

PSS[®]SINCAL 10.5

Arc Flash

Arc Flash Berechnung in elektrischen Netzen

Herausgegeben von
SIEMENS AG
Freyeslebenstraße 1, 91058 Erlangen

IC SG SE PTI SW

Vorbemerkung

Die PSS SINCAL Handbücher bestehen aus drei Teilen:

- Benutzerhandbuch PSS SINCAL Bedienung
- Fachhandbücher für Elektronetze und Strömungsnetze
- Systemhandbuch Datenbankbeschreibung

Allgemeine Grundsätze der Bedienung und der Grafikoberfläche von PSS SINCAL können dem **Benutzerhandbuch PSS SINCAL Bedienung** entnommen werden.

Die **Fachhandbücher für Elektronetze** beinhalten detaillierte Beschreibungen der verschiedenen Berechnungsverfahren für Elektronetze (Lastfluss, Kurzschluss, etc.) sowie deren Eingabedaten.

Die **Fachhandbücher für Strömungsnetze** beinhalten detaillierte Beschreibungen der verschiedenen Berechnungsverfahren für Strömungsnetze (Wasser, Gas und Wärme/Kälte) sowie deren Eingabedaten.

Das **Systemhandbuch Datenbankbeschreibung** beinhaltet eine vollständige Beschreibung der Datenmodelle für Elektronetze und Strömungsnetze.

Urheber- und Verlagsrechte

Das Handbuch und alle in ihm enthaltenen Informationen und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

Die Rechte, insbesondere die Rechte zur Veröffentlichung, Wiedergabe, Übersetzung, zur Vergabe von Nachdrucken, zur elektronischen Speicherung in Datenbanken, zur Herstellung von Sonderdrucken, Fotokopien und Mikrokopien liegen bei SIEMENS.

Für jede Wiedergabe oder Verwendung außerhalb der durch das Urhebergesetz erlaubten Grenzen ist eine vorherige schriftliche Zustimmung von SIEMENS unerlässlich.

Gewährleistung

Trotz sorgfältiger Ausarbeitung könnten in diesem Handbuch Fehler enthalten sein. Es wird keinerlei Haftung für Fehler und deren Folgen übernommen. Änderungen des Textes und der Funktion der Software werden im Rahmen der Pflege ständig durchgeführt.

1.	Einleitung Arc Flash	1
2.	Verfahren Arc Flash nach IEEE	2
2.1	Begriffsdefinitionen	3
2.2	Netzmodellierung für die Arc Flash Berechnung nach IEEE	4
2.2.1	Ermittlung der Knoten für Arc Flash	4
2.2.2	Ermittlung der angrenzenden Schutzgeräte	4
2.2.3	Ermittlung des Lichtbogenstroms	4
2.2.4	Ermittlung der Ereignisenergie eines Schutzgerätes	5
2.2.5	Ermittlung der Ereignisenergie am Fehlerknoten	6
2.2.6	Strombegrenzung von Schutzgeräten	6
2.2.7	Direkte Ermittlung der Ereignisenergie für Sicherungen	8
2.2.8	Direkte Ermittlung der Ereignisenergie für Niederspannungsleistungsschalter	8
2.2.9	Ermittlung der Gefahrengrenze	8
2.2.10	Direkte Ermittlung der Gefahrengrenze	9
2.2.11	Bestimmungen laut National Fire Protection Association (NFPA)	9
3.	Verfahren Störlichtbogenberechnung	10
3.1	Begriffsdefinitionen	12
3.2	Netzmodellierung für die Störlichtbogenberechnung	12
3.2.1	Ermittlung der Knoten für Störlichtbogenberechnung	12
3.2.2	Ermittlung der angrenzenden Schutzgeräte	13
3.2.3	Ermittlung des Lichtbogenkurzschlussstromes	13
3.2.4	Ermittlung der Lichtbogenleistung	13
3.2.5	Ermittlung der Lichtbogenenergie im Fehlerfall	14
3.2.6	Ermittlung der äquivalenten Lichtbogenenergie	14
3.2.7	Ermittlung der Störlichtbogenschutzklasse	14
4.	Anwendungsbeispiel für Arc Flash	15
4.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	15
4.2	Erfassen von Schutzgeräten	16
4.3	Erfassen und Bearbeiten von Arc Flash Konfigurationen	16
4.4	Zuordnen von Arc Flash Konfigurationen zu den Knoten	18

Inhalt

4.5	Starten der Arc Flash Berechnung	19
4.6	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	19
4.6.1	Ergebnisse in der Netzgrafik	20
4.6.2	Etiketten für Kennzeichnung von Anlagen	22

1. Einleitung Arc Flash

PSS SINCAL Arc Flash stellt ein wirkungsvolles Werkzeug bei der Bestimmung der Ereignisenergie von Lichtbogen in Nieder- und Mittelspannungsnetzen dar. Als Basis dient dabei die 3-polige Kurzschlussberechnung nach:

- VDE bzw. IEC
- ANSI bzw. IEEE
- Vorbelastet analog zu VDE bzw. IEC
- Engineering Recommendation G74

Arc Flash nach IEEE

Über die empirischen Formeln nach IEEE wird aus dem satten dreipoligen Fehlerstrom der Lichtbogenstrom ermittelt. Dieser wird danach für die Prüfung der Anregung der Schutzgeräte zum Bestimmen der Auslösezeit (Lichtbogendauer) verwendet. Mit Hilfe von Zeit, Strom und Anlagenkonfiguration wird die Ereignisenergie bestimmt.

Weiters wird auch das erforderliche Personal Protection Equipment (PPE) nach National Fire Protection Association (NFPA) 70 E bestimmt.

Es werden nur 3-polige Fehlerströme herangezogen, da 1- oder 2-polige Fehler mit Lichtbogen laut IEEE 1584 immer in 3-polige übergehen.

Störlichtbogenberechnung nach BGI/GUV-I 5188

Über die empirischen Formeln nach BGI/GUV-I 5188 werden aus dem prospektiven (maximalen) und minimalen 3-poligen Fehlerstrom die Lichtbogenleistung und der Lichtbogenstrom ermittelt. Dieser wird danach für die Prüfung der Anregung der Schutzgeräte zum Bestimmen der Auslösezeit (Lichtbogendauer) verwendet. Mit Hilfe von Zeit, Strom und Anlagenkonfiguration wird die Ereignisenergie bestimmt.

Dieses Handbuch enthält folgende Kapitel:

- [Verfahren Arc Flash nach IEEE](#)
- [Verfahren Störlichtbogenberechnung](#)
- [Anwendungsbeispiel für Arc Flash](#)

Vorgehensweise Arc Flash

Um eine Arc Flash Berechnung durchführen bzw. spezielle Daten für die Arc Flash Berechnung eingeben zu können, müssen zuerst die Berechnungsmethoden Arc Flash und Schutzkoordination aktiviert werden.

Für die Arc Flash Berechnung sind folgende Schritte notwendig:

- Erfassen von Schutzgeräten
- Festlegen der Arc Flash Konfiguration bei den Knoten und Sammelschienen
- Festlegen des Kurzschlussverfahrens bei den Kurzschluss Berechnungsparametern

2. Verfahren Arc Flash nach IEEE

Das Ziel der Arc Flash Berechnung nach IEEE ist die Bestimmung der Ereignisenergie, der Gefahrgrenze und der notwendigen Schutzkleidung im Falle eines Lichtbogens.

Die Basis für die Arc Flash Berechnung ist eine 3-polige Kurzschlussstromberechnung mit anschließender Prüfung der Anregung der Schutzgeräte zur Bestimmung der Lichtbogendauer.

Prinzipieller Rechnungsablauf Arc Flash nach IEEE

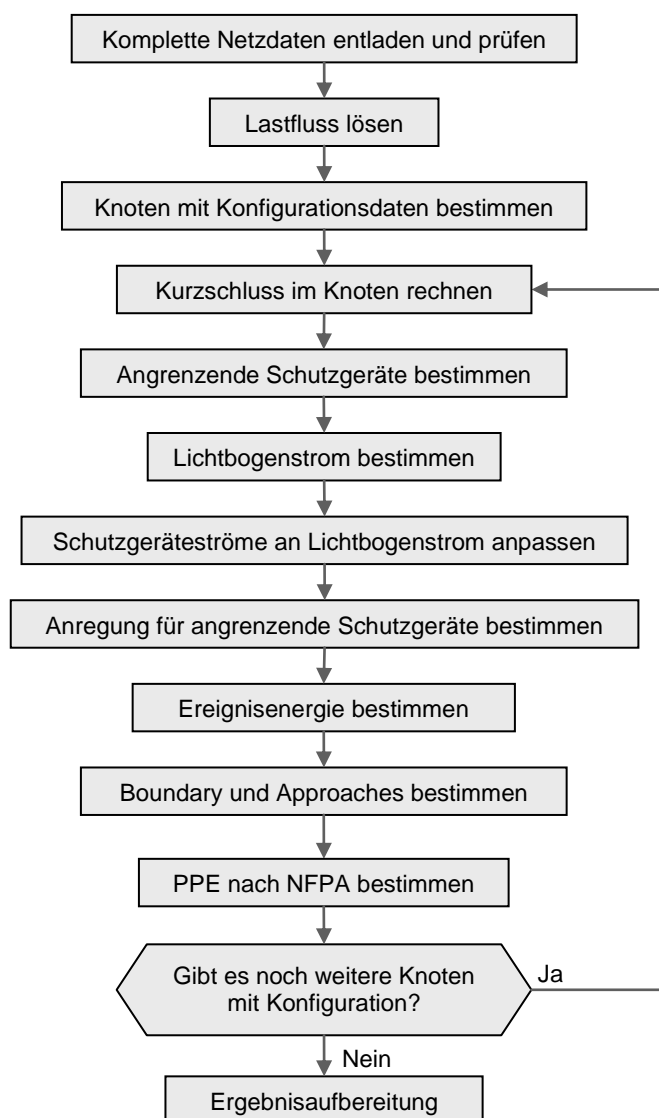


Bild: Ablaufdiagramm

2.1 Begriffsdefinitionen

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Begriffe für den Arc Flash nach IEEE näher erläutert.

Arc Flash Gefahr

Ein gefährlicher Zustand, der durch Freisetzen von Energie über einen Lichtbogen verursacht wird.

Lichtbogenstrom

Ein Fehlerstrom, der ein elektrisches Bogenplasma durchfließt.

Satter Fehlerstrom

Ein Kurzschluss zwischen zwei Leitern, zwischen denen der Widerstand im Wesentlichen Null ist.

Elektrische Gefahr

Ein gefährlicher Zustand, in dem ein unbeabsichtigter Kontakt oder Geräteausfall zu einem Schlag, Lichtbogenbrand, thermischen Brand oder Knall führen kann.

Elektrischer Schock

Körperliche Reizung, die auftritt, wenn elektrischer Strom durch den Körper fließt.

Ausgesetzte Körperteile

Unbeabsichtigte Berührung oder Annäherung kleiner als der Sicherheitsabstand von nicht passend geschützten Körperteilen.

Gefahrengrenze Lichtbogen

Ein Mindestabstand von unter Spannung stehenden Anlagen, der eingehalten werden muss, um im Falle eines Lichtbogens eine Verbrennung 2. Grades zu vermeiden.

Ereignisenergie

Jene Energie, die sich von einem Lichtbogen in einem bestimmten Abstand auf eine Oberfläche ausgewirkt. Die Ereignisenergie wird in den Joule pro Quadratcentimeter gemessen (J/cm^2).

Schockgefahr

Ein Mindestabstand von unter Spannung stehenden Anlagen, der eingehalten werden muss, um einen elektrischen Schock zu vermeiden.

Arbeitsabstand

Der Abstand zwischen dem möglichen Lichtbogen und dem Kopf des Arbeiters während der Durchführung von Arbeiten in einer unter Spannung stehenden Anlage.

2.2 Netzmodellierung für die Arc Flash Berechnung nach IEEE

Im folgenden Kapitel wird erläutert, wie die Netztopologie und die erforderlichen Kenngrößen für die Arc Flash Berechnung bestimmt werden.

2.2.1 Ermittlung der Knoten für Arc Flash

Der Arc Flash wird für all jene Knoten und Sammelschienen ermittelt, denen Arc Flash Konfigurationsdaten zugeordnet und in allen 3 Phasen angeschlossen sind.

2.2.2 Ermittlung der angrenzenden Schutzgeräte

Die angrenzenden Schutzgeräte werden in einer Netzverfolgung vom aktuell betrachteten Knoten ausgehend ermittelt. Die Richtung der Schutzgeräte wird in dieser Netzanalyse berücksichtigt.

Die Arc Flash Berechnung geht laut IEEE 1584 davon aus, dass der Schutz korrekt eingestellt ist und diese angrenzenden Schutzgeräte auch den Fehler abschalten.

2.2.3 Ermittlung des Lichtbogenstroms

Hierzu wird zuerst der 3-polige satter Summenfehlerstrom am Knoten je nach eingestelltem Kurzschlussverfahren ermittelt.

Der Lichtbogenstrom wird danach aus dem satten 3-poligen Sammelschienenkurzschlussstrom je nach Spannung wie folgt ermittelt.

Spannung < 1 kV

$$\lg I_a = K + 0,662 * \lg I_{bf} + 0,0966V + 0,000526 * G + 0,5588 * V * \lg I_{bf} - 0,00304 * G * \lg I_{bf}$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

Spannung ≥ 1 kV

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 * \lg I_{bf}$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

\lg ... Log 10

$\lg I_a$... Normalisierter Lichtbogenstrom

I_a ... Lichtbogenstrom

I_{bf} ... Satter 3-poliger Kurzschluss

K ... Faktor nach Anlagenkonfiguration (offen -0,153 und geschlossen -0,097)

V ... Nennspannung (Phase-Phase)

G ... Abstand zwischen den Leitern

Alle Ströme im Netz werden nun um den Faktor Lichtbogenstrom zu sattem Summenfehlerstrom reduziert. Der Effekt des Lichtbogens wird somit mit einem linearen Faktor auf die Ströme in den Schutzgeräten übertragen.

2.2.4 Ermittlung der Ereignisenergie eines Schutzgerätes

Die Bestimmung der Ereignisenergie ist abhängig von der Anlagenkonfiguration. D.h. die Spannung und die zu erwarteten Ströme definieren das Verfahren, welches zur Bestimmung der Ereignisenergie verwendet werden muss.

Die verwendeten Formeln der Arc Flash Berechnung gelten für Auslösezeiten bis 2 Sekunden.

Die Ermittlung der Auslösezeit der Schutzgeräte erfolgt mit dem ermittelten Lichtbogenstrom und dem reduzierten Lichtbogenstrom (85 Prozent). Die Schutzgeräte müssen mit beiden Strömen auslösen.

Für die Bestimmung der Ereignisenergie stehen dadurch zwei Ströme und zwei Auslösezeiten zur Verfügung. Für die Bestimmung der Arc Flash Gefahr ist die höhere Ereignisenergie heranzuziehen.

Empirische Modell

Das empirische Modell gilt für Spannungen von 208 V bis 15 kV, Ströme von 700 A bis 106 kA und Leiterabstände von 13 mm bis 152 mm.

Die normalisierte Ereignisenergie wird für eine Zeit von 0,2 Sekunden bei einem Abstand von 610 mm vom Lichtbogen wie folgt ermittelt:

$$\lg E_N = K1 + K2 + 1,081 \cdot \lg I_a + 0,0011 \cdot G$$

\lg ... Log 10

E_N ... Normalisierte Ereignisenergie

$K1$... Faktor nach Anlagenkonfiguration (offen -0,792 und geschlossen -0,555)

$K2$... Faktor nach Netzkonfiguration (ungeerdet 0,0 und geerdet -0,113)

G ... Abstand zwischen den Leitern

Die tatsächliche Ereignisenergie wird danach aus der normalisierten Ereignisenergie, der Auslösezeit des Schutzgerätes und dem tatsächlichen Leiterabstand bestimmt.

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_N \cdot \frac{t}{0,2} \cdot \frac{610^x}{D^x}$$

E ... Ereignisenergie

C_f ... Berechnungsfaktor (1,5 bei $V \leq 1,0$ kV bzw. 1,0 bei $V > 1$ kV)

E_N ... Normalisierte Ereignisenergie

t ... Kleinste Auslösezeit

- D ... Abstand zum Lichtbogen
X ... Faktor X laut Tabelle 4 aus IEEE 1584

Lee Methode

Wenn die Voraussetzungen für das empirische Modell nicht gegeben sind, so ist die Ereignisenergie nach der Lee Methode zu bestimmen.

$$E = 2,142 \cdot 10^6 \cdot V \cdot I_{bf} \cdot \frac{t}{D^2}$$

- E ... Ereignisenergie
V ... Nennspannung
 I_{bf} ... Satter dreipoliger Kurzschlussstrom
t ... Kleinste Auslösezeit
D ... Abstand zum Lichtbogen

Besonderheiten

Da der Lichtbogenstrom nicht genau bestimmt werden kann, werden die Auslösezeiten der Schutzgeräte und die Ereignisenergie zweimal (mit 100 % und 85 % des Lichtbogenstroms) bestimmt.

Wenn es mehrere Schutzgeräte am gleichen Anschluss gibt, wird nur jenes mit der kleinsten Auslösezeit in der Berechnung herangezogen.

2.2.5 Ermittlung der Ereignisenergie am Fehlerknoten

Die Ereignisenergie am Fehlerort ist die Summe der Ereignisenergien der angrenzenden Schutzgeräte.

Laut IEEE 1584 muss die Ereignisenergie zweimal bestimmt werden. Hierzu werden einmal der vollständige Lichtbogenstrom und einmal der auf 85 % reduzierte Lichtbogenstrom verwendet. Die Reduktion erfolgt deswegen, da unter Umständen dann keine Schnellauslösung bei den Schutzgeräten erfolgt und durch die längere Fehlerdauer eine größere Ereignisenergie auftritt. Als Ergebnis wird die höhere Ereignisenergie ausgewiesen.

2.2.6 Strombegrenzung von Schutzgeräten

Bei hohen Strömen lösen Sicherungen innerhalb der ersten Halbperiode aus. Der über die Kurzschlussstromberechnung ermittelte Effektivwert des Anfangskurzschlusswechselstroms tritt daher gar nicht auf. Für die Ermittlung der Ereignisenergie kann in diesem Fall ein kleinerer Effektivwert verwendet werden.

Für UMZ Schutzgeräte kann die Strombegrenzung individuell definiert werden. Dies erfolgt im Register Arc Flash des Schutzgerätes.

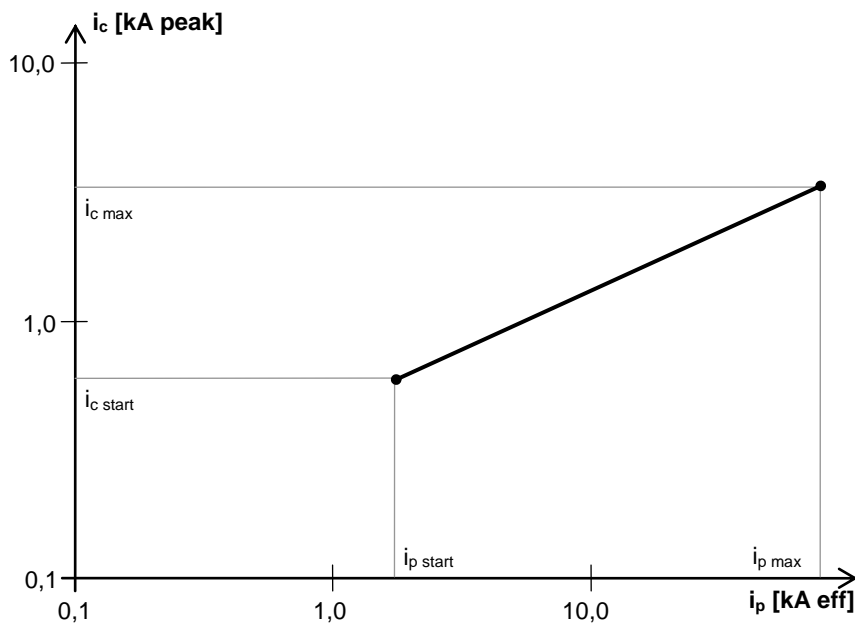


Bild: Strombegrenzung für Sicherungen

- $i_{p \text{ start}}$... Beginn Strombegrenzung
- $i_{c \text{ start}}$... Minimum Scheitelwert begrenzter Strom
- $i_{p \text{ max}}$... Maximaler Strom für Strombegrenzung
- $i_{c \text{ max}}$... Maximaler Scheitelwert begrenzter Strom

Ströme kleiner $i_{p \text{ start}}$ begrenzen den Kurzschlussstrom nicht.

Für die Ermittlung der Strombegrenzung wird je nach Kurzschlussverfahren der Stoßstrom i_{peak} (VDE bzw. IEC) oder $i_{\text{mom peak}}$ (ANSI bzw. IEEE) verwendet.

$$i_p = \frac{i_{\text{peak}}}{\sqrt{2}}$$

$$i_p = \frac{i_{\text{mom peak}}}{\sqrt{2}}$$

Durch Interpolation in der Kennlinie kann der Scheitelwert des begrenzten Stroms ermittelt werden. Für die Ermittlung der Ereignisenergie wird danach natürlich auch der Effektivwert verwendet. Die Auslösezeit ist bei Strombegrenzung wie folgt festgelegt:

$$t = \frac{1}{2 * f}$$

- t ... Auslösezeit
- f ... Frequenz

2.2.7 Direkte Ermittlung der Ereignisenergie für Sicherungen

Für vordefinierte Sicherungsklassen kann die Ereignisenergie direkt über empirischen Formeln aus IEEE 1584 ermittelt werden.

PSS SINCAL beinhaltet die Sicherungsklassen laut Abschnitt 5.6 aus IEEE 1584. Diese empirischen Formeln gelten jedoch nur für eine Spannung von 600 V bei einem Arbeitsabstand von 455 mm.

Für abweichende Konfigurationen, Sicherungsklasse oder Nennstromstärke kann die Ereignisenergie nicht direkt ermittelt werden.

2.2.8 Direkte Ermittlung der Ereignisenergie für Niederspannungsleistungsschalter

Für vordefinierte Schaltertypen kann die Ereignisenergie direkt über empirische Formeln aus IEEE 1584 ermittelt werden.

PSS SINCAL beinhaltet die Schaltertypen laut Tabelle 5 aus IEEE 1584. Diese empirischen Formeln gelten jedoch nur für vordefinierte Spannungsbereiche, Nennströme, einem Arbeitsabstand von 460 mm und Ströme von 700 A bis 106 kA.

Für abweichende Konfigurationen, Schaltertypen, Nennströmen, Spannungen, etc. kann die Ereignisenergie nicht direkt ermittelt werden.

2.2.9 Ermittlung der Gefahrengrenze

Die Gefahrengrenze wird für eine Ereignisenergie von $E_B = 5,0 \text{ J/cm}^2$ ermittelt. Die Gefahrengrenze ist analog zur Ereignisenergie zu bestimmen.

Empirisches Modell

$$D_B = \left[4,184 * C_f * E_N * \left(\frac{t}{0,2} \right) * \left(\frac{610^X}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{X}}$$

Lee Modell

$$D_B = \sqrt{2,142 * 10^6 * V * I_{bf} * \left(\frac{t}{E_B} \right)}$$

2.2.10 Direkte Ermittlung der Gefahrengrenze

Für vordefinierte Schaltertypen kann die Gefahrengrenze direkt über empirische Formeln aus IEEE 1584 ermittelt werden.

PSS SINCAL beinhaltet die Schaltertypen laut Tabelle 5 aus IEEE 1584. Diese empirischen Formeln gelten jedoch nur für vordefinierte Spannungsbereiche, Nennströme, einem Arbeitsabstand von 460 mm und Ströme von 700 A bis 106 kA.

Für abweichende Konfigurationen, Schaltertypen, Nennströmen, Spannungen, etc. kann die Gefahrengrenze nicht direkt ermittelt werden.

2.2.11 Bestimmungen laut National Fire Protection Association (NFPA)

Die NFPA legt die Gefahrenklasse und die notwendige Schutzbekleidung (Personal Protection Equipment) aufgrund der Ereignisenergie fest.

Für eine Ereignisenergie größer als $40,0 \text{ cal/cm}^2$ gibt es keine Schutzbekleidung mehr. Ein Arbeiten unter Spannung ist für diese Anlagen verboten.

3. Verfahren Störlichtbogenberechnung

Das Ziel der Störlichtbogenberechnung ist die Bestimmung der Lichtbogenenergie, der äquivalenten Lichtbogenenergie und der dadurch notwendigen persönlichen Schutzausrüstung in Form der Störlichtbogenschutzklasse.

Die Basis für die Störlichtbogenberechnung sind zwei 3-polige Kurzschlussstromberechnungen.

- Der prospektive 3-polige Kurzschlussstrom wird zur Bestimmung der Lichtbogenleistung verwendet.
- Der minimale 3-polige Kurzschlussstrom wird zur Bestimmung des Auslösestromes mit anschließender Prüfung der Anregung der Schutzgeräte zur Bestimmung der Lichtbogendauer verwendet.

Prinzipieller Rechnungsablauf Störlichtbogenberechnung

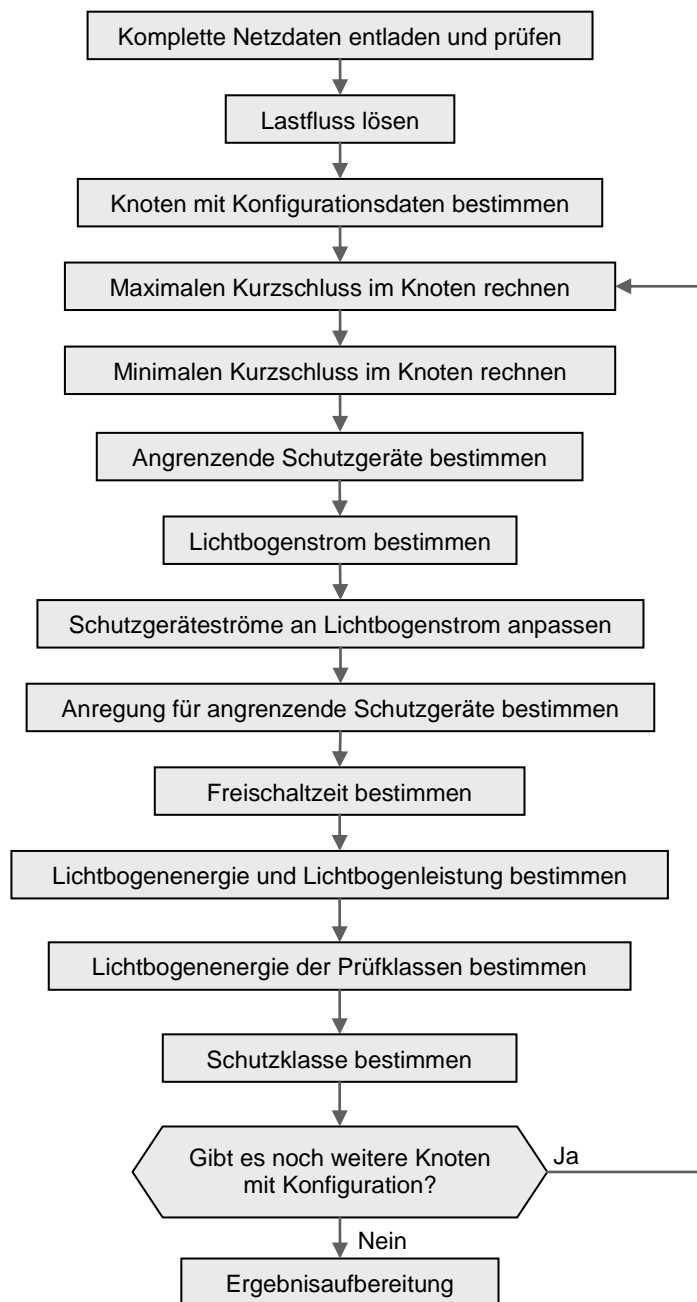


Bild: Ablaufdiagramm

3.1 Begriffsdefinitionen

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Begriffe für die Störlichtbogenberechnung näher erläutert.

Persönliche Schutzausrüstung gegen die thermischen Auswirkungen eines Störlichtbogens (PSAgS)

Als persönliche Schutzausrüstung gegen die thermischen Auswirkungen eines Störlichtbogens (PSAgS) gilt jedes Mittel, das dazu bestimmt ist, von einer Person getragen oder gehalten zu werden. Diese soll gegen die thermischen Gefahren eines Störlichtbogens schützen.

Prospektiver Kurzschlussstrom

Zu erwartender maximaler Strom, der fließt, wenn die Impedanz an der Fehlerstelle vernachlässigbar ist.

Transmissionsfaktor

Faktor, der die räumliche Ausbreitung der thermischen Auswirkungen des Lichtbogens im Arbeitsumfeld beschreibt. Er wird durch die Geometrieverhältnisse der Anlage am Arbeitsort bestimmt.

Äquivalente Lichtbogenenergie

Schutzpegel der PSAgS, der sich bei konkretem Arbeitsabstand und Transmissionsfaktor aus dem Prüfpegel ergibt.

Strombegrenzungsfaktor

Verhältnis zwischen tatsächlichem Lichtbogenkurzschlussstrom und prospektivem Kurzschlussstrom.

Bezogene Lichtbogenleistung

Verhältnis der Lichtbogenleistung zur Kurzschlussleistung des elektrischen Netzes am Fehlerort.

3.2 Netzmodellierung für die Störlichtbogenberechnung

Im folgenden Kapitel wird erläutert, wie die Netztopologie und die erforderlichen Kenngrößen für die Störlichtbogenberechnung bestimmt werden.

3.2.1 Ermittlung der Knoten für Störlichtbogenberechnung

Die Störlichtbogenberechnung wird für all jene Knoten und Sammelschienen durchgeführt, denen Störlichtbogen Konfigurationsdaten zugeordnet und in allen 3 Phasen angeschlossen sind.

3.2.2 Ermittlung der angrenzenden Schutzgeräte

Die angrenzenden Schutzgeräte werden in einer Netzverfolgung vom aktuell betrachteten Knoten ausgehend ermittelt. Die Richtung der Schutzgeräte wird in dieser Netzanalyse berücksichtigt.

Die Störlichtbogenberechnung geht davon aus, dass der Schutz korrekt eingestellt ist und diese angrenzenden Schutzgeräte auch den Fehler abschalten.

3.2.3 Ermittlung des Lichtbogenkurzschlussstromes

Hierzu wird zuerst der 3-polige minimale Summenfehlerstrom am Knoten je nach eingestelltem Kurzschlussverfahren ermittelt.

Der Lichtbogenkurzschlussstrom wird danach aus dem satten 3-poligen Sammelschienenkurzschlussstrom je nach Spannung mit Hilfe des Strombegrenzungsfaktors wie folgt ermittelt.

$$I_{KLB} = k_B \cdot I_{K"Min}$$

Für Spannungen > 1 kV ist die begrenzende Eigenschaft des Störlichtbogens zu vernachlässigen ($k_B = 1,0$).

Im NS-Bereich liegt man im Allgemeinen im sicheren Bereich, wenn man von einer Strombegrenzung von 50 % ausgeht ($k_B = 0,5$).

Laut Fachliteratur "Elektrische Schutzeinrichtungen in Industrienetzen und Anlagen" wird der Strombegrenzungsfaktor als Funktion von Nennspannung U_N , Leiterabstand d , Lichtbogenspannung U_{LB} ($U_{LB} = f(U_N, d)$) und Verhältnis R/X an der Kurzschlussstelle bestimmt ($k_B = f(U_{LB}, R/X)$). Es wird empfohlen, eine Häufigkeit von 80 % für die Ermittlung der Lichtbogenspannung zu verwenden.

Alle Ströme im Netz werden nun um den Strombegrenzungsfaktor reduziert. Der Effekt des Lichtbogens wird somit mit einem linearen Faktor auf die Ströme in den Schutzgeräten übertragen.

3.2.4 Ermittlung der Lichtbogenleistung

Die Lichtbogenleistung P_{LB} wird aus der bezogenen Lichtbogenleistung k_P und der maximalen Kurzschlussleistung $S_{K"Max}$ ermittelt.

$$P_{LB} = k_P \cdot S_{K"Max}$$

Für Worst Case Betrachtungen und Anlagenkonfigurationen nicht nach BGI/GUV-I gilt:

$$k_P = \frac{0,29}{R/X^{0,17}}$$

Laut Fachliteratur "Elektrische Schutzeinrichtungen in Industrienetzen und Anlagen" wird die bezogene Lichtbogenleistung als Funktion von Nennspannung U_N , Leiterabstand d , Lichtbogenspannung U_{LB} ($U_{LB} = f(U_N, d)$) und Verhältnis R/X an der Kurzschlussstelle bestimmt ($k_B = f(U_{LB}, R/X)$). Es wird empfohlen, eine Häufigkeit von 50 % für die Ermittlung der Lichtbogenspannung zu verwenden.

3.2.5 Ermittlung der Lichtbogenenergie im Fehlerfall

Die Lichtbogenenergie im Fehlerfall wird aus Lichtbogenleistung P_{LB} und Freischaltzeit t ermittelt.

$$W_{LB} = P_{LB} * t$$

3.2.6 Ermittlung der äquivalenten Lichtbogenenergie

Die äquivalente Lichtbogenenergie wird mit den Energien der jeweiligen Prüfklasse:

- Klasse 1: $W_{LBP1} = 158 \text{ kJ}$
- Klasse 2: $W_{LBP2} = 318 \text{ kJ}$

sowie dem Arbeitsabstand a und den Transmissionsfaktor k_T ermittelt:

$$W_{LB\ddot{A}1} = W_{LBP1} * \left(\frac{1}{300,0} \right)^2 * k_T$$

$$W_{LB\ddot{A}2} = W_{LBP2} * \left(\frac{1}{300,0} \right)^2 * k_T$$

3.2.7 Ermittlung der Störlichtbogenschutzklasse

Die Störlichtbogenschutzklasse wird durch Vergleich der Lichtbogenenergie im Fehlerfall mit den äquivalenten Lichtbogenenergien der jeweiligen Prüfklasse ermittelt.

- Klasse 1: für $W_{LB} < W_{LB\ddot{A}1}$
- Klasse 2: für $W_{LB\ddot{A}1} < W_{LB} < W_{LB\ddot{A}2}$
- Sonstige Maßnahme oder Freischalten für $W_{LB\ddot{A}2} < W_{LB}$

4. Anwendungsbeispiel für Arc Flash

Im Folgenden soll das Verfahren **Arc Flash** anhand eines einfachen Anwendungsbeispiels dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

- das [Voreinstellen der Berechnungsparameter](#),
- das [Erfassen von Schutzgeräten](#),
- das [Erfassen und Bearbeiten von Arc Flash Konfigurationen](#),
- das [Zuordnen von Arc Flash Konfigurationen zu den Knoten](#),
- das [Starten der Arc Flash Berechnung](#) sowie
- das [Darstellen und Auswerten der Ergebnisse](#)

erläutert.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

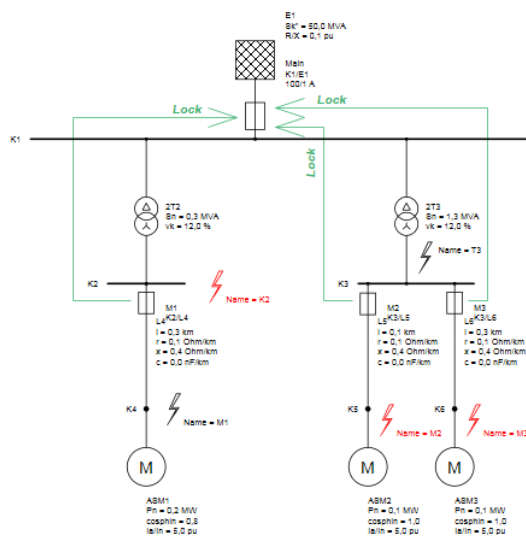


Bild: Beispielsnetz für die Arc Flash Berechnung

Dieses Netz ("Example OC") wird bei der Installation von PSS SINCAL automatisch bereitgestellt und kann zum Testen des Simulationsverfahrens eingesetzt werden.

Voraussetzung für die Arc Flash Berechnung ist, dass der Punkt **Arc Flash** im Menü **Berechnen – Methoden** (siehe Handbuch Bedienung, Kapitel Benutzeroberfläche, Abschnitt Voreinstellen der Berechnungsmethoden) aktiviert ist.

4.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Die Ermittlung der satten Kurzschlussströme erfolgt mit Hilfe des Verfahrens Kurzschluss. Die Voreinstellung der Kurzschlussmethode kann über die Kurzschluss Berechnungsparameter gesteuert werden.

4.2 Erfassen von Schutzgeräten

Voraussetzung für die Arc Flash Berechnung ist ein bestehendes elektrisches Netz, in dem die für die Kurzschlussberechnung relevanten Daten korrekt eingegeben wurden. Zusätzlich muss auch der Schutz korrekt erfasst sein, da nur so die tatsächlich auftretenden Fehlerströme bestimmt werden können.

Das Erfassen von Schutzgeräten ist im Handbuch Eingabedaten, Kapitel Schutzkoordination, Abschnitt Erfassen von Schutzgeräten detailliert beschrieben.

Zusätzlich können an UMZ Schutzgeräten erweiterte Steuerparameter für die Arc Flash Berechnung eingegeben werden. Im Wesentlichen wird hier die [Strombegrenzung der Schutzgeräte](#) definiert.

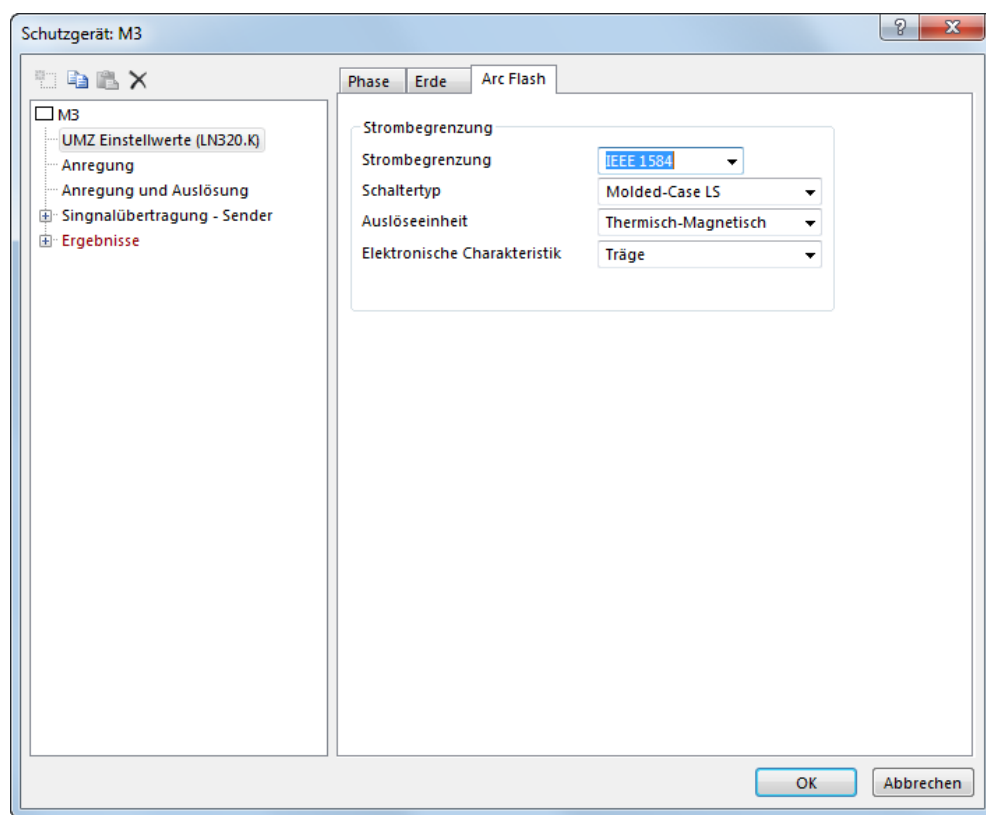


Bild: Erweiterte Arc Flash Konfiguration für Schutzgeräte

Eine genaue Beschreibung der Eingabedaten für UMZ Schutzgeräte für die Arc Flash Konfiguration ist im Handbuch Eingabedaten, Kapitel Schutzkoordination, Abschnitt Arc Flash Einstellwerte für UMZ Schutzgeräte verfügbar.

4.3 Erfassen und Bearbeiten von Arc Flash Konfigurationen

Mit der Arc Flash Konfiguration wird die Anlagenkonfiguration der Knoten/Sammelschienen beschrieben. Damit werden die charakteristischen Daten wie Bauart, Nennspannung, Arbeitsabstand usw. definiert.

Der Dialog zum Erfassen und Bearbeiten von Arc Flash Konfigurationen wird über den Menüpunkt **Daten – Schutzkoordination – Arc Flash Konfiguration** geöffnet.

The screenshot shows the 'Arc Flash Konfiguration' dialog box. On the left, a tree view lists 'Name' with sub-items 'NS-Schalter' and 'HS-Schalter'. The 'HS-Schalter' is selected. The main panel, titled 'Basisdaten', contains the following fields:

- Name:** HS-Schalter
- Nennspannung:** Un, 10,0 kV
- Leiterabstand:** L.Abst., 32,0 mm
- Arbeitsabstand:** A.abst., 455,0 mm
- IEEE Konfiguration:** ☒ IEEE Konfiguration. Typ: Schaltgerät, Konfiguration: Gehäuse.
- DGUV Konfiguration:** ☒ DGUV Konfiguration. Anlagentyp: NS Anlage nach DGUV, Häufigkeit Strom: 80 % (empfohlen), Häufigkeit Leistung: 50 % (empfohlen), Transmissionsfaktor: kt, 1,0 1.

Buttons at the bottom: OK, Abbrechen.

Bild: Definition von Arc Flash Konfigurationen

In diesem Dialog werden alle Arc Flash Konfigurationen im Netz aufgelistet. Neue Arc Flash Konfigurationen können eingefügt und die bestehenden können bearbeitet oder gelöscht werden. Die global vordefinierten Arc Flash Konfigurationen können den Knoten/Sammelschienen zugeordnet werden.

Über das Feld **Nennspannung** wird die verkettete Spannung der Anlage angegeben.

Der **Leiterabstand** wird zur Bestimmung des Lichtbogenstromes benötigt.

Der **Arbeitsabstand** wird zur Bestimmung der Ereignisenergie benötigt.

Die Arc Flash Konfiguration wird verwendet, um sowohl Berechnungen nach IEEE als auch nach DGUV durchzuführen.

Über die Option **IEEE Konfiguration** wird die Eingabe der entsprechenden Anlagendaten ermöglicht. Das Aktivieren dieser Konfiguration bewirkt, dass Ergebnisse für die Arc Flash Berechnung nach IEEE bereitgestellt werden.

Über das Feld **Typ** wird der Aufbau der Anlage nach IEEE 1584 festgelegt. Die folgenden Anlagentypen sind verfügbar:

- Schaltgerät
- Kabel
- Freiluft
- MCC und Paneele

Über das Feld **Konfiguration** wird festgelegt, ob die Anlage offen oder in einem Gehäuse angeordnet ist.

Über die Option **DGUV Konfiguration** wird die Eingabe der entsprechenden Anlagendaten ermöglicht. Das Aktivieren dieser Konfiguration bewirkt, dass Ergebnisse für die Arc Flash Berechnung nach DGUV (Störlichtbogenberechnung) bereitgestellt werden.

Über das Feld **Anlagentyp** wird die Anlagenkonfiguration ausgewählt. Verfügbar sind:

- Niederspannungsanlage nach DGUV
- Unbekannte Anlage

Über das Feld **Häufigkeit Strom** wird die Häufigkeit der Lichtbogenspannung für die Ermittlung des Strombegrenzungsfaktors festgelegt.

Über das Feld **Häufigkeit Leistung** wird die Häufigkeit der Lichtbogenspannung für die Ermittlung des Lichtbogenleistung festgelegt.

Der **Transmissionsfaktor** berücksichtigt die Geometrie der Anlage und die Ausbreitung der Lichtbogenenergie.

4.4 Zuordnen von Arc Flash Konfigurationen zu den Knoten

Nachdem Arc Flash Konfigurationen eingegeben wurden, können diese in den Basisdaten der Knoten-Eingabemaske den Knoten zugeordnet werden.

The image shows a software window titled 'Knoten' with two tabs: 'Basisdaten' and 'Zusatzdaten'. The 'Basisdaten' tab is selected. It contains several input fields and dropdown menus. The 'Arc Flash Konfiguration' dropdown menu is open, showing options: '(kein)', 'HS-Schalter', and 'NS-Schalter'. A mouse cursor is pointing at 'HS-Schalter'. Other fields include 'Name' (K1), 'Kurzname' (K1), 'Netzebene' (Mittel (10,0 kV)), 'Netzbereich' (Basis-Netzbereich), 'Netzzone' ((kein)), 'Station' ((kein)), 'Feld' ((kein)), 'Knotentyp' (Knoten), 'Übergeordnete Sammelschiene' ((kein)), 'Sternpunktbehandlung' ((kein)), 'Errichtungszeitpunkt' ((kein)), 'Stilllegungszeitpunkt' ((kein)), 'Gekennzeichnet' (Nein), and 'Verknüpfungsname'. At the bottom right are 'OK' and 'Abbrechen' buttons.

Bild: Knotenmaske mit Auswahlliste für Arc Flash Konfiguration

Über das Auswahlfeld **Arc Flash Konfiguration** kann eine bestehende Konfiguration zugeordnet werden. Falls der Wert (kein) ausgewählt ist, kann durch Klicken des Bearbeitungsknopfes eine neue Arc Flash Konfiguration erstellt und zugeordnet werden.

4.5 Starten der Arc Flash Berechnung

Die Arc Flash Berechnung wird über den Menüpunkt **Berechnen – Arc Flash** gestartet.

4.6 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Nach dem Berechnen werden Ergebnisse für alle Knoten/Sammelschienen mit Arc Flash Konfigurationen bereitgestellt. Die Ergebnisse sind

- in der Netzgrafik,
- in den Datenmasken und der Tabelle
- und in Form von Berichten

verfügbar.

4.6.1 Ergebnisse in der Netzgrafik

Die Ergebnisse der Arc Flash Berechnung werden in der Netzgrafik an den Knoten/Sammelschienen bereitgestellt. Die wichtigsten Kenngrößen laut IEEE 1584 sind verfügbar.

Über das Kontextmenü der Knoten/Sammelschienen kann die Ergebnismaske geöffnet werden. Je nach den bei der Arc Flash Konfiguration aktivierten Eingabedaten werden Ergebnisse laut IEEE und DGUV bereitgestellt.

Ergebnisse nach IEEE

Ergebnisse IEEE			
Knoten	K1		
Netzebene	Mittel (10 kV)		
Typ	Schaltgerät		
Konfiguration	Gehäuse		
Risiko laut NFPA 70E	Warnung		
PPE laut NFPA 70E	Kategorie 0		
Ereignisenergie	E	1,632	J/cm²
Arc Flash Grenze	Gr	143,959	mm
Arbeitsabstand	A.abst.	455,000	mm
Begrenzte Näherung	B Näh.	1.524,000	mm
Eingeschr. Näherung	E Näh.	660,400	mm
Verbotene Näherung	V Näh.	177,800	mm
Metallischer Fehlerstrom	Ibf	3,575	kA
Lichtbogenstrom	Iarc	3,531	kA
Freischaltzeit	tf	0,050	s
Berechnungsmethode	Empirisch		
Werte aus reduziertem Strom	Nein		
Erdung	Nicht geerdet		

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Arc Flash – Ergebnisse IEEE

Das Feld **Typ** legt den Aufbau der Anlage nach IEEE 1584 fest.

Das Feld **Konfiguration** legt fest, ob die Anlage offen oder in einem Gehäuse angeordnet ist.

Im Feld **Risiko laut NFPA 70E** wird das Gefährdungspotenzial in Form von zwei grundlegenden Klassen (Warnung bzw. Gefahr) ausgewiesen.

Das Feld **PPE laut NFPA 70E** enthält die Kategorie des zu wählenden Personenschutzes (PPE = Personal Protection Equipment).

Die Felder

- **Ereignisenergie,**
- **Arc Flash Grenze,**
- **Arbeitsabstand,**

- **Begrenzte Näherung,**
- **Eingeschränkte Näherung** und
- **Verbotene Näherung**

enthalten die Ergebnisse laut IEEE 1584.

Im Feld **Metallischer Fehlerstrom** wird jener Strom ausgewiesen, der am Knoten auftritt und als Grundlage zur Bestimmung des Lichtbogenstromes verwendet wird.

Das Feld **Lichtbogenstrom** enthält den Lichtbogenstrom, der zur Bestimmung der Ereignisenergie verwendet wurde.

Die **Freischaltzeit** ist jene Zeit, in der der Lichtbogenstrom fließt.

Im Feld **Berechnungsmethode** wird ausgewiesen, welches Verfahren zur Bestimmung der Arc Flash Energie verwendet wurde.

Über das Feld **Werte aus reduziertem Strom** wird ausgewiesen, ob die Ereignisenergie mit dem auf 85 % reduzierten Lichtbogenstrom bestimmt wurde.

Das Feld **Erdung** legt fest, ob die Anlage geerdet oder nicht geerdet ist.

Ergebnisse nach DGUV

Knotenergebnisse Arc Flash

Ergebnisse IEEE | Ergebnisse DGUV

Schutzklasse: Andere Maßnahme:

Lichtbogenenergie	WLB	1.325.970	kJ
Lichtbogenleistung	PLB	26.519	MW
Lichtbogenstrom	IkLB	2.598	kA

Prosp. Fehlerstrom	Ik" max	3.575	kA
Min. Fehlerstrom	Ik" min	2.598	kA

Verh. R/X	R/X	0,101	1
Kurzschlussleistung	Sk"max	61.913	MVA

Freischaltzeit	tf	0,050	s
Transmissionsfaktor	kt	1,000	1

Fkt. Strombegrenzung	kb	1,000	1
Bez. Lichtbogenleistung	kp	0,428	1

Äquivalente Lichtbogenenergie			
Klasse 1	WLB1	363.444	kJ
Klasse 2	WLB2	731.488	kJ

Häufigkeit Lichtbogenstrom für Ermittlung	
Lichtbogenstrom	80 % (empfohlen)
Lichtbogenleistung	50 % (empfohlen)

OK Abbrechen

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Arc Flash – Ergebnisse DGUV

Die **Schutzklasse** legt die persönliche Schutzausrüstung gegen die thermischen Auswirkungen des Störlichtbogens fest.

Die **Lichtbogenenergie** ist die elektrische Energie, die dem Lichtbogen zugeführt wird.

Die **Lichtbogenleistung** ist die Kurzschlussleistung aufgrund des prospektiven Kurzschlussstroms.

Der **Lichtbogenstrom** ist der mittlere Effektivwert des Stroms, der während der Lichtbogendauer fließt.

Der **Prosp. Fehlerstrom** ist der maximal zu erwartende Fehlerstrom.

Der **Min. Fehlerstrom** ist der minimal zu erwartende Fehlerstrom. Dieser Strom ist der relevante für die Abschaltzeit von Sicherungen.

Das **Verh. R/X** ist das Verhältnis des ohmschen Widerstands zum induktiven Blindwiderstand aufgrund des prospektiven Kurzschlussstroms der Anlage.

Die **Kurzschlussleistung** ist die zu erwartende Wechselstromleistung im Augenblick des Kurzschlusseintritts.

Die **Freischaltzeit** ist jene Zeit, in der der Lichtbogenstrom fließt.

Der **Transmissionsfaktor** berücksichtigt die Geometrie der Anlage und die Ausbreitung der Lichtbogenenergie.

Der **Faktor Strombegrenzung** ist das Verhältnis zwischen tatsächlichem Lichtbogenstrom und prospektivem Kurzschlussstrom.

Die **Bezogene Lichtbogenleistung** ist das Verhältnis der Lichtbogenleistung zur Kurzschlussleistung der Anlage.

Die äquivalente Lichtbogenenergie der Prüfklasse **Klasse 1** und **Klasse 2** ist die Energie aufgrund der Prüfpegel der jeweiligen Klasse.

Unter **Häufigkeit Lichtbogenspannung** für die Ermittlung von Lichtbogenstrom und Lichtbogenleistung wird die in der Berechnung verwendete Häufigkeit für die Ermittlung der jeweiligen Größe angezeigt.

4.6.2 Etiketten für Kennzeichnung von Anlagen

Zusätzlich zu den in PSS SINICAL üblichen Berichten gibt es einen speziellen Bericht für die Erstellung von Etiketten zur Kennzeichnung der Arc Flash Gefahr für Anlagen. Dazu ist das Berichtsfenster über den Menüpunkt **Ansicht – Bericht** zu öffnen. Eine detaillierte Beschreibung des Berichtsfensters finden Sie im Kapitel Berichte des Handbuches Bedienung.

Der Bericht **Arc Flash Etiketten** muss der aktuellen Zusammenstellung hinzugefügt werden, um ihn anschließend im Berichtsfenster öffnen zu können.

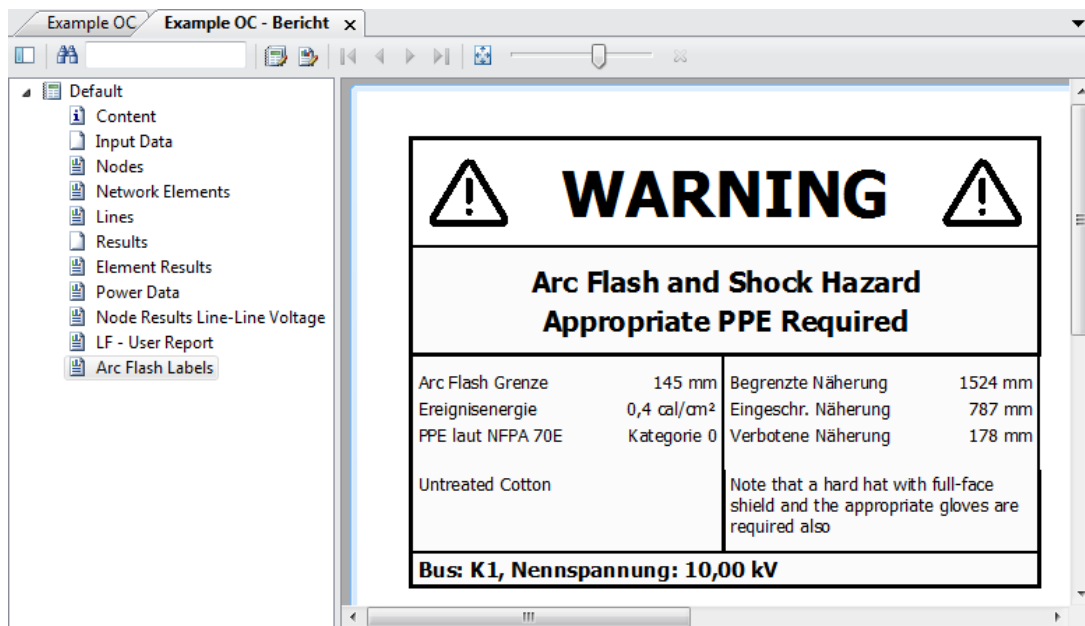


Bild: Bericht für Arc Flash Etiketten