaltanlage gelangen
- Fehlerhaft ausgeführte Kabelanschlüsse.

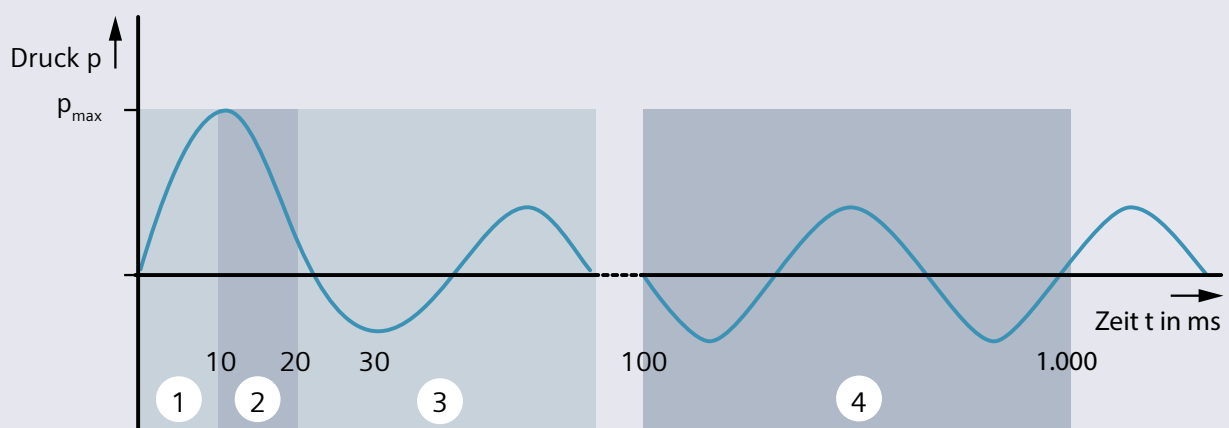


Abb. 1: Zeitlicher Ablauf der Druckentwicklung bei einem Störlichtbogen

Bei der Erzeugung eines Gasplasmas können Temperaturen von ca. 10.000 °C entstehen (sogar bis 20.000 °C am Austrittspunkt) und damit das Material am Austrittspunkt verdampfen. Dadurch verbessert sich die Leitfähigkeit und der Stromfluss erhöht sich, was nun wieder zu einem weiteren Temperaturanstieg führen kann. Der Ablauf wird, wie in Abb. 1 schematisch gezeigt, durch vier Phasen beschrieben:

- 1 Kompressionsphase (mit maximalem Überdruck)
- 2 Expansionsphase (abklingender Druck)
- 3 Emissionsphase (Ausstoß der Gase)
- 4 Thermophase (Ausstoß der schwereren Metall- und Isolierstoffdämpfe).

Störlichtbogenprüfungen bei einem Schaltfeld haben für die Flächenbelastung einen Druck von etwa 10 t/m² ergeben.

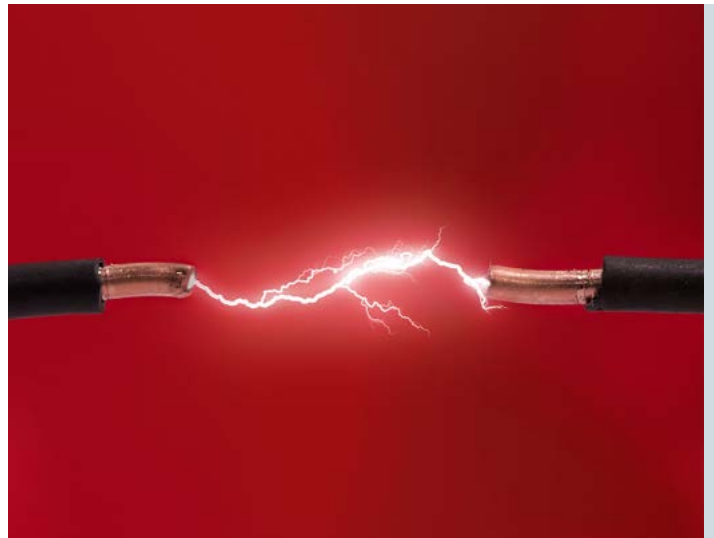
Personen- und Anlagenschutz

Schon Störlichtbögen mit geringem Energieeintrag können erhebliche Auswirkungen auf die Verfügbarkeit der Anlagen und den Personenschutz haben. So gilt ein Wert von 100 kJ bei der Lichtbogenenergie als Grenze, unterhalb der die Schaltanlage keinen irreversiblen Schaden nimmt und nach diversen Wartungsarbeiten in relativ kurzer Zeit eine Wiedereinschaltbereitschaft hergestellt ist. Nach Schau, Haase [1] entstehen bei einer Störlichtbogenenergie bis 250 kJ keine unzulässigen Auswirkungen, d. h. Verbrennungen zweiten Grades, auf Personen mit "normkonformer" Arbeitskleidung (entsprechend der Normenreihe IEC 61482 oder NFPA 70E).

Um die Verfügbarkeit von Schaltanlagen und den Schutz von Personen stetig zu verbessern, werden heutzutage in der Mittel- und Niederspannung nahezu ausschließlich fabrikfertige bzw. typgeprüfte Schaltanlagen eingesetzt. Dementsprechend wurden auch die zugehörigen Normen über die letzten Jahrzehnte weiterentwickelt. Im Gegensatz zu den früher freiwilligen Prüfungen zum Personenschutz bei Störlichtbogen unter Betriebsbedingungen, die zum Teil weit interpretierbar waren, werden die Prüfungen heute harmonisiert und entsprechen dadurch einheitlich dem Stand der Technik.

Neben den einschlägigen Produktnormen für Mittel- und Niederspannungsschaltanlagen müssen die Installationsnormen

- IEC 61936-1 für Hoch-/Mittelspannung und
 - IEC 60364 Reihe für Niederspannung
- zur Gewährleistung des Personen- und Anlagenschutzes berücksichtigt werden.



Druckbelastung von Gebäuden im Falle eines Störlichtbogens

In IEC 61936-1 wird für Starkstromanlagen mit einer Bemessungsspannung über 1 kV in Gebäuden gefordert, dass die Gebäudekonstruktion dem durch einen Störlichtbogen verursachten Innendruck standhält. Demgemäß ist der elektrische Betriebsraum von Mittelspannungsschaltanlagen und Transformatoren immer in die Schutzmaßnahmen gegen die Auswirkungen eines Störlichtbogens einzubeziehen:

- Eine Berechnung der statischen oder dynamischen Druckbelastung, aus der ein Architekt oder Statiker die Beanspruchung der Bausubstanz erkennen kann, ist zu empfehlen.
- Der Betriebsraum ist mit Druckentlastungsöffnungen ausreichenden Querschnitts oder mit einem Druckentlastungskanal auszustatten.

Um in der Planungsphase grobe Richtwerte für die Druckbelastung und/oder Druckentlastungsöffnungen zu bekommen, bietet Siemens zwei Berechnungsmethoden an.

Abschätzung der Druckauswirkungen nach Pigler

Eine einfache Methode bietet die Abschätzung nach F. Pigler [2] für Räume bis 50 m^3 . Eine entsprechende Berechnung kann durch Ihren Siemens TIP-Ansprechpartner beim Einsatz von Siemens Mittelspannungsschaltanlagen 8DJH, 8DJH Compact und 8DJH 36 erfolgen. In Abhängigkeit vom Raumvolumen, der Fläche für den freien Entlastungsquerschnitt, dem Kurzschlussstrom, des Feldtyps und einer möglichen zusätzlichen Druckentlastung mittels eines Absorbersystems wird der statische Überdruck auf die Gebäudekonstruktion ermittelt.

Die Ergebnisse einer Reihe von Druckberechnungen geben, unter Berücksichtigung veränderbarer Randbedingungen, wie zum Beispiel: Raumabmessungen, Größe der Druckentlastungsöffnung, Einsatz von druckmindernden Absorbern an der Schaltanlage, einen Überblick über das Druckverhalten hinsichtlich der Variation dieser Randbedingungen. Abb. 2 und 3 zeigen das Druckverhalten in Abhängigkeit vom Querschnitt der Druckentlastungsöffnung bei gegebenem Raumvolumen und Kurzschlussstrom (Abb. 2 für ein System mit Druckabsorber, d. h. Entlastung in den Schaltanlagenraum; Abb. 3 ohne Druckabsorber, d. h. Entlastung in den Doppelboden).

8DJH (24 kV, Einzelfelder, mit luftisoliertem Messfeld) mit Druckabsorber, Entlastung in den Schaltanlagenraum

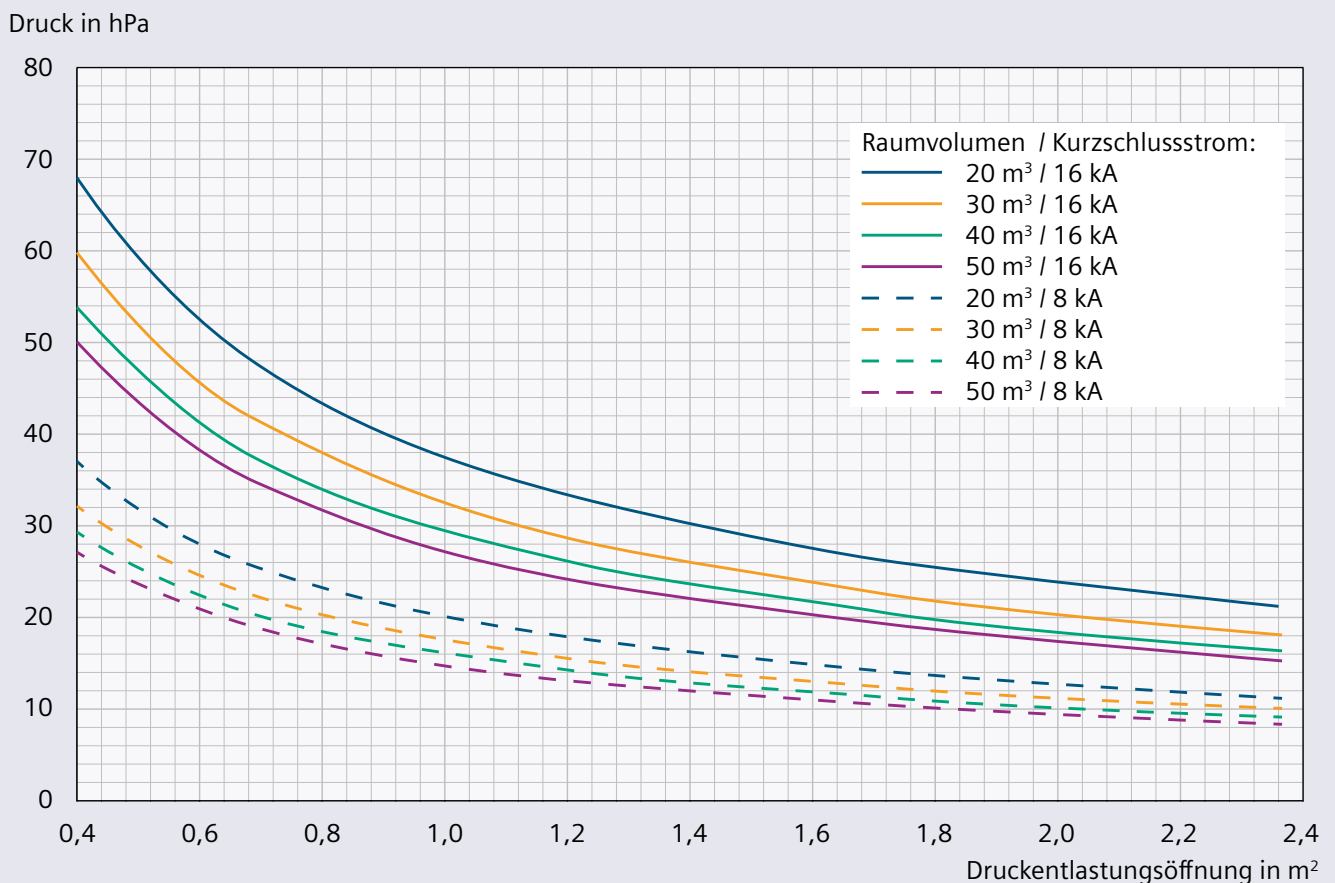


Abb. 2: Überdruckverhalten einer Schaltanlage Siemens 8DJH bei Entlastung in den Schaltanlagenraum, mit Druckabsorber

Beim selben Anlagentyp, jedoch ohne luftisoliertem Messfeld, beträgt der Überdruck mit Druckabsorber durchschnittlich nur etwa 24 % der Werte in Abb. 2 und ohne Druckabsorber nur etwa 35 % der Werte in Abb. 3. Daraus wird deutlich, dass das Messfeld ebenfalls ein kritischer Punkt bezüglich der Druckentwicklung bei Störlichtbögen ist.

8DJH (24 kV, Einzelfelder, mit luftisoliertem Messfeld) ohne Druckabsorber, Entlastung in den Doppelboden

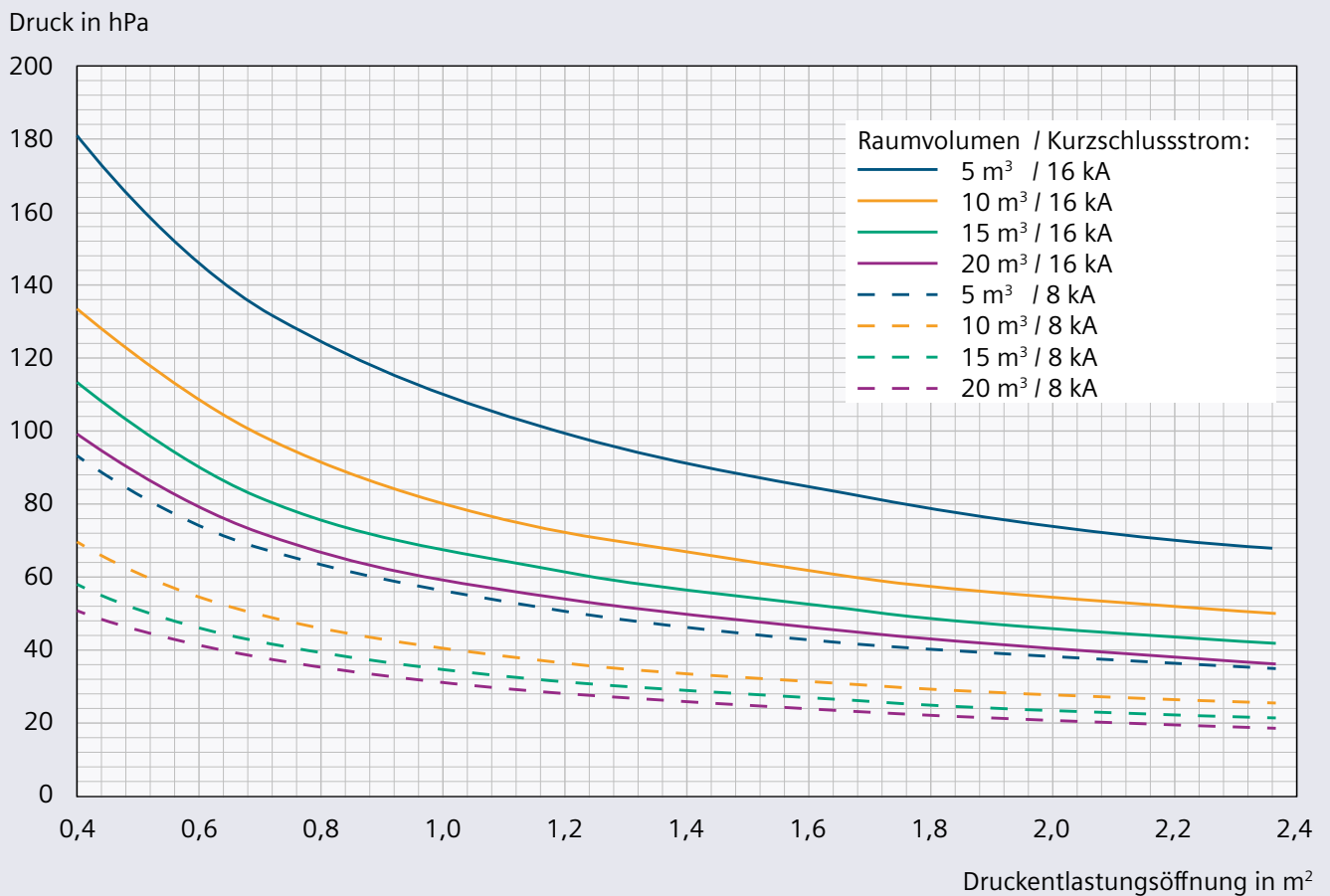


Abb. 3: Überdruckverhalten einer Schaltanlage Siemens 8DJH bei Entlastung in den Doppelboden, ohne Druckabsorber

Finite-Elemente-Simulation von Druckbelastungen im Störlichtbogenfall

In typgeprüften luft- oder gasisolierten Schaltanlagen ist zwar das Auftreten eines inneren Fehlers (mit einem Störlichtbogen) höchst unwahrscheinlich, allerdings können die Folgen eines solchen Fehlers für das Bedienungspersonal und auch für den Raum selbst gravierend sein. Deshalb müssen möglicherweise bereits bei der Anlagen- und Raumplanung entsprechende Druckentlastungsmaßnahmen vorgesehen werden. Hierzu gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie z. B. Druckentlastungsöffnungen, -kanäle oder Absorber.

Mit Hilfe modernster FE-Methoden (Finite Elemente) können Druckberechnungen in dem gesamten ortsaufgelösten Raum über die Brenndauer des Störlichtbogens durchgeführt werden. Siemens bietet als Service eine numerische Berechnung auf Basis eines 3D-Volumenmodells, bei dem die reale Aufstellung der Anlage, Druckentwicklung, Reflexion und Anordnung der Druckentlastungsöffnungen berücksichtigt werden, an (die Kosten betragen je nach Aufwand 3.000 € und mehr; diesbezügliche Anfragen können Sie an Ihren TIP-Ansprechpartner richten).

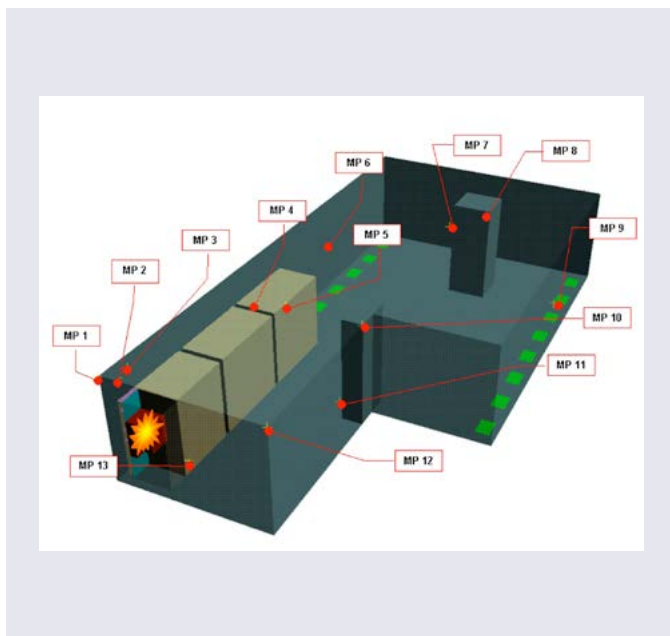


Abb. 4: Beispiel für die Ansicht eines Schaltanlagenraums mit frei gewählten Messpunkten

Für konkrete Anlagentypen, Kurzschlussströme und Aufstellungsorte der Schaltanlagen können verschiedene Szenarien der Druckbelastung durchgerechnet werden. Erhöhte Planungssicherheit und kostenoptimierte Lösungen sind somit für den Kunden gewährleistet.

Die Strömungsbedingungen werden als Randbedingungen definiert. Zum einen sind dies Bleche der Schaltanlagen und zum anderen die zu durchströmenden Absorberbleche. Schließlich legt man die Druckentlastungsöffnungen im Schaltanlagenraum fest (siehe Abb. 4). Das System ist aber auch in der Lage, einen vollkommen geschlossenen Raum zu berechnen oder Druckentlastungsöffnungen mit vorbestimmtem Ansprechdruck zu berücksichtigen. Das System liefert als Ergebnis den Druckanstieg und die Strömungsverhältnisse in jedem Raumpunkt des Finite-Elemente-Netztes über die Zeit.

Zusätzlich lässt sich die Druckverteilung auf den Schaltanlagenraumwänden zu einem Zeitpunkt als Konturplot (siehe Abb. 5) darstellen. Bei konventioneller Lufttechnik in der Schaltanlagentechnik ist gegenüber gasisolierter Technik mit Absorber mit einem um den Faktor Fünf höheren Druck und mehr zu rechnen.

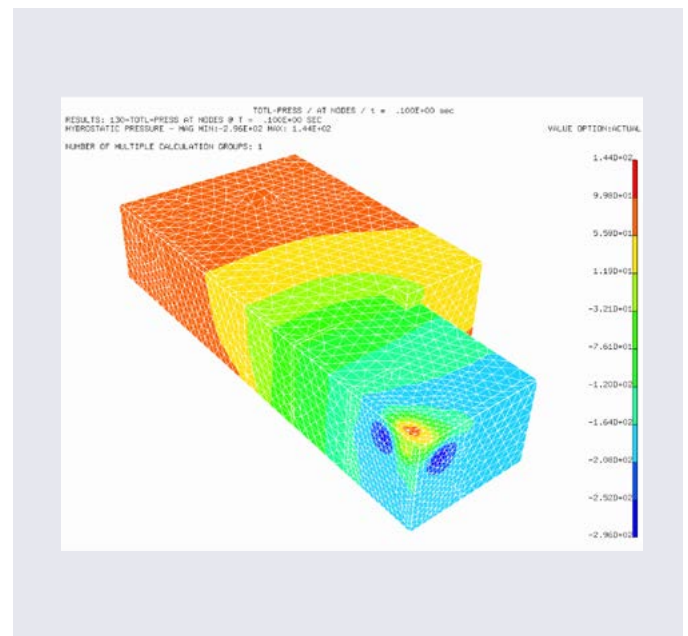


Abb. 5: Konturplot einer Simulationsrechnung zum Zeitpunkt 0,1 s

Druckauswirkungen

Ein Druckanstieg im Störlichtbogenfall muss bei der Planung des Gebäudes berücksichtigt werden, da ansonsten eine Beschädigung oder gar Zerstörung des Baukörpers möglich ist. Tab. 1 enthält Richtwerte für den zulässigen statischen Druck in Gebäuden in Abhängigkeit vom Material der Wände im Neuzustand.

Neben dem Baumaterial spielen Abmessungen, Dicke und Einspanndruck der Wand im Baukörper eine wichtige Rolle bei der Druckbelastung. Die Auslegung des Bauwerks für den errechneten Druck muss durch den Baustatiker erfolgen, da es keine verbindlichen oder allgemeingültigen Werte gibt. Als Anhaltspunkt werden in Tab. 2 exemplarisch einige Werte aus dem Bericht [3] aufgeführt.

Art der Wand	Zulässiger Überdruck im Raum
Gipskarton	< 10 hPa
Ziegelwand ohne seitlichen Anschluss (z. B. zwischen Betonpfeilern)	10 hPa
Ziegelwand mit Bewehrungseisen, Wandstärke \geq 24 cm (z. B. zwischen Betonpfeilern)	25 hPa
Fertigbetonteile	50 hPa
Ortbeton	> 70 hPa
Betonraumzelle	130 hPa

Tab. 1: Belastbarkeit verschiedener Wandmaterialien bei Überdruck [1]

Konsequenz	Spitzenüberdruck (hPa = mbar)
Direkte Personenschäden	
Unangenehme Knallwirkung tiefer Frequenz	1,5 hPa
Sehr lauter Knall	3 hPa
Personen werden umgeworfen	10 hPa
Druckbezogener Grenzwert für Schäden durch Spreng- und Wurfstücke	15 hPa
Untere Grenze Trommelfellriss	175 hPa
Beschädigung des Trommelfells	300 hPa
Untere Grenze für Lungenschäden	850 hPa
Untere Grenze für schwere Lungenschäden	1.850 hPa
Untere Letalitätsgrenze	2.050 hPa
Glasscheiben	
Gelegentlicher Bruch großer unter Spannung stehender Scheiben	2 hPa
Glasbruch durch Schallwellen	3 hPa
Bruch kleiner unter Spannung stehender Scheiben	5 hPa
Zerstörung 10 % Fensterscheiben	10 hPa
Zerstörung 50 % Fensterscheiben	30 hPa
Zerstörung 75 % Fensterscheiben	50 hPa
Gebäudeschäden	
Schäden an Fensterrahmen, Türen und Dächern	5 hPa
Geringe Schäden an Dächern	20 hPa
Zerstörung der Dächer und Wände von Holzhäusern	60 hPa
Leichte bis mittlere Schäden an Wohngebäuden	120 hPa
Zerstörung gemauerter Wände	200 hPa
Mittlere bis schwere Schäden an Wohngebäuden	350 hPa
Nahezu vollständige Zerstörung üblicher Gebäude	400 hPa
Zerstörung mehrgeschossiger Gebäude, Zerstörung 50er Mauerwerk	500 hPa
Schäden an der Infrastruktur	
Stahlblechplatten verbeult	75 hPa
Stahlrahmen von Skelettgebäuden leicht verformt	95 hPa
Öltanks aufgerissen	215 hPa
Zerstörung von Stahlbetonwänden	350 hPa
Leere Eisenbahnwagen umgeworfen	460 hPa
Beladene Güterwagen umgeworfen	600 hPa
Beladene Güterwagen zerstört, 99 % Schäden an horizontal gelagerten Druckbehältern, chemischen Reaktoren und Wärmetauschern	750 hPa

Tab. 2: Auswirkungen abhängig von der Größe des Überdrucks [3]

Prüfung einer Niederspannungsschaltanlage

Der Technische Bericht IEC/TR 61641 beschreibt eine Sonderprüfung für Niederspannungsschaltanlagen, die zwar keine bindende Vorschrift im Sinne einer Bauart- oder Typprüfung ist, aber empfohlen wird, da sie die Personensicherheit wesentlich verbessert. Die bauartgeprüften Schaltanlagen SIVACON von Siemens erfüllen die entsprechenden Anforderungen.

Die Kriterien zur Beurteilung der Prüfung unter Störlichtbogenbedingungen hinsichtlich Personensicherheit sind:

- Ordnungsgemäß gesicherte Türen, Abdeckungen usw. öffnen sich nicht
- Gefährliche Teile (z. B. große oder schwere Teile, Teile mit scharfen Kanten) der Schaltanlage können nicht wegfliegen
- Es entstehen keine Löcher in frei zugängigen äußeren Teilen der Umhüllung
- Vertikal angebrachte Indikatoren, die speziell angebracht wurden, entzünden sich nicht (Ausnahme: Indikatoren zur Erfassung der Wärmewirkung von Gasen, die durch brennende Farbanstriche oder Aufkleber entzündet werden, sind bei der Beurteilung auszuschließen)
- Der Schutzleiterstromkreis für berührbare Teile der Umhüllung ist weiterhin funktionsfähig.

Für die Anlagensicherheit ist zusätzlich einzuhalten:

- Der Störlichtbogen bleibt auf den definierten Bereich begrenzt, und es erfolgt keine Neuzündung in den angrenzenden Bereichen
- Nach Störungsbeseitigung, bzw. nach Abtrennen oder Ausbau der betroffenen Funktionseinheiten, ist ein Notbetrieb der Schaltanlage möglich. Dies ist durch eine Isolationsprüfung mit dem 1,5-fachen Wert der Bemessungsbetriebsspannung für die Dauer von einer Minute nachzuweisen.

Je nach Netzaufbau kann der durch einen Störlichtbogen verursachte Schadensumfang vergleichbar mit dem bei einer Mittelspannungs-Schaltanlage sein. Trotzdem ist das Thema Druckberechnung im Niederspannungsbereich sowie auch für einen Traforaum noch nicht gängig. Man sollte sich jedoch über die Gefahren, die hier ebenso auftreten können, im Klaren sein. Deshalb kann die Beachtung der Montagehinweise des jeweiligen Schaltanlagentyps nur dringend empfohlen werden. Für den Traforaum gibt es von Siemens ein Tool, das nachfolgend kurz beschrieben wird.

Prüfung von Mittelspannungsschaltanlagen unter Störlichtbogenbedingungen

Für eine erfolgreiche Typprüfung von Mittelspannungsschaltanlagen ist auch eine Störlichtbogenklassifikation IAC (en: internal arc classification) nach IEC 62271-200 erforderlich. Unterschieden wird bei der Klassifikation nach

- Zugänglichkeit:
 - A Zugang nur für Fachpersonal
 - B Öffentlicher Zugang
(bedeutet erhöhte Prüfschärfe)
- Klassifizierte, zugängliche Seiten der Schaltanlage:
 - F Front (Frontseite)
 - L Lateral (Seitenwand)
 - R Rear (Rückwand)
- Prüfstrom und Dauer.

Beispiel: Störlichtbogenklassifizierung IAC AR BFL 25 kA 1 s

Die Angaben besagen, dass auf der Rückseite nur Fachpersonal Zugang haben darf, während Front und Seitenteile frei zugänglich sind. Die Störlichtbogenprüfung erfolgte mit einem Prüfstrom von 25 kA für die Dauer von einer Sekunde.

Anmerkung:

Mittelspannungsschaltanlagen in elektrischen Betriebsräumen werden generell nach Zugänglichkeit Typ A geprüft, da hier nur elektrisch ausgebildetes Fachpersonal Zugang hat. Nur komplette, fabrikfertige Stationen, wie Transformator-/Schwerpunktstationen, bzw. Betonstationen, werden für Typ B geprüft.

Die Kriterien zur Beurteilung der Prüfung unter Störlichtbogenbedingungen hinsichtlich des Personenschutzes entsprechen denen in der Niederspannung.

Projektierung eines Transformatorraums

Wie in Mittelspannungs- und in Niederspannungsschaltanlagen besteht die Gefahr eines Störlichtbogens auch im Transformatorraum. Im Vergleich zu den Schaltanlagenräumen kann der Druckanstieg weitaus höher sein, da die Räumlichkeiten für den Transformator oftmals beengt sind. Die Forderung einen entsprechenden Nachweis des Druckanstiegs im Störlichtbogenfall zu führen, wird durch Gutachter forciert.

Siemens hat auf Basis der Abschätzungen nach F. Pigler [2] und eigenen Erfahrungswerten ein Tool (Abb. 6) zur Berechnung des Druckanstiegs im Störlichtbogenfall entwickelt.

Beim Einsatz von Siemens GEAFOF-Transformatoren kann mit Hilfe von SITRATO (Bestandteil der SIMARIS Suite) diese Berechnung durchgeführt werden oder wenden Sie sich an die Siemens TIP-Ansprechpartner (www.siemens.de/tip/ kontakt). Neben einer grafischen Auswertung für den Druckverlauf (Abb. 7) werden die Daten zur Belüftung und zum Druckanstieg in der Dokumentation ausgegeben.

Folgende für die Planung einer elektrischen Anlage nützliche Kenndaten bzw. physikalische Größen in SITRATO sind:

- EMV-Grenzwerte und entsprechend notwendige Abstände
- Überschlägige Ermittlung der Leistungsreduktion für Standardtransformatoren aufgrund von Oberschwingungen
- Effizienz eines Transformators zur Auswahl eines verlustoptimierten Arbeitsbereichs.

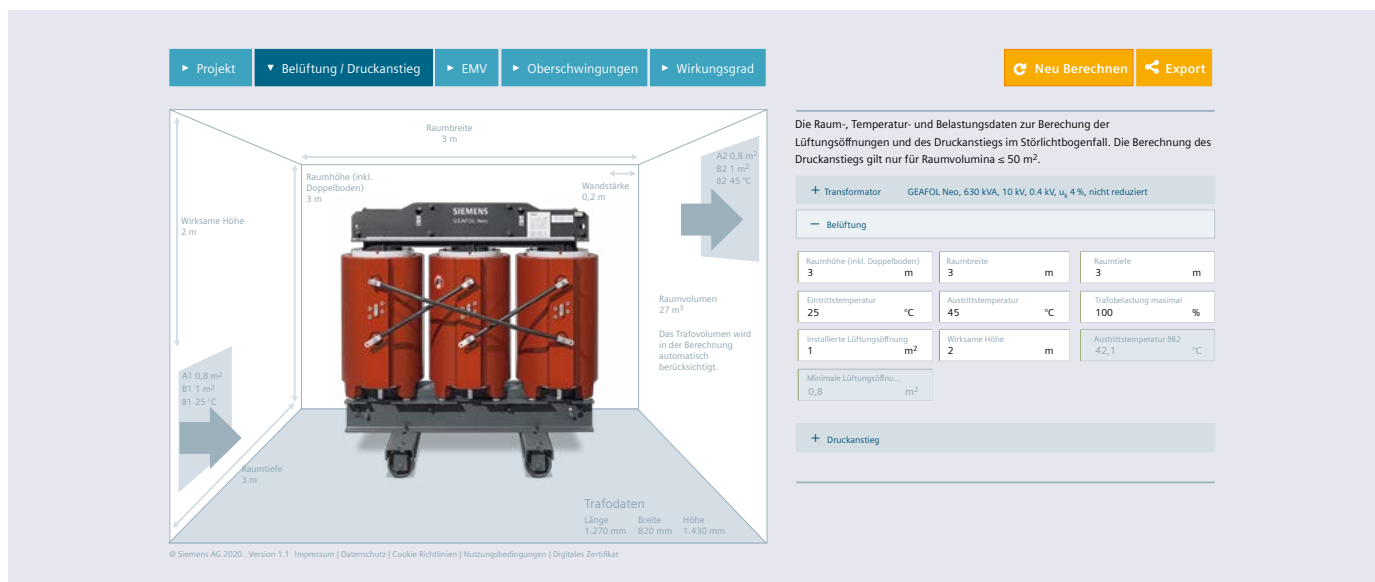


Abb. 6: Bildschirmansicht des Berechnungstools SITRATO für einen Transformatorraum

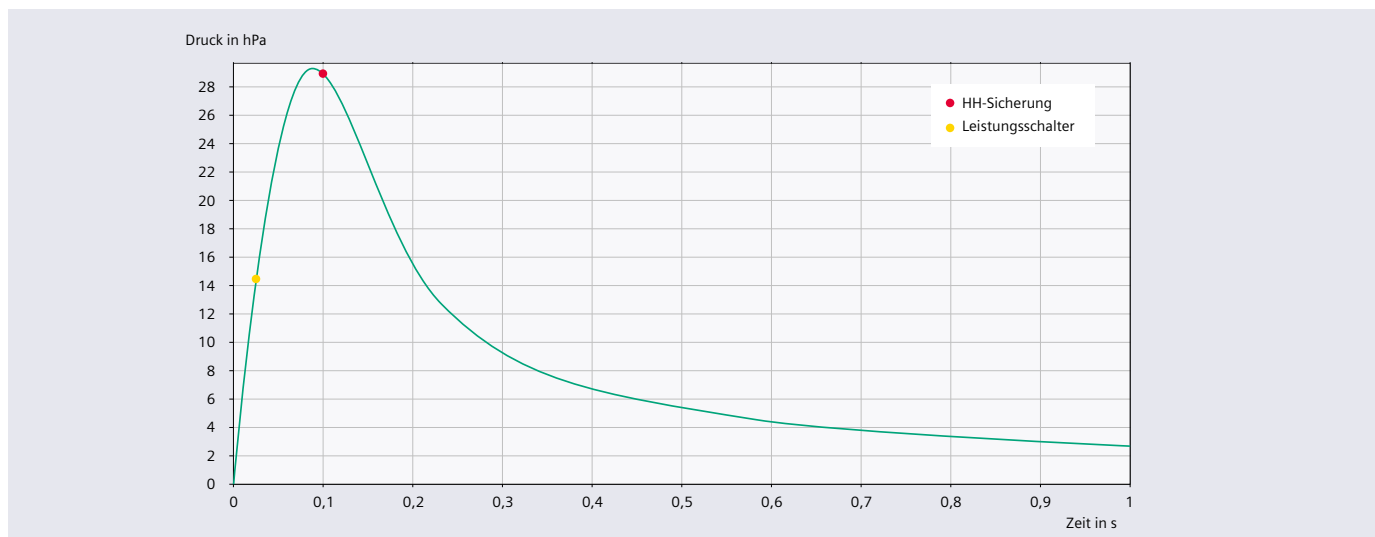


Abb. 7: Druckverlauf für die Beispielrechnung eines Transformatorraums

Schutz bei einem Störlichtbogen in Schaltanlagen

In der Praxis haben sich zwei Prinzipien zum Schutz bei Störlichtbogen etabliert. Auf der einen Seite der passive Störlichtbogenschutz, dessen Grundprinzip auf Prävention beruht. Das heißt, die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Störlichtbogens wird zu jeder Zeit sehr stark reduziert, bzw. die Entstehung kann sogar verhindert werden. Das passive Schutzkonzept findet häufig in Niederspannungsschaltanlagen, wie der SIVACON S8, Anwendung.

Auf der anderen Seite kommt der aktive Störlichtbogenschutz in den letzten Jahren verstärkt zum Einsatz. Dessen Ansatz liegt darin, dass ein Störlichtbogen auftreten kann und dann schnellstmöglich, das heißt innerhalb weniger Millisekunden, erkannt und mit aktiven Mitteln zum Verlöschen gebracht wird, um so den Schadensumfang zu minimieren. Der aktive Störlichtbogenschutz wird als eigenständiges System von verschiedenen Herstellern angeboten. Die verschiedenen Systeme unterscheiden sich zwar in Details, die Funktionsweise beruht jedoch zumeist auf dem gleichen Prinzip. Aktive Störlichtbogenschutzsysteme werden bei Siemens sowohl in Niederspannungs- (SIVACON S8) als auch in luftisolierten Mittelspannungsschaltanlagen (NXAIR) eingesetzt.

Welches Schutzprinzip in Niederspannungsschaltanlagen zum Einsatz kommen soll, hängt von mehreren Faktoren ab:

- Wirtschaftliche Aspekte, wie Investitions- und Servicekosten
- Verfügbarkeit der Anlage und Ausfallzeiten mit Folgekosten
- Zuverlässigkeit des Schutzprinzips und der verwendeten Materialien bzw. Betriebsmittel
- Anforderungen an die Personensicherheit
- Gewünschter Schutzzumfang der Schaltanlagenzonen
- Positive oder negative Erfahrungswerte.

Prinzip des passiven Störlichtbogenschutzes

Beim passiven Störlichtbogenschutz wird durch den Einsatz von Isolierwerkstoffen (z. B. Teroson), mit denen spannungsführende blanke Leiter umwickelt werden, von Abdeckungen, Shutter und Ähnlichem verhindert, dass parallele Lichtbögen (zwischen zwei aktiven Leitern oder zwischen einem aktiven Leiter und dem N-Leiter) entstehen können. Je nach gewünschter Verfügbarkeit kann dieser Schutz in mehreren Stufen erfolgen, von der Begrenzung der Auswirkungen eines Störlichtbogens auf ein Feld, über die Begrenzung auf einen Funktionsraum bis zur Begrenzung auf den Entstehungsort. Beispiele dazu sind in Abb. 8 dargestellt.



Abb. 8: Passives System zur Verhinderung eines Störlichtbogens, mit isolierter Sammelschiene, Feldverbinder, Einspeisung und Abgang sowie MCC-Einschub

Grundvoraussetzung für die Sicherheit und die Qualität des passiven Systems ist die fachgerechte Montage der Isolation. Für die Siemens-Schaltanlagen gibt es eine spezielle Montageanweisung, in der auch die Beschaffenheit und Anordnung der Materialien spezifiziert sind (siehe Abb. 9).

tapes can be joined in any of the ways shown in figures, as appropriate to the different dimensions of the busbars to be clad

8PQ9113-8AA66
TEROSON 2750 SW

8PQ9113-8AA66
TEROSON 2750 SW

special notes	spezielle Hinweise
<ul style="list-style-type: none"> The length of the overlap of the protective tape should be 15 mm per joint to ensure good adhesion It is important that the top protective tape ends approx. 2 mm before the edge of the workpiece, to ensure that the tape cannot lose adhesion due to the curved surfaces. The protective tape should be pressed lightly with a brush in the area of the joints (fleece side), as this improves adhesion. All joint surfaces must be free of dust, grease, oil and other contamination. Overlapping joints are to be made such that there are never more than 2 layers of protective tape on top of each other. Exceptions are permissible where unavoidable. 	<ul style="list-style-type: none"> Die Länge der Überlappung des Schutzbandes soll für eine gute Haftung 15mm pro Klebestelle betragen. Es ist darauf zu achten, dass das oben aufliegende Schutzband ca. 2mm vor der Werkstückkante endet, damit es nicht auf einer gekrümmten Oberfläche zu Ablösungen kommt. Das Schutzband ist mit einem geeigneten Werkzeug im Bereich der Klebefläche leicht anzudrücken, weil dadurch die Haftung verbessert wird. Alle Klebeflächen müssen frei von Staub, Fett, Öl und sonstigen Schmutzresten sein. Überlappende Verklebungen sind so auszuführen, daß nicht mehr als 2 Schichten des Schutzbandes übereinanderliegen. Abweichungen sind in unvermeidbaren Fällen zulässig.

AKI Betriebsmittelwerkzeugbau. Alle Rechte vorbehalten.

insulation bars

isolation Schienen

8PQ9800-5AA75.00

1-

Abb. 9: Arbeitsanweisung für die Montage eines passiven Systems für Siemens-Schaltanlagen

Prinzip des aktiven Störlichtbogenschutzes

Die derzeit auf dem Markt verfügbaren aktiven Störlichtbogenschutzsysteme benötigen zwei Kriterien zum korrekten Arbeiten:

- Lichtkriterium:
Bei Entstehung eines Störlichtbogens, z. B. durch Isolationsfehler, unsachgemäße Arbeiten an der Anlage oder durch Kleingetiere, entsteht ein Lichtblitz, der durch einen Punktsensor oder durch einen faseroptischen Lichtwellenleiter (Linienensor) erkannt wird.
- Stromkriterium:
Stromwandler registrieren einen steilen Stromanstieg.

Beide Kriterien müssen erfüllt sein, wenn in der Erfassungs- und Auslöseeinheit (IACD Internal Arc Fault Device) auf Störlichtbogen erkannt und eine Auslösung erfolgen soll. Abb. 10 zeigt das allgemeine Funktionsprinzip eines aktiven Störlichtbogenschutzes.

Innerhalb weniger Millisekunden wird das Störlichtbogenlöschgerät (AQD; en: arc quenching device) ausgelöst, wodurch ein niederohmiger Strompfad entsteht, über den der Fehler- bzw. Kurzschlussstrom nun fließt und so den Lichtbogen zum Verlöschen bringt. Dieser Strompfad bleibt so lange bestehen, bis der einspeisende Leistungsschalter den Kurzschlussstrom unterbrochen hat. Die minimale Zeit, in der der Störlichtbogen brennt, begrenzt die Schadenswirkungen auf Personen und Anlagen enorm. Siemens setzt das in Abb. 11 gezeigte Portfolio bei seinem Mittel- und Niederspannungsschaltanlagen ein.

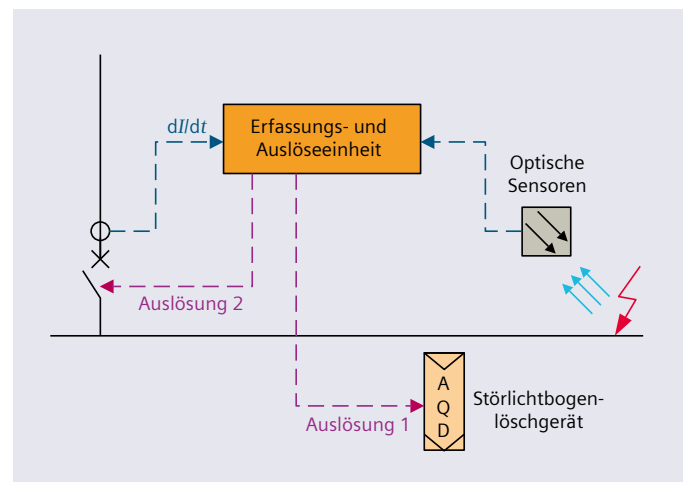


Abb. 10: Allgemeines Funktionsprinzip eines aktiven Störlichtbogenschutzes



Abb. 11: Portfolio der Störlichtbogenlöschgeräte von Siemens

Arbeiten unter Spannung

Das Arbeiten an oder in der Nähe von elektrischen Anlagen birgt stets die Gefahr, dass ein Störlichtbogen Personen in unmittelbarer Nähe gefährdet. Ein Störlichtbogen kann nicht nur bei einem Kurzschluss, sondern auch beim Trennen von spannungsführenden Teilen entstehen, zum Beispiel beim Ziehen von Sicherungen. Das Risiko einer thermischen Gefährdung von Personen durch einen Lichtbogen kann durch eine persönliche Schutzausrüstung (PSA; en: PPE – personal protective equipment) reduziert werden.

Die Auswirkungen eines Störlichtbogens werden hauptsächlich durch die elektrische Lichtbogenenergie W_{arc} und dem Abstand a der Person vom Lichtbogen bestimmt. W_{arc} wiederum wird von der Lichtbogenwirkleistung P_{arc} und der Lichtbogendauer t_{arc} bestimmt.

Die Einwirkenergie E_i kennzeichnet die Wärmemenge, die durch einen elektrischen Lichtbogen je Flächeneinheit in einer festgelegten Entfernung zum elektrischen Lichtbogen verursacht wird. Die Einwirkenergie E_i ist zwar linear proportional zur Lichtbogenenergie W_{arc} , aber die Transmissionsfunktion f_T hängt nichtlinear von zahlreichen Einflussfaktoren ab:

$$E_i = f_T \cdot W_{arc} \quad \text{mit } f_T = f(x_v)$$

Dabei sind die Parameter x_v für $v = 1$ bis 6 :

- x_1 : Abstand a zur Achse des Lichtbogens (annähernd umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands)
- x_2 : Räumliche Umgebung des Lichtbogens (offen, Gehäuse, Wände, ...)
- x_3 : Elektrodenkonfiguration (vertikal, horizontal, Barrieren, 2-polig/3-polig)
- x_4 : Elektrodenabstand d
- x_5 : Elektrodenmaterial
- x_6 : Spannungs- und Stromniveau des elektrischen Systems (Netz).



Als kritische Grenze für den menschlichen Körper werden bei Störlichtbögen Hautverbrennungen zweiten Grades angesehen. In der Norm IEEE 1584 wird diese Grenze ohne Schutzausrüstung bei einer Einwirkenergie von 50 kJ/m^2 ($1,2 \text{ cal/cm}^2$) festgelegt. Im Gegensatz dazu haben Stoll-Chianti [5] eine differenziertere Grenzkurve in Abhängigkeit der Einwirkzeit t_i definiert:

$$E_i = 50,204 \text{ kW/m}^2 \cdot t_i^{0,2901}$$

Abb. 12 verdeutlicht an einem beliebigen Beispiel den Einfluss der PSA auf die Einwirkung eines Lichtbogens anhand der dadurch verursachten Temperaturerhöhung und die Relation zur Stoll-Kurve. Die Temperaturerhöhung ist proportional zur Einwirkenergie [4]

$$E_i = f(\text{Sensor}) \cdot \Delta T_{\max}$$

wobei der Faktor $f(\text{Sensor})$ von den Eigenschaften der verwendeten Kalorimeter zur Temperaturmessung abhängt. Die Abbildung zeigt, dass die getestete PSA Hautverbrennungen zweiten Grades verhindern kann, was ohne Schutz (Sensor 1) wohl nicht der Fall wäre.

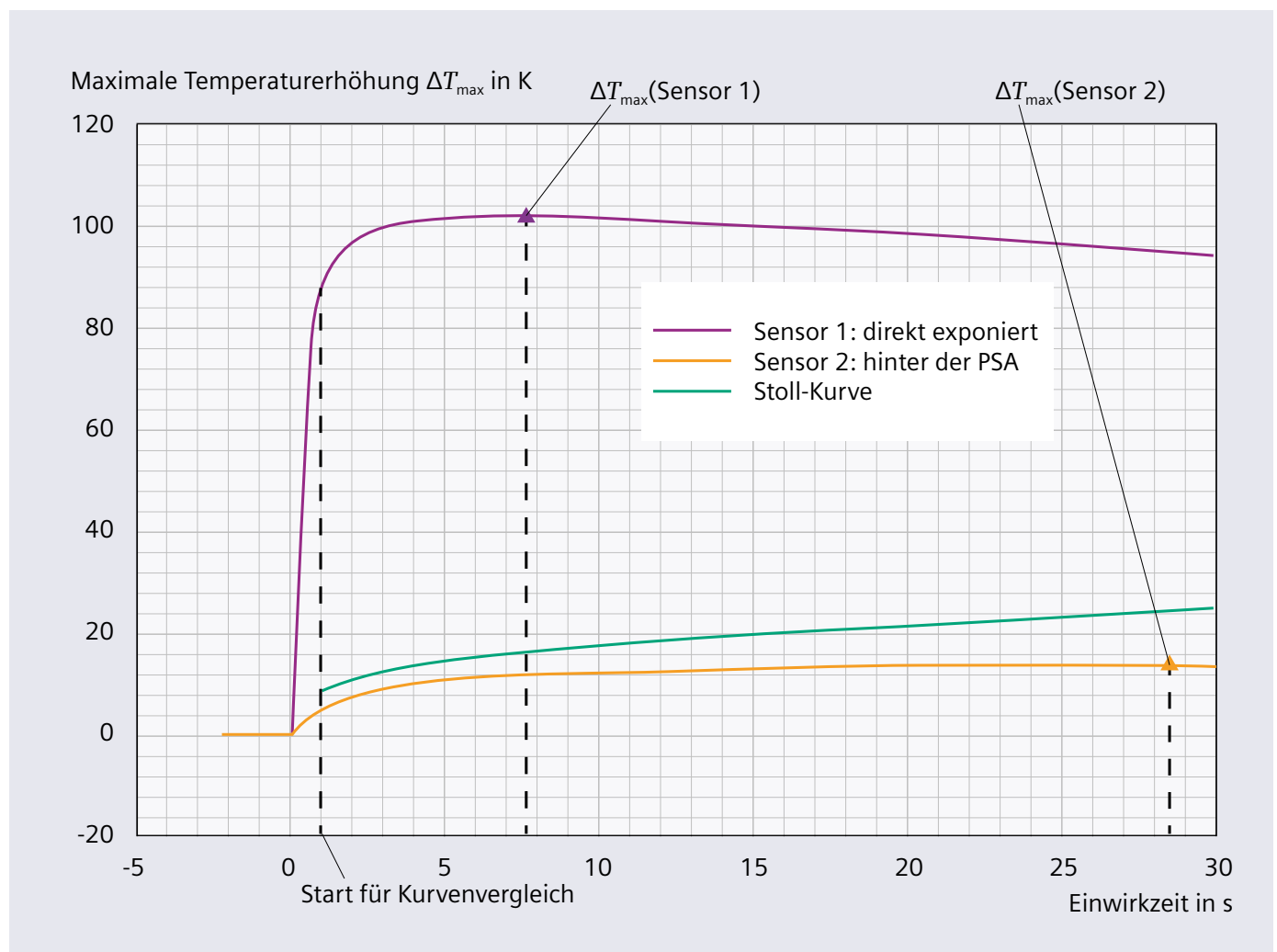


Abb. 12: Temperaturverläufe während einer Lichtbogenprüfung (Beispiel aus [4], bei dem Sensor 1 direkt exponiert ist und Sensor 2 sich hinter der PSA befindet)

Standardisierte Prüfverfahren für PSA-Produkte

Entsprechend den IEC-Standards gibt es zwei Prüfverfahren für die PSA:

- Arc-Rating-Test nach IEC 61482-1-1
- Box-Test nach IEC 61482-1-2.

Beim Arc-Rating-Test werden unter Laborbedingungen die Lichtbogenkennwerte

- ATPV: Thermischer Lichtbogenkennwert (en: arc thermal performance value)
 - EBT: Schwellenergie zum Aufbrechen (en: breakopen threshold energy)
 - ELIM Einwirkenergiegrenze (en: incident energy limit)
- von Materialien, Kleidungsstücken und Kombinationen von Kleidungsstücken mit einem offenen Lichtbogen bestimmt. Dabei wird ein Lichtbogen erzeugt, dessen Wärmeabstrahlung bei offenem Aufbau in alle Richtungen erfolgen kann. Die Prüfenergie wird schrittweise durch Änderung der Lichtbogendauer bei konstantem prospektiven Prüfstrom (8 kA) variiert. Zum Beispiel wird als Lichtbogenkennwert ATPV der Schutzkleidung die Einwirkenergie bestimmt, bei der mit 50-prozentiger Wahrscheinlichkeit mit einer Verbrennung zweiten Grades zu rechnen ist, ohne Aufbrechen der Kleidung.

Beim Box-Test wird im Gegensatz zum Arc-Rating-Test ein gerichteter Prüflichtbogen verwendet, um eine Einstufung der Schutzkleidung hinsichtlich der beiden in IEC 61482-1-2 definierten Schutzklassen (Tab. 3) zu erreichen. Klasse 1 entspricht einem Basisschutz und Klasse 2 steht für ein erhöhtes Schutzniveau.

Der Box-Test wird mit konstanten Prüfparametern und einem konstanten prospektiven Prüfstrom 4 kA (Klasse 1) beziehungsweise 7 kA (Klasse 2) durchgeführt. Der Lichtbogen wird in einem Gehäuse (Box) mit nur einer Öffnung (nach vorne) gezündet. Wärmestrahlung, Konvektion und Metallspritzer sind damit auf die "Person" gerichtet.

Die Prüfpegel (Prüfstrom) im Box-Test stellen nicht die Anwendungsgrenzen der PSA dar. Die tatsächliche Schutzwirkung kann somit auch bei höheren Energien gegeben sein, wird aber nicht getestet. Das Testergebnis kennzeichnet nur:

Prüfung für Klasse 1 oder 2 bestanden -> ja / nein.

Der Box-Test und der Arc-Rating-Test können nicht miteinander verglichen werden, da ein unterschiedlicher Aufbau und Prüfbedingungen zugrundeliegen.

	Lichtbogenenergie		Einwirkenergie	
	Mittelwert W_{arc}	Zulässige Abweichung	Mittelwert E_{i0}	Zulässige Abweichung
Klasse 1	168 kJ	± 17 kJ	146 kJ/m ²	± 28 kJ/m ²
Klasse 2	320 kJ	± 22 kJ	427 kJ/m ²	± 39 kJ/m ²

Tab. 3: Lichtbogen- und Einwirkenergien für die Schutzklassen von PSA nach IEC 61482-1-2

Ermittlung der Einwirkenergie nach IEEE 1584

Der Standard IEEE 1548 definiert ein empirisches Modell, auf dessen Basis die Einwirkenergie eines Störlichtbogens ermittelt werden kann. Für eine Risikobewertung wird als Störlichtbogengrenze der Abstand zum Ort des Störlichtbogens bestimmt, an dem die Einwirkenergie 50 kJ/m^2 beträgt und somit keine Verbrennungen zweiten Grades mehr zu erwarten sind. Randbedingungen des Modells sind:

- Netzspannung zwischen 208 V und 15 kV
- Frequenz 50 Hz oder 60 Hz
- Klemmenkurzschlussstrom (I_k''):
 - 500 A bis 106 kA für $U_n \leq 600 \text{ V}$
 - 200 A bis 65 kA für $U_n > 600 \text{ V}$
- Leiterabstand:
 - 6,35 mm bis 76,2 mm für $U_n \leq 600 \text{ V}$
 - 19,05 mm bis 254 mm für $U_n > 600 \text{ V}$
- Arbeitsabstand mindestens 305 mm
- Korrekturfaktoren für Gehäuseabmessungen, die von denen im Box-Test abweichen
- Unterschiedliche Elektroden- bzw. Leiteranordnungen:
 - Leiteranordnung frei in Luft:
horizontal (HOA) oder vertikal (VOA) → Berechnung für PSA gemäß IEC 61482-1-1
 - Leiteranordnung in einem Gehäuse:
horizontal (HCB), vertikal (VCB) oder vertikal mit Abschluss- bzw. Isolationsplatte (VCBB) → Berechnung für Schutzausrüstung gemäß IEC 61482-1-2.

Zur Risikobestimmung für das Auftreten eines Störlichtbogens in einer Schaltanlage müssen alle möglichen Fehlerorte innerhalb der Schaltanlage und aller Schaltfelder ermittelt und entsprechend der Konfigurationen und Parameter die Einwirkenergien bestimmt werden. Das Vorgehen zur

Bestimmung der Einwirkenergie an einem Fehlertort kann wie folgt grob skizziert werden:

1. Bestimmung aller 3-poligen Klemmenkurzschlussströme unter Berücksichtigung aller möglichen Netzschaltzustände, Anteile motorischer Rückspeisung, Parallelbetrieb von Energiequellen, usw. (analog zu IEC 60909-0: Berechnung von Kurzschlussströmen in Drehstromnetzen)
2. Bestimmung geometrischer Größen:
 - Leiterabstand
 - Gehäusegröße, einschließlich Korrekturfaktoren für abweichende Größen zum Box-Test
 - Bestimmung der Leiteranordnung am Fehlerort
 - Bestimmung des Arbeitsabstands
3. Bestimmung des mittleren und minimalen Störlichtbogenstroms für alle Betriebszustände basierend auf den Daten aus Punkt 1 und 2
4. Bestimmung der Störlichtbogenbrenndauer abhängig vom Schutzgerät und von den in Punkt 3 ermittelten Ströme
 - Das obere Toleranzband der Auslösekennlinie des Schutzgeräts ist zu verwenden; anderenfalls sind die Schaltereigenzeiten und weitere Toleranzen des Schutzgeräts zu berücksichtigen
 - Bei Sicherungen darf die Brenndauer nicht kleiner als 10 ms angesetzt werden
5. Bestimmung der Einwirkenergie und damit der Störlichtbogengrenze.

Aufgrund der empirischen Formeln in IEEE 1548 mit den vielen zu wählenden Faktoren und der notwendigen Kenntnis über den Aufbau der Schaltanlage, vor allem bei Anordnung und Abstand der Leiter ist das Verfahren relativ komplex und aufwändig.

Ermittlung der Lichtbogenenergie nach DGUV Information 203-077

Für eine korrekte Auswahl der PSA bei Arbeiten unter Spannung kann auch das von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV in der Information 203-077 [6] beschriebene Verfahren genutzt werden. Dabei wird die zu erwartende Lichtbogenenergie W_{arc} bei einem Störlichtbogen mit dem Schutzpegel $W_{\text{arc-PSA}}$ der vorgesehenen PSA verglichen.

In [6] wird eine Abschätzung der Lichtbogenenergie auf Basis des Box-Tests nach IEC 61482-1-2 vorgestellt. Mit diesem Verfahren soll die Störlichtbengefährdung mit ausreichenden Sicherheitsmargen auf einfache Art und Weise ermittelt werden. Ergänzend dazu zeigt Abb. 13 auf der nächsten Seite in einem einfachen Prozessdiagramm eine Übersicht der einzelnen Schritte.

Die Lichtbogenenergie W_{arc} ist das Produkt aus Lichtbogenleistung P_{arc} und Lichtbogendauer $t_{\text{arc}} =$ Kurzschlussdauer t_k :

1. Die Kurzschlussdauer t_k

wird durch die Überstromschutzeinrichtung beim minimalen Lichtbogenstrom $I_{\text{arc,min}}$ bestimmt. Als "Worst-Case" wird dabei der minimale dreiphasige Kurzschlussstrom $I_{k3,min}''$ gewählt. Aufgrund der strombegrenzenden Wirkung eines Störlichtbogens gilt:

$$I_{\text{arc,min}} = I_{k3,min}'' \cdot k_b$$

mit Strombegrenzungsfaktor $k_b = 0,5$

im Niederspannungsbereich (im Mittelspannungsbereich größer 1 kV ist $k_b = 1$):

a) Bei verzögerter Abschaltung:

t_k wird aus der Strom-Zeitkennlinie des Schutzgeräts unter Berücksichtigung der Toleranz und Schaltereigenzeit (oberes Toleranzband der Auslösekennlinie, Abb. 13) bestimmt

b) Bei unverzögerter Abschaltung:

Niederspannungs-Leistungsschalter (≤ 1.000 V)

$$t_k = 60 \text{ ms}$$

Mittelspannungs-Leistungsschalter (> 1 bis 40,5 kV)

$$t_k = 100 \text{ ms}$$

c) Im strombegrenzenden Bereich von Sicherungen:

$$t_k = 10 \text{ ms}$$

2. Die Lichtbogenleistung P_{arc} wird mit Hilfe der bezogenen Lichtbogenleistung k_p und der Kurzschlussleistung S_k'' berechnet:

$$P_{\text{arc}} = k_p \cdot S_k'' = k_p \cdot \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k3,max}''$$

Hierfür wird der maximale prospektive dreiphasige Kurzschlussstrom $I_{k3,max}''$ angesetzt ¹⁾.

Die bezogene Lichtbogenleistung k_p wird in [6] als Verhältnis von Lichtbogenleistung zu Kurzschlussleistung des elektrischen Netzes am Fehlerort definiert und wird wesentlich von der Netzennennspannung, vom Abstand d zwischen den Elektroden und dem Verhältnis zwischen Resistanz und Reaktanz (R/X) bestimmt. Richtwerte aus [6] sind in Abb. 13 zu finden.

Ist der Elektrodenabstand d unbekannt, kann als "Worst-Case" angesetzt werden:

$$k_p = k_{p,max} = 0,29 \cdot (R/X)^{0,17}$$

3. Zur Anpassung an die Arbeitsbedingungen müssen zudem der Typ der Schaltanlage und der typische Arbeitsabstand berücksichtigt werden, so dass für die umgebungsabhängige, effektiv wirksame Lichtbogenenergie $W_{\text{arc,eff}}$ gilt:

$$W_{\text{arc,eff}} = [(300 \text{ mm} / a)^2 / k_T] \cdot W_{\text{arc}}$$

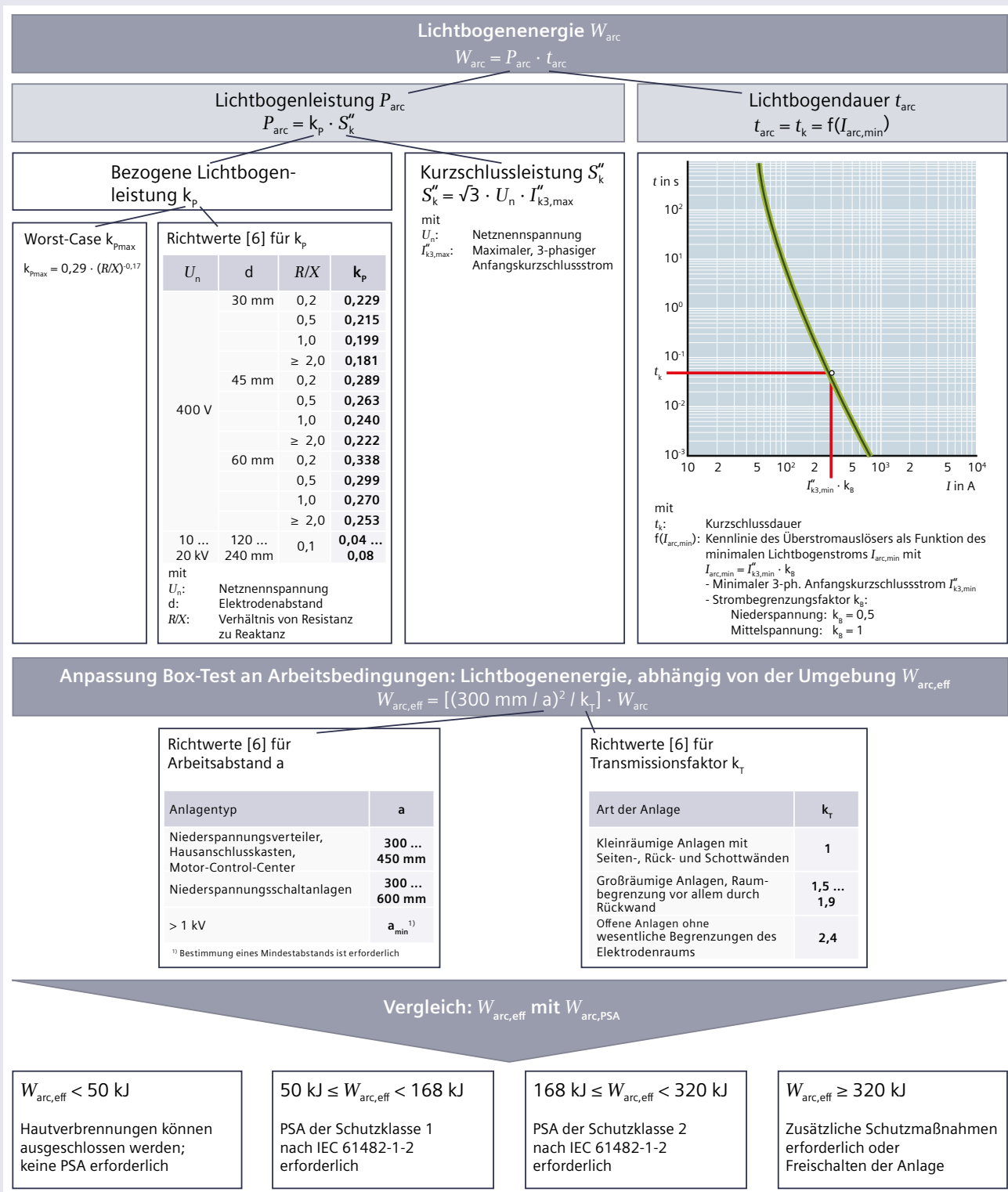
mit

k_T → Transmissionsfaktor für die Art der Anlage (Richtwerte siehe Abb. 13)

a → Arbeitsabstand (typische Werte [6] siehe Abb. 13)

4. Für die Auswahl der geeigneten Schutzmaßnahmen bei Arbeiten unter Spannung wird die ermittelte Lichtbogenenergie $W_{\text{arc,eff}}$ mit den Werten $W_{\text{arc,PSA}}$ aus IEEE 1548 und IEC 61482-1-2 verglichen, wie in Abb. 13 gezeigt.

1) Dazu ist die Bestimmung aller dreipoligen Klemmenkurzschlussströme unter Berücksichtigung aller möglichen Netzschtzustände, Anteile motorischer Rückspeisung, Parallelbetrieb von Energiequellen, usw. (analog IEC 60909-0: Berechnung von Kurzschlussströmen in Drehstromnetzen) nötig



Richtwerte [6] für Arbeitsabstand a

Anlagentyp	a
Niederspannungsverteiler, Hausanschlusskasten, Motor-Control-Center	300 ... 450 mm
Niederspannungsschaltanlagen	300 ... 600 mm
> 1 kV	$a_{min}^{1)}$

¹⁾ Bestimmung eines Mindestabstands ist erforderlich

Richtwerte [6] für Transmissionsfaktor k_T

Art der Anlage	k_T
Kleinräumige Anlagen mit Seiten-, Rück- und Schottwänden	1
Großräumige Anlagen, Raumbegrenzung vor allem durch Rückwand	1,5 ... 1,9
Offene Anlagen ohne wesentliche Begrenzungen des Elektrodenraums	2,4

$W_{arc,eff} < 50 \text{ kJ}$

Hautverbrennungen können ausgeschlossen werden; keine PSA erforderlich

$50 \text{ kJ} \leq W_{arc,eff} < 168 \text{ kJ}$

PSA der Schutzklasse 1 nach IEC 61482-1-2 erforderlich

$168 \text{ kJ} \leq W_{arc,eff} < 320 \text{ kJ}$

PSA der Schutzklasse 2 nach IEC 61482-1-2 erforderlich

$W_{arc,eff} \geq 320 \text{ kJ}$

Zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich oder Freischalten der Anlage

Abb. 13: Prozessdiagramm zur Bestimmung geeigneter Schutzmaßnahmen für Arbeiten unter Spannung [6]

Normen

Mittel- und Hochspannung:

- IEC 61936-1 (DIN EN 61936-1; VDE 0101-1): Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV – Teil 1: Allgemeine Bestimmungen (Anmerkung: Diese Norm gilt nicht für fabrikgefertigte, typgeprüfte Schaltanlagen und nicht für die Anforderungen zur Durchführung von Arbeiten unter Spannung)
- IEC 62271-200 (DIN EN 62271-200; VDE 0671-200): Hochspannungs-Schaltgeräte und Schaltanlagen – Teil 200: Metallgekapselte Wechselstrom-Schaltanlagen für Bemessungsspannungen über 1 kV bis einschließlich 52 kV

Niederspannung:

- IEC 60364-Normenreihe (DIN EN 60364; VDE 0100): Errichten von Niederspannungsanlagen
- IEC/TR 61641 (DIN EN 61439-2 Beiblatt 1; VDE 0660-600-2 Beiblatt 1): Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen in geschlossener Bauform - Leitfaden für die Prüfung unter Störlichtbogenbedingungen durch einen inneren Fehler

Drehstromnetze:

- IEC 60909-0 (DIN EN 60909-0; VDE 0102): Kurzschlussströme in Drehstromnetzen - Teil 0: Berechnung der Ströme

Arbeiten unter Spannung

- IEC 61482-1-1 (DIN EN 61482-1-1; VDE 0682-306-1-1): Arbeiten unter Spannung – Schutzkleidung gegen thermische Gefahren eines Lichtbogens – Teil 1-1: Prüfverfahren – Verfahren 1: Bestimmung der Lichtbogen-Kennwerte (ELIM, ATPV und/oder EBT) von Bekleidungsstoffen und Schutzkleidung mithilfe eines offenen Lichtbogens
- IEC 61482-1-2 (DIN EN 61482-1-2; VDE 0682-306-1-2): Arbeiten unter Spannung – Schutzkleidung gegen die thermischen Gefahren eines elektrischen Lichtbogens – Teil 1-2: Prüfverfahren – Verfahren 2: Bestimmung der Lichtbogen-Schutzklasse des Materials und der Kleidung unter Verwendung eines gerichteten Prüflichtbogens (Box-Test)
- IEEE 1584: IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations

Literatur

- [1] Schau, H.; Haase, J.: Wirkungen von Störlichtbögen bei Fehlern in Niederspannungsanlagen; VDE Fachtagung "Arbeiten unter Spannung", 9./10. Okt. 2003, Dresden, Tagungsband
- [2] Pigler, F.: Druckbeanspruchung der Schaltanlagenräume durch Störlichtbögen; Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 1976, 26. Jg. Heft 3
- [3] Glanz, C; Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich Maschinenbau/Werkstofftechnik: Die Risikoanalyse mittels Konsequenz und Eintrittswahrscheinlichkeit – Methodik am Beispiel des Druckbehälterversagens im Erdgasfahrzeug; 2012
- [4] ISSA International Social Security Association, Sektion für Elektrizität: Leitlinie für die Auswahl von persönlicher Schutzausrüstung gegen thermische Auswirkungen eines Störlichtbogens, 2011, 2. Auflage
- [5] Stoll, A. M.; Chianta, M. A.: Method and rating system for evaluation of thermal protection, 1969, Aerospace Medicine Band 40 (1969) 11
- [6] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV): Thermische Gefährdung durch Störlichtbögen – Hilfe bei der Auswahl der persönlichen Schutzausrüstung; 2020, DGUV Information 203-077

Anhang

- DGUV Information 203-077, 2020:
DGUV_203-077_de.pdf

Siemens AG

Smart Infrastructure
Distribution Systems

Mozartstr. 31c
91052 Erlangen
Deutschland

Weitere Informationen finden Sie unter
[siemens.de/tip-cs](https://www.siemens.de/tip-cs)

E-Mail:
consultant-support.tip@siemens.com

Änderungen und Irrtümer vorbehalten.

Die Informationen in diesem Dokument enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen, bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsschluss ausdrücklich vereinbart werden.

Alle Produktbezeichnungen können Marken oder sonstige Rechte der Siemens AG, ihrer verbundenen Unternehmen oder dritter Gesellschaften sein, deren Benutzung durch Dritte für ihre eigenen Zwecke die Rechte der jeweiligen Inhaber verletzen kann.