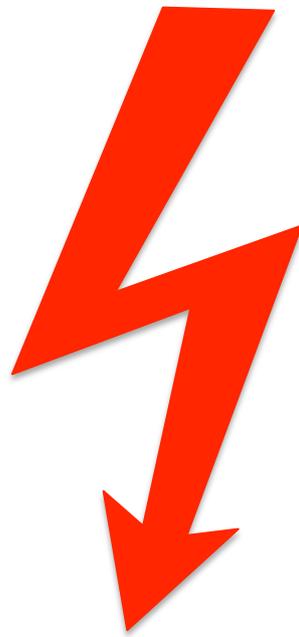


Ein Beitrag zur Unfallprävention

Risikoabschätzung und Schutzausrüstung bei elektrischen Gefahren

Leitfaden für die Praxis



Version 3, August 2013



h-connect GmbH | Organisationsberatung | Girhaldenstrasse 15 | CH-8331 Auslikon
Mobile: +41 079 635 99 71 | info@h-connect.ch | h-connect.ch

INHALT

| | |
|---|---|
| 1.1 Zweck dieses Leitfadens | 3 |
| Sicherheitshinweise und Limitierungen | 3 |
| Impressum | 3 |
| 1.2 Elektrosicherheit im Alltag – Keep it simple | 4 |
| 1.3 Die Risikoabschätzung – Vorgehen und Hilfsmittel | 4 |
| 1.4 Schutzausrüstung beschaffen und anwenden | 5 |

TECHNISCHER ANHANG

| | |
|--|----|
| 2. Allgemeine Informationen | |
| 2.1. Risikoabschätzung ist nicht Risikoanalyse! | 6 |
| 2.2. Grundlegende Annahmen und Festlegungen | 7 |
| 2.3. Restrisiken | 7 |
| 3. Energiebetrachtung | |
| 3.1. Basisdaten für dieses Modell | 8 |
| 3.2. Physikalische Grenzen von Schutzausrüstung gegen Störlichtbogen | 9 |
| 4. Physikalische Risikokriterien | |
| 4.1. Kurzschlussstrom | 10 |
| 4.2. Abschaltzeit | 11 |
| 4.3. Abstand | 13 |
| 5. Technische Risikokriterien | |
| 5.1. Bauart und Barrieren | 14 |
| 5.2. Vorgeschalteter Schutz | 15 |
| 6. Tätigkeitsbezogene Risikokriterien | |
| 6.1. Art der Tätigkeit | 16 |
| 6.2. Ergonomische Komponente | 16 |
| 7. Eingabe-Regeln | 17 |
| 8. Auswertung | |
| 8.1. Gewichtung der einzelnen Risikokriterien | 18 |
| 8.2. Festlegung und Abgrenzung der Schutzstufen | 19 |
| 8.3. Reduktionsfaktoren | 20 |
| 9. Änderungsindex | 20 |

BEILAGEN

- A.1. Auslösekennlinien NHS- Schmelzsicherungen
- A.2. Auslösekennlinien Diazed-Schmelzsicherungen
- A.3. Beispielsammlung
 - Formular „Risikoabschätzung an Arbeitsstellen mit elektrischen Gefährdungen“ (Kopiervorlage)

1.1 Zweck dieses Leitfadens

Elektrizität ist praktisch - und gefährlich: Meist passiert ja nichts... Und wenn doch, dann endet es schnell im Desaster – oft mit Elektro-Profis als Betroffenen, da diese den Risiken der Elektrizität am meisten ausgesetzt sind. Rund ein Drittel aller Elektrounfälle ist auf Störlichtbogen zurückzuführen. Und oft ist die Ursache eine falsche oder weggelassene Risikoabschätzung.

Ziel dieses Leitfadens ist es, die Komplexität solcher Risikoabschätzungen zu vereinfachen soweit verantwortbar. Zur Erhöhung der Arbeitssicherheit sollen Praktiker im Alltag über ein Werkzeug verfügen, um Gefahren richtig einzuschätzen und Schutzmassnahmen richtig anzuwenden.

Wichtige Sicherheitshinweise, Limitierungen und Haftungsausschluss

Für die Risikoabschätzung ist zwingend der technische Anhang zu beachten, wo zu jedem Risikokriterium, den Risiko-Abstufungsgraden und Gewichtungsregeln wichtige Informationen hinterlegt sind.

Jede Vereinfachung hat **Grenzen**, so auch dieser Leitfaden. Daher ist bei Zweifeln oder Unsicherheit - insbesondere bei **Kurzschlussströmen grösser als 25kA** oder **Abschaltzeiten grösser als 3s** – immer eine vollumfängliche Risikoanalyse nach Regeln der Technik durchzuführen (siehe 2.1 für weiter führende Literatur).

Nichtelektrische Gefahren (wie Absturz, wegfliegende Teile, Strassenverkehr etc.) können in diesem vereinfachten Modell nicht dargestellt werden, müssen aber natürlich in jedem Fall **zusätzlich in die Betrachtung einbezogen** werden.

Die Kleidung direkt auf der Haut (Unterwäsche etc.) wirkt zusammen mit darüber getragener Schutzkleidung gegen Störlichtbogen. Kunstfasermaterialien sind zu meiden weil sie sich in die Haut einbrennen können. Trockene Baumwolle oder flammhemmende Materialien sind gut. Mehrere Schichten erhöhen die Schutzwirkung. Nasse Kleidung kann das Durchströmungsrisiko erhöhen.

Das Modell entwickelten Praktiker für Praktiker nach bestem Wissen und Gewissen. Sicherheitshinweise und Limitierungen sind zwingend zu beachten und im Zweifelsfall sind Fachpersonen beizuziehen. Haftungsansprüche aus der Anwendung des Modells muss der Autor ausdrücklich ablehnen.

Impressum

Autor dieses Textes ist Hansueli Homberger, Inhaber der *h-connect GmbH*. Er verfügt über einen Meisterabschluss als Elektroinstallateur und ein Nachdiplom sozialwissenschaftlicher Ausrichtung. Der Beitrag kann im Sinn der Nutzungsbestimmungen von Creative Commons, unter Autorenangabe und nicht-kommerziell frei verwendet und zu gleichen Bedingungen weiter publiziert werden. (<http://creativecommons.org>)

1.2 Elektrosicherheit im Alltag – Keep it simple

In industrialisierten Ländern betreffen Risiken der Elektrizität faktisch die gesamte Bevölkerung. Gute Instruktionen zur Verhütung von Elektrounfällen sind daher wichtig. Einige Grundregeln:

- Das Öffnen von Elektro-Räumen und Elektroschränken sowie Manipulationen an elektrischen Einrichtungen ist nur Berechtigten gestattet und es ist dazu ein formeller Auftrag der Anlagenverantwortlichen notwendig.
- Nach Elektroarbeiten müssen die Ausführenden / Zuständigen eine Sicherheitskontrolle durchführen. Nachweise dieser Kontrollen sind den Anlagenverantwortlichen auszuhändigen.

Bei folgenden Feststellungen ist Meldung an Fachpersonen, Vorgesetzte oder Anlagenverantwortliche zu erstatten:

- Bei Kribbeln, Knistern, brenzlichem Geruch, Erhitzung, Rauch etc.
- Wenn, Elektroschränke unbeaufsichtigt offen stehen, Abdeckungen fehlen oder Kabelenden nicht isoliert sind.
- Wenn Kabel ausgerissen oder beschädigt sind oder bei anderen mechanischen Defekten.
- Wenn Unbekannte fummeln oder Verantwortlichkeitsfragen unklar sind

Diese Liste ist fallweise zu ergänzen, oft ist aber weniger mehr.

1.3 Die Risikoabschätzung: Vorgehen und Hilfsmittel

Dieser Leitfaden ist primär für folgende Anwendungsfälle konzipiert:

- Ad hoc Beurteilungen durch Service-Techniker und dergleichen, bei häufigen Arbeitsplatzwechseln und Einsätzen in unbekanntem Umgebungen
- Klassierung grösserer Anlagenbestände nach Gefährlichkeit, z.B. um für unterschiedlich gefährliche Umgebungen entsprechend geschultes oder instruiertes Personal einzusetzen

Das Vorgehen im Wesentlichen:

- Formularvorlage kopieren (letzte Seite dieses Leitfadens)
- Risiken pro Arbeitsstelle abschätzen und gewichten
- Massnahmen umsetzen (Freischalten oder risikogerechte Schutzausrüstung benützen)

Das Formular *Risikoabschätzung an Arbeitsstellen mit elektrischen Gefährdungen* (Kopiervorlage letzte Beilagensseite) strukturiert diesen Leitfaden und fasst die Risikoabschätzung in sieben Fragen – sieben *Risikokriterien* – verteilt auf drei Gruppen.

| Risiko-Kriterien - Leitfragen | Gruppe |
|--------------------------------------|---------------|
| Kurzschlussstrom? | Physik |
| Abschaltzeit? | |
| Abstand? | |
| Bauart der Anlage / Barrieren? | Technik |
| Vorgeschalteter Schutz? | |
| Art der Tätigkeit? | Tätigkeit |
| Ergonomische Komponente? | |

Jedes dieser Kriterien ist nach einem 4-stufigen Raster – von geringer bis sehr grosser Gefahr – abzuschätzen. Der technische Anhang enthält die dafür nötigen Informationen und Sicherheitshinweise.

Jeder Einzelantwort ist ein Zahlenwert zugeordnet. Deren Summe ergibt, ob für den vorgesehenen Eingriff freigeschaltet werden muss (Arbeitsstopp), respektive mit welcher Stufe von persönlicher Schutzausrüstung (Elektro-PSA) ein schwerer Personenschaden im Fehlerfall zu vermeiden ist.

Die Eingabe der Gewichtungspunkte unterliegt Regeln, die in Kapitel 7 näher ausgeführt sind. Im Formular sind diese Regeln als Formeln festgehalten. Sie zu ignorieren kann lebensgefährlich sein.

Weiter enthält das Formular eine Reihe von Optionen zur Verfeinerung der Risikoabschätzung:

- Hinweis auf ein allfälliges Durchströmungsrisiko, dargestellt durch ein ★ – Symbol in den zutreffenden Feldern
- Berücksichtigung einer Überdistanz zum Gefahrenherd (siehe 8.3).
- Berücksichtigung der Qualität von PSA und Kleidung generell (siehe 8.3)

Es ist für jede Arbeitssituation eine eigene Risikoabschätzung durchzuführen. Das Formular erlaubt eine einfache Dokumentation dieses Schrittes indem Felder zur Identifikation der Arbeitsstelle und des Arbeitsverantwortlichen vorgesehen sind.

Für EDV-Anwendungen ist das Formular auf www.h-connect.ch als Excel-Datei verfügbar. Verschiedene Funktionen sind dabei automatisiert und erleichtern die Auswertung.

1.4 Schutzausrüstung beschaffen und anwenden

Persönliche Schutzausrüstung (PSA) ist auf vorhandene Risiken abzustimmen, auch Elektro-PSA: Was vor Störlichtbogen schützt, wirkt nicht automatisch gegen Durchströmung - und umgekehrt. So können z.B. rein isolierende Handschuhe bei Störlichtbogen mit der Haut vulkanisieren, wenn sie ohne wärmedämmende Unterziehhandschuhe getragen werden. Die Herstellerzertifikate zu beachten ist entsprechend wichtig.

Elektro-PSA – Körper-, Hand- und Gesichtsschutz (z.B. Helm mit Visier) – ist in verschiedenen Schutzklassen erhältlich (siehe 3.2). Auch wo keine PSA verlangt ist, können Restrisiken lauern (siehe 2.3). Daher ist wichtig, was direkt auf der Haut getragen wird: Eine gut gewählte erste Schicht bietet gegen Störlichtbogen und Durchströmung einen *Minimal-Schutz*, der natürlich bei leistungsstarken Anlagen durch weitere Schichten zu ergänzen ist. Nachfolgend daher ein empfohlener „Dress-Code“ für Leute, die Tätigkeiten im Umfeld elektrischer Anlagen ausführen:

- Trockene, langärmlige Kleidung, Baumwolle oder wärmedämmende Gewebe auf der Haut, keine Kunstfasern.
- Gutes Schuhwerk mit Isoliereigenschaften.
- Weiter kann leichter Augen- und Handschutz (z.B. trockene Baumwoll-Handschuhe und Schutzbrille) sinnvoll sein, wenn die Risikoabschätzung keine der normierten PSA-Stufen fordert.

Oft muss nicht nur gegen Störlichtbogen und Durchströmung mit PSA geschützt werden sondern z.B. auch gegen herunterfallende Gegenstände, statische Aufladung, schlechte Sichtbarkeit etc. Darum besteht die Herausforderung bei der PSA-Beschaffung darin, alle plausiblen Anwendungsfälle vorzusehen und multifunktional einsetzbare Produkte auszuwählen.

In der Schweiz muss neue Elektro-PSA die Anforderungen der EN-SN 61482-1-2 erfüllen. Andere Standards übertreffen diese Norm, teils deutlich (Ansätze einer Äquivalenzbeurteilung siehe 8.3). Um die Schutzwirkung über die Zeit zu erhalten ist eine regelmässige Prüfung und Pflege nach Herstellerangaben unerlässlich.

TECHNISCHER ANHANG

2. Allgemeine Informationen

2.1 Risikoabschätzung ist nicht Risikoanalyse!

Zur Risikoanalyse bei Arbeiten im Umfeld elektrischer Anlagen existieren nationale Richtlinien und Referenzdokumente in verschiedenen Ländern, dazu solche von internationale Organisationen sowie harmonisierte Normen für spezifische Einzelaspekte. Nachfolgend ein kleiner Überblick:

- Leitlinie für die Auswahl von persönlicher Schutzausrüstung gegen thermische Auswirkungen eines Störlichtbogens (2011), International Social Security Association ISSA, ISBN 978-3-937824-09-3, Gratis Download pdf bei www.issa.int.
- Tätigkeiten an elektrischen Anlagen (2009), Richtlinie 407.0909 des Eidgenössischen Starkstrominspektorates ESTI, Gratis Download pdf via www.esti.admin.ch > [Publikationen](#)
- Thermische Gefährdungen durch Störlichtbogen – Hilfe bei der Auswahl der persönlichen Schutzausrüstung Informationsschrift (2012), Informationsschrift 5188 BG-E TEM, Köln / DGUV, Gratis-Download via www.bgetem.de.
- SN-EN 50110-1: 2013, Betrieb von elektrischen Anlagen; Gegen Gebühr z.B. bei www.electrosuisse.ch
- SN-EN 61482-1-2: 2007, Prüfverfahren für Schutzkleidung gegen Störlichtbogen; Gegen Gebühr z.B. bei www.electrosuisse.ch
- Standard for Electrical Safety in the Workplace (2012), National Fire Protection Association NFPA, Massachusetts / USA; Code 70, Zugang via www.nfpa.org.
- Sicherheitshandbuch mit Empfehlungen und Richtlinien zur Sicherheit im Elektrizitätswerk, mit Wasser und Gas (2012), Verband Schweizer Elektrizitätsunternehmen VSE / Verband Schweizerischer Gas und Wasserwerke VSGW, gegen Gebühr bei www.strom.ch.

EDV-gestützte Arbeitshilfen zur Bewertung von Störlichtbogenrisiken werden beispielsweise von der Firma BSD aus Dresden verkauft. www.bsd-dresden.de, Art.Nr. 49 99 999; 295€

Wichtige Sicherheitshinweise

Dieser Leitfaden ist keine Richtlinie im Sinn der oben aufgeführten Regelwerke sondern als Hilfestellung für einfache bis mässig komplexe Anwendungsfälle in der Praxis gedacht. Die physikalischen Grenzparameter sind Kurzschlussströme bis max. 25kA und Auslösezeiten bis max. 3s.

Bei hohen Kurzschlussströmen ist eindringlich vor Risiken durch wegfliegende Teile, Druck, Schall und toxische Zersetzungsprodukte zu warnen. Ebenfalls sei nochmals wiederholt, dass nichtelektrische Gefahren (wie Absturz, wegfliegende Teile, Strassenverkehr etc.) in diesem vereinfachten Modell nicht dargestellt werden können, aber natürlich in die Betrachtung mit einbezogen werden müssen.

Zur sicheren Anwendung dieses Leitfadens sind die Eingabe-Regeln in Kapitel 7 zu beachten und einzuhalten.

Siehe auch Sicherheitshinweise und Haftungsausschluss Seite 1.

2.2 Grundlegende Annahmen und Festlegungen

Die freigesetzte Energiemenge bestimmt das Schadensausmass bei Störlichtbogenunfällen. Schutzmassnahmen bezwecken, dass Störlichtbogenenergie möglichst nicht zu Hautverbrennungen oder anderen Personen- / Sachschäden führen kann. In Betracht kommen dabei:

- Begrenzung der freisetzbaren Energiemenge durch vorgeschaltetes Schutzorgan (Dämpfung durch Netzkonstellation ist ebenso bedeutsam, aber keine eigentliche Schutzmassnahme).
- Barrieren, einerseits um die Ausbreitung von Störlichtbogen zu beschränken (Gehäuse, Abstand etc.), andererseits um exponierte Personen direkt zu schützen (Schutzkleidung).

Die Berechnung des Joule-Werts der Störlichtbogenenergie ist etwas komplex, insbesondere wenn mehr als der rein thermische Anteil abgebildet werden soll. Daher nähert sich dieses Modell dem realen Risiko **allein über die Parameter Strom und Zeit**. Dabei müssen die Schutzpegel relativ hoch angesetzt werden, d.h. eine genauere Berechnung gemäss den unter 2.1. gelisteten Methoden ergäbe möglicherweise, dass eine tiefere Schutzstufe ausreichen würde.

Weil bei Mittel- und Hochspannungsanwendungen das Risiko durch normierte Minimalabstände begrenzt ist, wird in diesem Leitfaden **Spannung nicht als separates Kriterium** betrachtet.

Diese Festlegungen, wie auch beispielsweise die Gewichtung einzelner Risiko-Kriterien haben etwas Willkürliches. Anlagebetreiber demnach könnten versucht sein, eigene, andere Gewichtungen vorzunehmen. Damit diese Freiheit gewährleistet bleibt werden alle Herleitungen in diesem technischen Anhang transparent gemacht. Wichtig: Auch bei kleinen Modifikationen ist das ganze System neu zu denken und einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen.

2.3 Restrisiken

Falls jemand ganz nahe vor einem vollständig geöffneten Elektroschrank mit blanken Schienen nur stehen und schauen will, könnte dieses Modell das Tragen einer Schutzausrüstung nicht in jedem Fall als erforderlich ausgegeben. Um solch unsinniges Handeln auszuschliessen unterliegt die Vergabe der Gewichtungspunkte einer Reihe von Regeln, die in Kapitel 7 beschrieben sind.

Dieser Leitfaden kann und will die Denkarbeit von Arbeitsverantwortlichen nicht ersetzen. Vor offenen, nicht berührungssicheren Elektroschränken darf niemand ungeschützt stehen und nur schauen. Sie sind zu verschliessen oder zu sichern wenn sie unbeaufsichtigt sind. Grundlegende Prinzipien wie dieses müssen Allgemeinwissen sein. Aus diesem Grund steht das Kapitel über Elektrosicherheit im Alltag ganz am Anfang dieses Leitfadens.

„Nur Schauen“ ist also hier durch Eingaberegeln ausgeschlossen. Doch es bleiben Anlagenrundgänge, Ablesen, Parametrieren, Bedienen etc., oft ausgeführt von Nicht-Elektro-Fachkräften mit vielleicht wenig Risikobewusstsein. Solches Personal gilt es zu instruieren und schützen. Dieses Modell hilft dabei indem es nicht nur Grenzen, Risiko- / Schutzstufen und dergleichen aufzeigt sondern sich dem Gesamtrisiko annähert und damit auch Grenzbereiche und heikle Situationen erkennbar macht.

Niemand verbietet, mehr als das Minimum für die Sicherheit zu tun, sich also besser zu schützen als verlangt. Es geht immerhin um Leben und Tod: Elektrosicherheit stützt auf technische Schutzeinrichtungen. Und weil diese versagen können, wird keine Methode jedes Restrisiko bei Tätigkeiten im Umfeld elektrischer Anlagen zum Verschwinden bringen können. Darum braucht es Menschen, die denken, Kenntnisse über die Risikolage und Sicherheitsmassnahmen haben – und auch mal den Mut, Nein zu sagen zu einem riskanten Plan. Oder um Hilfe zu fragen.

3. Energiebetrachtung

3.1 Basisdaten für dieses Modell

Basierend auf der Festlegung von Strom und Zeit als relevante Parameter für Energiebetrachtungen werden für diese zunächst die vier Risikostufen wie folgt festgelegt:

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|
| Kurzschlussstrom I_k | Bis 1,5kA | 1,5 - 5kA | 5 - 12,5kA | 12,5 - 25kA |
| Abschaltzeit t_A | Bis 5ms | 5 - 50ms | 50 - 500ms | 0,5 - 3s |

Um diese Risiko-Äquivalente durch Addition in Bezug zu anderen Parametern setzen zu können, wird das auf die tiefste Stufe bezogene Risiko-Vielfache und davon der natürliche Logarithmus berechnet. Damit die Werte besser handhabbar werden – ohne Kommastellen – wird das Resultat zusätzlich um Faktor 4 erweitert. Beim Kriterium der Abschaltzeit ergibt sich folgende Zusammenfassung:

| Abschaltzeit | Risiko-Vielfaches | | Gewichtungs-Faktoren (Erweiterung Log nat. mit 4) |
|--------------|-------------------|----------|--|
| | Absolut | Log nat. | |
| Bis 5ms | 1 | 0 | 0 |
| 5 - 50ms | 10 | 2.3 | 9 |
| 50 - 500ms | 100 | 4.6 | 18 |
| 0,5 - 3s | 600 | 6.4 | 26 |

Für den Kurzschlussstrom ist zu beachten, dass bei höheren Werten zusätzliche Risiken durch dynamische Effekte entstehen (weggeschleuderte Teile, toxische Zersetzungsprodukte, Druck, Schall etc.). Daher wird zur Bestimmung des Risiko-Äquivalents beim Kurzschlussstrom der Exponent 2.4 verwendet. Für eine allenfalls mögliche tiefere Gewichtung fehlen derzeit die Grundlagen.

| Kurzschlussstrom | Risiko-Äquivalent ($kA^{2.4}$) | Risiko-Vielfaches | | Gewichtungs-Faktoren (Erweiterung Log nat. mit 4) |
|------------------|-------------------------------------|-------------------|----------|--|
| | | Absolut | Log nat. | |
| Bis 1,5kA | 2.7 | 1 | 0 | 0 |
| 1,5 - 5kA | 47.6 | 18 | 2.9 | 12 |
| 5 - 12,5kA | 429.1 | 162.1 | 5.1 | 20 |
| 12,5 - 25kA | 2264.9 | 855.9 | 6.8 | 27 |

Wichtig: Der theoretisch mögliche – prospektive - Kurzschlussstrom $I_{k\text{prosp}}$ fließt im Fehlerfall nicht voll (wegen der Störlichtbogenimpedanz und weiterer dämpfender Faktoren), sondern nur ein Anteil von ca. 30 – 80 %. Gefährlich ist, dass dadurch die Abschaltzeit ansteigt und unter Umständen mehr Energie freigesetzt wird als bei 100% $I_{k\text{prosp}}$. !

Es gehört daher zur Risikoabschätzung, die **Gewichtung von Kurzschlussstrom und Abschaltzeit zweimal durchzuführen**, einmal mit 100% $I_{k\text{prosp}}$ und einmal mit 50% davon. Für die weiteren Berechnungen ist dann die grössere der beiden Summen zu verwenden.

Durch Eingabe folgender Formeln in ein Excel-Blatt können für Zwischenwerte die genauen Gewichtungsfaktoren bestimmt werden (Limitierungen auf 25kA respektive 3s beachten!):

$$\text{Für } t_A : [\text{Eingabe in Feld A1}] : =\text{LN}(A1/0.005)*4$$

$$\text{Für } I_k : [\text{Eingabe in Feld A2}] : =\text{LN}(\text{POTENZ}(A2;2.4)/(\text{POTENZ}(1.5;2.4)))*4$$

Vorsicht: Die Addition der Gewichtungspunkte gemäss Formular ergibt Sicherheitsmargen welche bei der Berechnung mittels obiger Formeln entfallen (s. Beispielsammlung, Anhang A3).

3.2 Physikalische Grenzen von Schutzausrüstung gegen Störlichtbogen

Schutzausrüstung muss den vorhandenen Risiken angepasst sein. Bei Gefahr von Störlichtbogen heisst das: Je mehr Energie an der Gefahrenstelle potenziell freisetzbar ist, desto mehr – schwerere – Elektro-PSA ist zu tragen. Dieses Stufen- oder Zwiebelschalenprinzip macht Sinn, hat aber physikalische Obergrenzen, die in starken Netzen an vielen Stellen überschritten sind.

Nachstehend sind die Kriterien der Kleiderprüfnorm EN-SN 61482-1-2 mit den Basisdaten gemäss 3.1 dieses Modells verknüpft. Die besagte Norm unterscheidet zwei Klassen von Elektro-PSA, während in der Schweiz das Tragen beider Klassen übereinander als eigene, dritte Stufe eingeführt ist.

Die Umrechnung der PSA-Schutzwirkung in Gewichtungspunkte beruht auf rudimentären Experimenten zur Belast- und Überlastfähigkeit von PSA. Diese haben gezeigt, dass sich eine genügende Korrelation ergibt zwischen der zugeführten Energiemenge und der Schutzwirkung der PSA, respektive dem Schadenbild, wenn für beide Fälle behelfsmässig in A^2s gerechnet wird. Für die Herleitung der Systemgrenzwerte ist hingegen – gemäss 3.1 – beim Kurzschlussstrom der Exponent 2.4 verwendet, was in diesem Vergleich eine Sicherheitsmarge bedeutet.

| Abgrenzungen | Physikalische Kriterien | | | Gewichtungs- Äquivalent |
|--|-------------------------|-------|--------|----------------------------|
| | Abstand | I_k | t_A | |
| Physikalische Untergrenze dieses Modells (s. Kap. 2.1) | - | 1,5kA | 0.005s | 0 |
| Elektro-PSA Stufe 1 | 30cm | 4kA | 0.5s | 26.3 |
| Elektro-PSA Stufe 2 | 30cm | 7kA | 0.5s | 30.7 |
| Elektro-PSA Stufe 3 | - | - | - | 31.9 |
| Physikalische Obergrenze dieses Modells (s. Kap. 2.1) | - | 25kA | 3s | 53 |

Die unbequeme Wahrheit: Der Schutzpegel handelsüblicher Elektro-PSA liegt weit tiefer als viele in der Praxis anzutreffende Arbeitssituationen und auch deutlich tiefer als die obere physikalische Limitierung dieses Modells. Ein Dilemma, das keine Methode aus der Welt schaffen kann und aus dem sich Folgendes für den Schutz gegen Störlichtbogen ableiten lässt:

- Bei Arbeiten im Umfeld leistungsstarker Elektroanlagen sind im Fehlerfall Verletzungen - insbesondere Verbrennungen - nie vollständig ausschliessbar. Darum ist wichtig, keine Kunstfaser-Materialien auf der Haut zu tragen (siehe Sicherheitshinweise unter 1.1, 2.1 etc. sowie Kapitel 2.3 betreffend Restrisiken)
- Die risikoärmste Methode ist Freischalten nach den 5 Sicherheitsregeln – und sollte wo immer möglich angewendet werden. Die 5 Sicherheitsregeln sind: *1. Abtrennen, 2. Gegen Wiedereinschalten sichern, 3. Auf Spannungsfreiheit prüfen, 4. Erden und 5. Gegen benachbarte unter Spannung stehende Teile abdecken*
- Die Schutzausrüstung mindert die Schwere möglicher Verbrennungen und darum ist jede getragene Schutzausrüstung besser als nicht getragene.
- Qualitätsaspekte sind entscheidend für die Unfallprävention, insbesondere die Qualität und Robustheit von:
 - Gehäusen, Abdeckungen, Absperrungen, Abschottungen etc. (siehe 5.1)
 - persönlicher Schutzausrüstung gegen Störlichtbogen (siehe 8.3).

4. Physikalische Risikokriterien

4.1 Kurzschlussstrom (I_k)

Die Risiko-Gewichtung für Kurzschlussstrom ist in diesem Modell wie folgt festgelegt (Herleitung siehe Kapitel 2, Energiebetrachtung):

| | | | |
|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| Stufe 1: Bis 1,5kA | Stufe 2: 1,5 - 5kA | Stufe 3: 5 - 12,5kA | Stufe 4: 12,5 - 25kA |
| 0 | 12 | 20 | 27 |

Sicherheitshinweis: Kurzschlussströme <1,5kA sind keinesfalls ungefährlich, höchstens bei ultraschneller Abschaltung! Selbst Kurzschlussströme von wenigen 100A können zu Verbrennungen an ungeschützten Händen führen wenn die Abschaltzeit hoch ist!

Der theoretisch mögliche, prospektive Kurzschlussstrom ($I_{k\text{prosp.}}$) an einer beliebigen Stelle im Netz kann gerechnet, gemessen oder geschätzt werden. Schätzen ist bei reinen Stickleitungen möglich. I_k -Messungen sind möglichst hinter kleineren Sicherungen durchzuführen – nach einer vorgängigen Risikoabschätzung. Eine gute Option ist speziell zur Kurzschlussstromberechnung konzipierte Software. In komplexen Fällen muss auf qualifizierte Berechnungen abgestützt werden, z.B. vom Netzbetreiber, spezialisierten Fachkräften oder aus Prüfberichten etc.

Zur Schätzung einer Fehlerschleifen-Impedanz - die den Kurzschlussstrom bestimmt – ist auf dem schlimmsten möglichen Fall aufzubauen. Die Annäherung über Querschnitt und Leitungslänge ist bei Stickleitungen vertretbar, weil der Wirkwiderstand der Leitung kleiner ist – also weniger dämpft - als die gesamte Impedanz. Für kleine Querschnitte kann es reichen, nur die Zuleitung zur Arbeitsstelle zu berücksichtigen und eine Minimal-Länge zu berechnen, die den Kurzschlussstrom z.B. auf < 1,5kA dämpft (Tabelle unten). Die Grundformel $L = (U \cdot A) / (R_o \cdot I_k)$ ergibt die Gesamtleiterlänge. Um daraus die effektiv nötige Leitungslänge zu bestimmen ist dieser Wert nicht zu halbieren sondern nur durch 1.5 zu teilen, respektive durch 1.3 bei Drehstrom. Dies um Parallelschaltungen - auch mit dem Erdsystem – zu berücksichtigen und realistisch zu kalkulieren.

| Querschnitt | Min. Leitungslänge für $I_k < 1,5\text{kA}$ | |
|-------------|---|----------|
| | Bei 230V | Bei 400V |
| 2.5 | 22 | 38 |
| 10 | 88 | 152 |
| 25 | 219 | 381 |

Um den Kurzschlussstrom (effektiv) unter Berücksichtigung der ganzen Schleife von der Quelle bis zur Arbeitsstelle zu erfassen, lässt sich auf der Basis obiger Überlegungen folgende Form anwenden:

$$I_k = K / (L_1/A_1 + L_2/A_2 \dots + L_x/A_x + 17'600 / I_{k\text{max. Trafo}})$$

K = Konstante; **8'800** für Spannung 230V, **17'600** für Spannung 400V

L_x/A_x = Quotient Länge/Querschnitt für jeden Leitungsabschnitt

$17'600 / I_{k\text{max. Trafo}}$ = Abbild für speisenden Trafo. Fehlen Details ist 0.35 einsetzbar (bis 50kA).

Beispiel: Arbeitsstelle erschlossen mit 25m Leitung à 35mm², davor 60m à 150mm² bis zur Hauptverteilung und 15m doppelt verlegtem 240mm² bis zum Trafo mit $I_{k\text{max.}} = 27\text{kA}$.

$$17'600 / (25/35+60/150+15/480+17'600/27'000) = \text{ca. } \mathbf{9.8\text{kA}}$$
 (4.9kA bei 230V wirksamer Spannung)

Gleichwertig: Nomogramm gemäss Schweizerischer NS-Installationsnorm NIN, 4.3.4.2.2

4.2 Abschaltzeit (t_A)

Die Risiko-Gewichtung für Abschaltzeit ist in diesem Modell wie folgt festgelegt (Herleitung siehe Kapitel 2, Energiebetrachtung):

| | | | |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Stufe 1: Bis 5ms | Stufe 2: 5 – 50ms | Stufe 3: 50 – 500ms | Stufe 4: 0,5 – 3s |
| 0 | 9 | 18 | 26 |

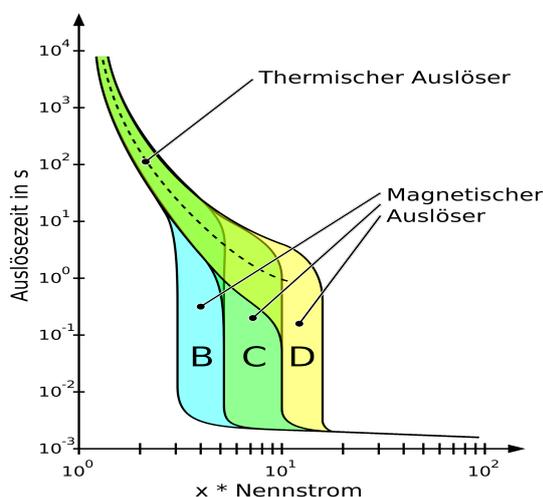
Die Abschaltzeit ist bestimmt durch das vorgeschaltete Überstrom-Schutzorgan und den effektiv fließenden Kurzschlussstrom. Weil dieser nur 30-80% des theoretisch möglichen, prospektiven Kurzschlussstromes $I_{k \text{ prosp}}$ beträgt (siehe 3.1), ist die Abschaltzeit auch mit 50% $I_{k \text{ prosp}}$ abzuschätzen. Basis für die weiteren Berechnungen ist dann der schlechtere Fall, das heisst die höhere Summe der Gewichtungsfaktoren für I_k und t_A .

Wichtig: Meist ist das vorgeschaltete Schutzorgan an der Arbeitsstelle nicht ersichtlich sondern befindet sich am Anfang der Zuleitung. Nur wenn ausgeschlossen werden kann, dass z.B. herunter fallende Teile im Einspeisebereich oder an benachbarten Stromkreisen einen Kurzschluss auslösen (z.B. durch vollständige Isolation aller aktiven Teile), können lokale Überstrom-Schutzorgane für die Schätzung der Abschaltzeit in Betracht gezogen werden (z.B. bei Arbeiten an Abgangsklemmen).

In der Regel wird die Abschaltzeit gestützt auf die technische Dokumentation der vorgeschalteten Überstromunterbrecher abgeschätzt. Die nachfolgenden Hilfestellungen sind für einfachere Praxisfälle gedacht. Bei Unsicherheiten oder Zweifeln ist zwingend fachmännischer Rat einzuholen.

Elektromagnetische Auslöser – z.B. in Leistungsschaltern, Leitungsschutzschaltern etc. – sprechen bei definierten, typenabhängigen Vielfachen des Nennstromes an (Tabelle unten). Besteht Gefahr, dass der untere Grenzwert nicht erreicht wird (zu tiefer Kurzschlussstrom), ist meist Risikostufe 4 oder unter Umständen sogar die Systemgrenze von 3 Sekunden erreicht. Die Schätzung der Abschaltzeit bei 50% $I_{k \text{ prosp}}$ ist daher besonders wichtig bei hohen Nennströmen. Fallweise können auch Worst-Case-Betrachtungen nötig sein für Abschaltzeiten mit noch tieferen Kurzschlussströmen, die z.B. auftreten wenn ein dreipoliger Kurzschluss nach dem Auslösen von zwei Sicherungen mit 230V gegen Erde weiterbrennt.

Wird hingegen der obere Grenzwert überschritten kann von einer sicheren Auslösung ausgegangen und mit Stufe 3 oder – je nach Produkt – Stufe 2 (< 50ms) gewichtet werden. Das Restrisiko eines Defektes – z.B. verschweisste Kontakte – ist zum Glück sehr klein, kann aber fatale Konsequenzen haben und wird daher unter 5.2 berücksichtigt.



| LS Typ | Vielfaches von I_N für el.magn. Auslösung | |
|--------|---|------------------|
| | Unterer Grenzwert | Oberer Grenzwert |
| B | 3-fach | 5-fach |
| C | 5-fach | 10-fach |
| D | 10-fach | 20-fach |
| K | 8-fach | 14-fach |

Bei einstellbaren Schutzschaltern kann die Auslösekurve anlagenspezifisch angepasst werden. Das macht die Bestimmung der Auslösezeit eigentlich einfacher, wegen der grossen Markenvielfalt ist aber das Risiko eines Irrtums nicht unerheblich wenn die nötige Erfahrung fehlt. Bei Unsicherheiten ist das Einholen von fachmännischem Rat daher unerlässlich, zumal einstellbare Schalter tendenziell bei eher höheren Nennströmen eingesetzt werden und diese im Fehlerfall auch entsprechend viel Störlichtbogenenergie durchlassen.

Bei Schmelzsicherungen ist der I^2t -Wert bestimmend für die Auslösung. Typisch für diese Art von Überstromunterbrechern ist daher, dass bei gleichen Vielfachen des Nennstroms die Sicherungen mit höheren Nennstromstärken auch höhere Auslösezeiten haben.

Nachfolgende Tabelle verknüpft diese Zusammenhänge mit den Risiko-Stufen für Abschaltzeit. Für die präzise Beurteilung sind Hersteller-Dokumentationen zu konsultieren. Als Orientierungshilfe sind hier beispielhaft Strom-Zeit-Diagramme als Beilagen A1 und A2 angefügt.

| <i>Vielfaches von I_N</i> | <i>Risiko-Stufe</i> (approximativ, siehe Beilagen, Auslöse-Kennlinien) |
|--|---|
| | NHS gG (16 – 630A) |
| $5 * I_N$ | Stufe 4, Ab ca. 200A Überschreitung 3s möglich ! |
| $10 * I_N$ | Stufe 4, ggf. 3 |
| $20 * I_N$ | Stufe 3, ggf. 2 |

4.3 Abstand

Die Risiko-Gewichtung für Abstand nimmt Bezug auf die europäische Norm zum Betrieb von elektrischen Anlagen – EN-SN 50110 – und ist gemäss nachfolgender Tabelle festgelegt.

| Risiko-Stufe | Definition | Gewichtung |
|--------------|--|------------|
| 1 | Sicherer Abstand / Abschränkung zu Annäherungszone (SN-EN 50110) | 0 |
| 2 | Pufferzone wenn Abstand / Abschränkung nicht sicher | 9 |
| 3 | In Annäherungszone (EN-SN 50110) | 18 |
| 4 | In Gefahrenzone (EN-SN 50110) / Am Spannung führenden Teil | 26 |

Weil die Annäherungszone durch Abschränkungen verkleinert werden kann existiert ein wechselseitiger Bezug zwischen den Kriterien *Abstand* und *Bauart / Barrieren* (siehe 5.1). Wichtig: Abschränkungen müssen genügend robust und dicht sein, damit sie eine Verkleinerung der Annäherungszone bewirken. Das Eindringen in die Gefahrenzone – auch mit Werkzeug und Gegenständen, inklusive unbeabsichtigte Vorfälle – muss zuverlässig verhindert und Personen auf der sicheren Seite von Abschränkungen müssen vor einem allfälligen Lichtbogen geschützt sein.

Um das Restrisiko zwischen Annäherungszone und sicherem Abstand in diesem Modell abzubilden wird Risiko-Stufe 2 als Pufferzone eingeführt. Ein solcher Sicherheitsabstand ist zwar in Pkt. 6.4.4. der EN-SN 50110 gefordert aber nicht definiert. Anlagenverantwortliche haben also Spielraum bei den unten vorgeschlagenen Distanzen.

Weil die Zonenabstufung der EN-SN 50110 auch die Spannung berücksichtigt lässt sich dieses Modell – mit der nötigen Umsicht – in allen Spannungsebenen anwenden. Nachstehend auszugsweise einige Referenzabstände. Eine detaillierte Liste ist auch in der ESTI-Weisung 407.0909 enthalten (Gratis Download [via www.esti.admin.ch](http://www.esti.admin.ch) > Publikationen).

| Spannung | Norm-Zonen gem. EN-SN 50110 | | Zusätzlicher Abstand (Puffer) | |
|----------|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| | Gefahrenzone | Annäherungszone | Berührungssichere Anlagen | Anlagen mit blanken, aktiven Teilen |
| Bis 1kV | Keine Berührung | 0,3m | +1m | +1.5m |
| 10kV | 12cm | 1.15m | +1m | +1.5m |
| 20kV | 22cm | 1.22m | +1m | +1.5m |
| 60kV | 63cm | 1.63m | +1m | +1.5m |

In Niederspannungsanlagen ist der Abstand zu einem möglichen Störlichtbogen für verschiedene Körperteile – v.a. Hände! – stark unterschiedlich. So hängen auch *Abstand* und *Art der Tätigkeit* (6.1) eng zusammen. Nebst den Eingaberegeln (Kapitel 6) ist dazu folgendes festzuhalten:

- Wenn unbeabsichtigtes Eindringen mit dem Körper oder mit leitfähigen Gegenständen in die Annäherungs- oder Gefahrenzone möglich ist, muss die höhere Gewichtung gewählt werden
- Solange sich der ganze Körper eindeutig nur in der Annäherungszone befindet kann das gezielte Heranführen *einer* Messspitze an Spannung führende Teile mit Risikostufe 3 gewichtet werden.

Zudem wichtig: Störlichtbogen „wandern“ vom Speisepunkt weg. Die Zerstörungskraft ist dann am Ende von Stromschienensystemen am grössten, auch z.B. bei NHS-Elementen, bei denen die 3 Pole nebeneinander angeordnet sind. Zudem besteht die Gefahr, dass durch ionisierte Gase weitere Lichtbogen gezündet werden.

5. Technische Risikokriterien

5.1 Bauart und Barrieren

Qualität und Robustheit von Gehäusen, Abdeckungen, Absperrungen, Abschottungen sind entscheidende technische Momente der Unfallprävention. Der Fokus liegt auf zwei Aspekten:

- Verhinderung von Lichtbogen-Fusspunkten, v.a. durch Isolation und Verschalung aktiver Teile
- Räumliche Eingrenzung einer allfälligen Lichtbogenwirkung

Die Beurteilung von Qualität und Robustheit elektrischer Anlagen kann es in sich haben. Gerade bei älteren oder im Lauf der Zeit modifizierten Anlagen fehlen oft Prüfzertifikate. Und selbst wenn diese vorliegen ist das noch keine Versicherung. Es gilt entsprechend, bei Unsicherheit eine höhere Gewichtung zu wählen um die Anwendung sicher wirkender Schutzmassnahmen zu gewährleisten. Rücksprache mit Fachpersonen, Anlagenlieferanten etc. kann helfen, nicht eindeutige Situationen zu klären. Darum gilt folgender Grundsatz:

Ein beliebiger, verschlossener Elektroschrank fällt solange in Risiko-Stufe 3 bis spezifische Abklärungen ergeben, dass davon keine besonderen Risiken ausgehen und entsprechend eine Gewichtung nach Stufe 2 oder 1 erfolgen kann. Eine solch tiefere Einstufung ist zwingend von einer sachverständigen Elektro-Fachkraft vorzunehmen

Die nachfolgende Tabelle ist ergänzt mit Hinweisen zur Erleichterung der Einstufung.

| Risiko-Stufe | Definition | Gewichtung |
|--------------|---|------------|
| 1 | <i>Geschlossene, störlichtbogensichere Anlage</i> z.B. nach IEC 62271-200 für MS-Anlagen oder IEC/TR 61641 für NS Anlagen | 0 |
| 2 | <i>Geschlossene Anlage, Normalbauweise, besondere Risiken ausgeschlossen.</i> Der Ausschluss besonderer Risiken erfolgt durch eine Serie von Abklärungen und Prüfungen, z.B.: <ul style="list-style-type: none"> • Sichtkontrolle: Erwärmungen? Verfärbungen? brenzlicher Geruch? Knistern oder andere ungewohnte Geräusche? • Öffnungen, durch welche Gegenstände ins Innere gelangen können? • Kurzschlussfestigkeit: Typenschild / Prüfprotokoll? Plausibilität? Vorgeschalteter Schutz? Leitungsquerschnitte? • Lose Metallteile? Mechanische Defekte? Lose Schutz- oder andere Leiter? • Ausblasöffnungen von Leistungsschaltern auf Abgangsseite? | 8 |
| 3 | <i>Geschlossene Anlage ohne Sicherheitsüberprüfung (entspricht Basis-Einstufung) oder offene, berührungssichere Anlage, mit genügenden Platzverhältnissen.</i> Berührungssicher sind Anlagen, in denen die Auslösung eines fatalen Kurzschlusses an blanken aktiven Teilen ausgeschlossen ist. | 19 |
| 4 | <i>Geöffnete Anlage, enge Verhältnisse, blanke aktive Teile</i> Anlagen mit engen Platzverhältnissen sind in Stufe 4 zu belassen auch wenn sie berührungssicher sind weil dadurch das Schadenspotenzial von Störlichtbogen verstärkt wird. | 25 |

5.2 Vorgeschalteter Schutz

Technische Schutzmassnahmen gelten als „sicherer“ gegenüber organisatorischen oder persönlichen Massnahmen (TOP-Prinzip). Nur müssen bei Elektroarbeiten oft technische Barrieren (Türen, Abdeckungen etc.) verletzt oder entfernt werden, z.B. zwecks Störungssuche. Damit wird das vorgeschaltete Schutzorgan zur einzig wirksamen technischen Schutzmassnahme um die freisetzbare Störlichtbogenenergie an der Arbeitsstelle zu begrenzen. Entsprechend ist die Zuverlässigkeit der vorgeschalteten Schutzorgane bedeutend und als eigenes Risikokriterium abzuschätzen.

Wichtig: Es ist von jenem Schutzorgan auszugehen, welches *die Energiezufuhr zum ganzen Arbeitsbereich unterbrechen kann*. Oft ist dieses an der Arbeitsstelle nicht ersichtlich sondern befindet sich am Anfang der Zuleitung. Erst wenn ausgeschlossen werden kann, dass z.B. herunter fallende Teile im Einspeisebereich oder an benachbarten Stromkreisen einen Kurzschluss auslösen können (z.B. durch vollständige Isolation aller aktiven Teile) – erst dann können lokale Überstrom-Schutzorgane in Betracht gezogen werden (z.B. bei Arbeiten an Abgangsklemmen).

Nachfolgend die Definition der Risikostufen für den vorgeschalteten Schutz:

| Risiko-Stufe | Definition | Gewichtung |
|--------------|--|------------|
| 1 | Schmelzsicherungen | 5 |
| 2 | Lichtbogendetektion | 7 |
| 3 | El.magn. Auslöser, herstellerekonform gewartet | 10 |
| 4 | Auslöser mit unklarer Charakteristik und Wartung | 17 |

Mit Lichtbogendetektion sind moderne technische Schutzsysteme gemeint, die einen entstehenden Lichtbogen mittels optischer Sensoren sofort erkennen und durch Einleiten eines metallischen Kurzschlusses die Zufuhr weiterer Energie zum Lichtbogen typischerweise innert weniger als 5ms unterbinden.

6. Tätigkeitsbezogene Risikokriterien

Tätigkeitsbezogene Risikokriterien operieren auf der Ebene der Eintretenswahrscheinlichkeit. Das potenzielle Schadensausmass ist weder durch die Art der Tätigkeit noch durch die ergonomische Komponente beeinflussbar.

6.1 Art der Tätigkeit

Hier wird angenommen, dass das Mass an Erschütterungen, welche ein Eingriff an einer Anlage mit sich zieht, weitgehend in Korrelation ist mit der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Störlichtbogens.

| Risiko-Stufe | Definition | Gewichtung |
|--------------|---|------------|
| | (Stufe 1 nicht benutzt) | |
| 2 | „Zweifinger-Arbeiten“ - Leichtes Bewegen von Teilen z.B. Rücksetzen von Leitungsschutz- oder Fehlerstromschutz-Schaltern etc. Diese Stufe beinhaltet auch das Begehen von Anlagen, das Ablesen von Anzeigen, Bedienen von Steuerschaltern etc. | 11 |
| 3 | „Ein-Hand-Arbeiten“ - Eingriffe mit kleinem Kraftaufwand z.B. Bedienen mittelgrosser Schalter, Wechseln von Diazed-Sicherungen etc. | 16 |
| 4 | Eingriffe mit Körpereinsatz / bedeutendem Kraftaufwand z.B. Bedienen grosser Schalter und NHS-Sicherungen, Kabel einführen, Anlagemodifikationen etc. | 24 |

6.2 Ergonomische Komponente

Die ergonomische Komponente berücksichtigt zusätzliche Risiken welche durch den Einsatz von Werkzeug und anderen Gegenständen an der Arbeitsstelle entstehen. Die Basis dafür ist eine entsprechende Forderung EN-SN 50110. Die Übersicht:

| Risiko-Stufe | Definition | Gewichtung |
|--------------|--|------------|
| 1 | Kein Werkzeugeinsatz | 0 |
| 2 | Isoliertes Handwerkzeug etc. Messspitzen fallen in Risikostufe 2, wenn damit kein Kurzschluss ausgelöst werden kann. | 6 |
| 3 | Nicht isolierte Gegenstände und Arbeitsmittel bis 2m | 11 |
| 4 | Arbeitsmittel > 2m (Gerüste, Krane etc.) | 14 |

Instandhaltungsarbeiten im Umfeld elektrischer Anlagen beinhalten oft bedeutenden Einsatz von Werkzeug, bis hin zu Gerüsten, Hebebühnen etc. Hier sind die Anlageverantwortlichen gefordert, die nötigen Vorkehrungen zur Unfallprävention zu treffen. Dies erfolgt einerseits durch Instruktion des exponierten Personals – oft keine Elektro-Fachkräfte – andererseits durch Sperren respektive Freigeben bestimmter Bereiche. Anhaltspunkte dazu finden sich unter 5.1. Bei geschlossenen Anlagen (Risiko-Stufen 1 und 2 für *Bauart / Barrieren*) oder bei sicherem Abstand (Risiko-Stufe 1 für *Abstand*) können daher auf Grund einer Gesamtbeurteilung durch eine sachverständige Elektrofachkraft die tätigkeitsbezogene und die ergonomische Komponente differenziert eingestuft werden.

7. Eingabe-Regeln

Bei der Eingabe der Gewichtungspunkte sind Regeln zu beachten. Dies um die Anzahl möglicher Arbeitssituationen derart einzuschränken, dass in jedem Fall – insbesondere für gefährliche Konstellationen – das nötige Schutzniveau erreicht ist. Im Formular für die Risikoabschätzung sind diese Regeln als Formeln dargestellt und nachstehend erläutert.

Eine erste Regel ist die Sperrung der tiefsten Risikostufe (Stufe 1) für die Art der Tätigkeit. Das geht zurück auf das Kapitel 1.3 über Restrisiken: Im Umfeld elektrischer Anlagen kann auf die Kategorie der Null-Aktivität, des „Nur Schauens“ verzichtet werden.

Die weiteren Regeln lauten:

- **Ziehen von NHS erfordert $g4 + h > 1$:** Wegen der besonderen Risiken beim Ziehen von NHS-Sicherungen ist dies mit Stufe 4 für *Art der Tätigkeit* (grosser Krafteinsatz) und zusätzlich mit einer *ergonomischen Komponente* von mindestens Stufe 2 zu gewichten.
- **$g \leq h$ ist unzulässig, ausser $h4 + g4$:** Für den Einsatz von Werkzeug ist ein gewisser Kraftaufwand nötig. Daher sind alle Fälle ausgeschlossen in denen die *Art der Tätigkeit* (der Krafteinsatz) kleiner oder gleich gewichtet ist wie die *ergonomische Komponente* (ausser beide Maxima).
- **$d3$ und $d4$ erfordern $e4$:** Die Annäherungs- oder Gefahrenzone kann an geschlossenen oder berührungssicheren Anlagen nicht erreicht werden. Daher stehen die Risikostufen 3 und 4 für *Abstand* nur bei geöffneten Anlagen mit blanken, aktiven Teilen zur Verfügung (*Bauart / Barrieren* Stufe 4).
- **$d4$ erfordert $g4 + h > 1$:** Bei Arbeiten in der Gefahrenzone ist für *Art der Tätigkeit* nur Risiko-Stufe 4 in Kombination mit Werkzeugeinsatz – also mit einer *ergonomischen Komponente* Stufe >1 - zugelassen. Dies wird der Praxis gerecht und soll verhindern, dass versucht wird PSA zu vermeiden indem die Art der Tätigkeit heruntergespielt wird wenn an blanken, aktiven Teilen von Anlagen gearbeitet werden muss.
- **$d < 3$ nicht zulässig wenn $(e4 + h > 1)$ oder $(e4 + g > 2)$:** In geöffneten Anlagen mit blanken, aktiven Teilen kann die Risikostufe 2 für *Abstand* (Pufferzone) nur beansprucht werden für Begehungen und dergleichen ohne Werkzeug (Risikostufe 2 für *Art der Tätigkeit* in Kombination mit Risikostufe 1 für die *ergonomische Komponente*). Andere Tätigkeiten sind mit Stufe 3 oder 4 für *Abstand* zu gewichten weil die Annäherungs- oder Gefahrenzone erreicht werden kann.

Weitere Regeln aus verschiedenen vorangehenden Kapiteln hier nochmals pro memoria:

- Abgrenzung Annäherungs- / Gefahrenzone siehe 4.3
- Vorgehen bei der Klassierung von Elektroschränken siehe 5.1

8. Gewichtung und Abgrenzungen

8.1 Gewichtung der einzelnen Risikokriterien

Zur Gewichtung der einzelnen Kriterien und Stufen erfolgt der Zugang über das Verhältnis, in welchem die Gesamtpunktzahlen in den drei Haupt-Gruppen zueinander stehen. Weil jedoch immer nur ein Wert pro Risiko-Kriterium vergeben werden kann, lässt sich aus diesen Daten nur ein grober Trend herauslesen.

| | | |
|-----------|-----|-------------|
| Physik | 50% | 3 Kriterien |
| Technik | 26% | 2 Kriterien |
| Tätigkeit | 24% | 2 Kriterien |

Im Einzelnen sind die Gewichtungen für Kurzschlussstrom und Abschaltzeit aus der *Energiebetrachtung* vorgegeben (siehe 3.1) und bilden die Basis für das ganze Modell.

Die anderen fünf Parameter sind ein Abbild für die *Arbeitssituation*. Deren Gewichtung basiert auf folgenden Prämissen:

| Risiko-Kriterium | Gewichtung | | | | Kommentar |
|--------------------|------------|----|----|----|---|
| | 0 | 12 | 21 | 28 | |
| Abstand | 0 | 12 | 21 | 28 | Gewichtet mit 35% innerhalb der drei physikalischen Risiko-Kriterien Kurzschlussstrom (34%) und Abschaltzeit (31%). Diese Verteilung ist in allen Risiko-Stufen ähnlich. |
| Bauart / Barrieren | 0 | 8 | 19 | 25 | Gewichtet mit 57% innerhalb der beiden technischen Risiko-Kriterien. Grösserer Sprung zwischen geschlossenen Anlagen (Stufen 1 und 2) und geöffneten oder „zweifelhaften“ Anlagen (Stufe 3). |
| Vorgesch. Schutz | 5 | 7 | 10 | 17 | Gewichtet mit 43% innerhalb der beiden technischen Risikokriterien. 5 Punkte in Stufe 1 zur Verflachung der Kurve. Grösserer Sprung zwischen herstellerkonform gewarteten und „zweifelhaften“ Schutzorganen (Stufen 3 / 4). |
| Art der Tätigkeit | - | 11 | 16 | 24 | Gewichtet mit 62% innerhalb der beiden tätigkeitsbezogenen Risiko-Kriterien. Kurve leicht ansteigend bei Tätigkeiten mit viel Körpereinsatz. Stufe 1 nicht benutzt gemäss Angaben in Kapitel 6. |
| Ergon. Komp. | 0 | 6 | 11 | 14 | Gewichtet mit 38% innerhalb der beiden tätigkeitsbezogenen Risiko-Kriterien. Etwas grösserer Sprung zwischen Stufe 2 und 3 wenn mit nicht isolierten Gegenständen hantiert wird. |

8.2 Festlegung und Abgrenzung der Schutzstufen

Aus den fünf Risiko-Kriterien, welche die Arbeitssituation abbilden (siehe 8.1), könnten über 1000 Kombinationen gebildet werden. Die Eingabe-Regeln (Kapitel 7) schliessen davon einen bedeutenden Anteil bereits aus. Zusätzlich können folgende Situationen als unproblematisch von einer weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden:

- Situationen mit Sicherheitsabstand (Stufe 1 für Kriterium *Abstand*)
- Situationen im Umfeld geschlossener, lichtbogensicherer Anlage (Stufe 1 für Kriterium *Bauart / Barrieren*)

Damit ist das Feld eingeschränkt auf 100 plausible Arbeitssituationen mit relevantem Risikopotenzial. Deren addierte Risiko-Gewichtungspunkte liegen in einer Bandbreite zwischen 36 und 108. Innerhalb dieser Bandbreite werden folgende Grenzen für die verschiedenen Stufen von Schutzausrüstung festgelegt.

- „Grüne Linie“, unterhalb derer Schutzausrüstung nur verlangt ist, wenn eine gewisse Menge potenzieller Störlichtbogenenergie dazukommt.
- „Rote Linie“, oberhalb derer die von der wirksamsten PSA-Stufe maximal absorbierbare Störlichtbogenenergie zur Überschreitung der oberen Toleranzgrenze führt (Arbeitsstopp).

Beide Abgrenzungen referenzieren auf eine konkrete Arbeitssituation: Die grüne Linie ist überschritten wenn es um das Ziehen von NHS-Sicherungen in einer offenen Anlage geht, die rote Linie fällt zusammen mit einem grösseren Eingriff in der Gefahrenzone. Nachfolgend die Zusammenfassung:

| <i>Obere und untere Abgrenzung für PSA-Auswahl</i> | | | | |
|--|-------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|
| <i>Parameter</i> | <i>Definition Untergrenze</i> | | <i>Definition Obergrenze</i> | |
| | <i>Stufe</i> | <i>Gewichtung</i> | <i>Stufe</i> | <i>Gewichtung</i> |
| Distanz | 3 | 21 | 4 | 28 |
| Bauart / Barrieren | 4 | 25 | 4 | 25 |
| Schutz | 1 | 5 | 1 | 5 |
| Tätigkeit | 4 | 24 | 4 | 24 |
| Ergonomische Komponente | 2 | 6 | 3 | 11 |
| Berücksichtigte PSA-Schutzwirkung (siehe 2.2) | | - | | 32 |
| Systemgrenzen | | 81 | | 125 |

Auf dieser Basis sind die Abgrenzungen zwischen den einzelnen Schutzstufen gemäss nachfolgender Tabelle festgelegt. Einzelheiten – insbesondere betreffend Minimal-Schutz für Arbeiten im Umfeld elektrischer Anlagen – siehe Kapitel 1.4 über Beschaffung und Anwendung von Schutzausrüstung, sowie Kapitel in 3.2 über physikalische Grenzen von Schutzausrüstung.

| Schutzkleidung (PSA) | Gewichtungspunkte |
|--|-------------------|
| Keine normierte PSA erforderlich, Basisschutz empfohlen. | Unter 81 |
| Schutzkleidung Stufe 1 | 81 – 105 |
| Schutzkleidung Stufe 2 | 106 - 118 |
| Schutzkleidung Stufe 3 | 119 - 125 |
| Anlage ist freizuschalten (Arbeitsstopp) | Ab 126 |

8.3 Reduktionsfaktoren

Um das Risikoabbild genügend differenzieren zu können braucht es Korrekturmöglichkeiten für folgende Faktoren:

- Qualität von Schutzkleidung und auf der Haut getragener Kleidung
- Überdistanz zum Gefahrenherd
- Störlichtbogenenergie im Bereich der unteren Systemgrenze (I_k 1,5kA bei t_A 5ms)

Qualität von Schutzkleidung und auf der Haut getragener Kleidung

Hersteller von Schutzkleidung deklarieren mit der Herstellererklärung die Einhaltung eines bestimmten Schutzpegels (siehe 3.2). Experimente zeigen, dass qualitativ hochstehende PSA diese Pegel teils deutlich übertrifft. Allerdings darf man sich keine Illusionen machen: Selbst Schutzkleidung die einer dreifachen Überlast standhält verändert das Gewichtungäquivalent nur um ungefähr 4 Punkte. Damit in der Risikoanalyse ein Betrag für die Qualität von Kleidung subtrahiert werden kann, ist im Formular eine entsprechende Zeile vorgesehen. Damit kann auch der Basisschutz der Kleidung auf der Haut gewichtet werden. Es sind jedoch genaue Abklärungen durch sachverständige Elektrofachkräfte und gegebenenfalls Tests an der fraglichen Kleidung vorzusehen um die Zulässigkeit von Abzügen zu ermitteln.

Überdistanz zum Gefahrenherd

Übersteigt die Distanz zum Gefahrenherd den in Kap. 4.3 erläuterten Sicherheitsabstand, sinkt das Verletzungs-Risiko durch Störlichtbogen. Dieser Umstand ist z.B. relevant für Tätigkeiten, die von Laien oder instruierten (elektrisch unterwiesenen) Personen in elektrischen Betriebsräumen durchgeführt werden (Reinigung, Maler- oder andere Unterhaltsarbeiten etc.). Liegt die Arbeitsstelle weit genug vom Spannung führenden Teil entfernt, kann ein Reduktionsfaktor berücksichtigt werden. Basis für diese Reduktion ist ein Referenz-Abstand mit vernachlässigbaren Restrisiken, z.B. analog den Bodenabständen von Freileitungen in bewohntem Gebiet. Die Leitungsverordnung (SR 734.31) setzt dazu für die Schweiz im Maximum 7,5m+1cm/kV fest. Der Reduktionsfaktor für dieses Modell berechnet sich demnach wie folgt:

$$R = (SD - A_{\text{eff}}) / (SD - A_{\text{Stufe 1}})$$

R = Reduktionsfaktor

SD = Sicherheitsdistanz (7.5m+1cm/kV resp. gem. SR 734.31)

A_{eff} = Effektiver Abstand der Arbeitsstelle von der elektrischen Gefährdung

$A_{\text{Stufe 1}}$ = Abstand gem. Definition in Kapitel 4.3. für Risikostufe 1 (d.h. Sicherheitsabstand gemäss SN-EN 50110, 6.4.4)

Beispiel: Niederspannungsanlage, Arbeitsstelle in 2.5m Abstand davon.

$$R = (7.51 - 2.5) / (7.51 - 1.8) = 0,88$$

Störlichtbogenenergie im Bereich der unteren Systemgrenze

Ein letzter Punkt betrifft Fälle mit verhältnismässig kleiner, potenzieller Störlichtbogenenergie, wie sie beispielsweise im Bereich privater Wohnungen, in ländlichen Netzen etc. häufig sind. Für diese Fälle an der unteren Systemgrenze dieses Modells (I_k 1,5kA bei t_A 5ms) erscheint eine Annäherung über den I^2t -Wert vertretbar. Dazu sind Kurzschlussstrom und Abschaltzeit gemäss den Angaben unter 4.1 / 4.2 abzuschätzen. Der daraus resultierende I^2t -Wert kann mit nachfolgender Tabelle in ein Gewichtungsäquivalent konvertiert und in Feld c des Formulars eingetragen werden. Wichtig: Schlechtesten Fall berücksichtigen, wenn ein tiefer Kurzschlussstrom die Abschaltzeit markant verlängern könnte!

Wegen der energiebegrenzenden Wirkung von Schmelzsicherungen erscheint es zudem zulässig, die fraglichen Gewichtungspunkte an Nennstromstärken vorgeschalteter Überstromunterbrecher zu knüpfen. Diese stark vereinfachte Art der Risikoabschätzung ist in der Praxis verbreitet und macht bei kleinen Anlagen durchaus Sinn. Wie die Tabelle zeigt besteht der Nachteil darin, dass ziemlich tiefe Sicherungsnennstromstärken gewählt werden müssen um alle Eventualitäten zu berücksichtigen.

| I^2t -Wert | Gewichtung | Begrenzung durch Schmelzsicherung | |
|--------------|------------|-----------------------------------|-------------------|
| | | wenn $t_A < 1s$ | wenn $t_A < 0.1s$ |
| 60'000 | 8 | 50A | 63A |
| 50'000 | 7 | | |
| 40'000 | 6 | 40A | |
| 30'000 | 5 | | |
| 20'000 | 3 | 32A | 50A |
| 10'000 | 0 | 20A | 35A |
| 7'000 | -2 | | 32A |
| 5'000 | -4 | 16A | 25A |
| 3'000 | -6 | 10A | 16A |

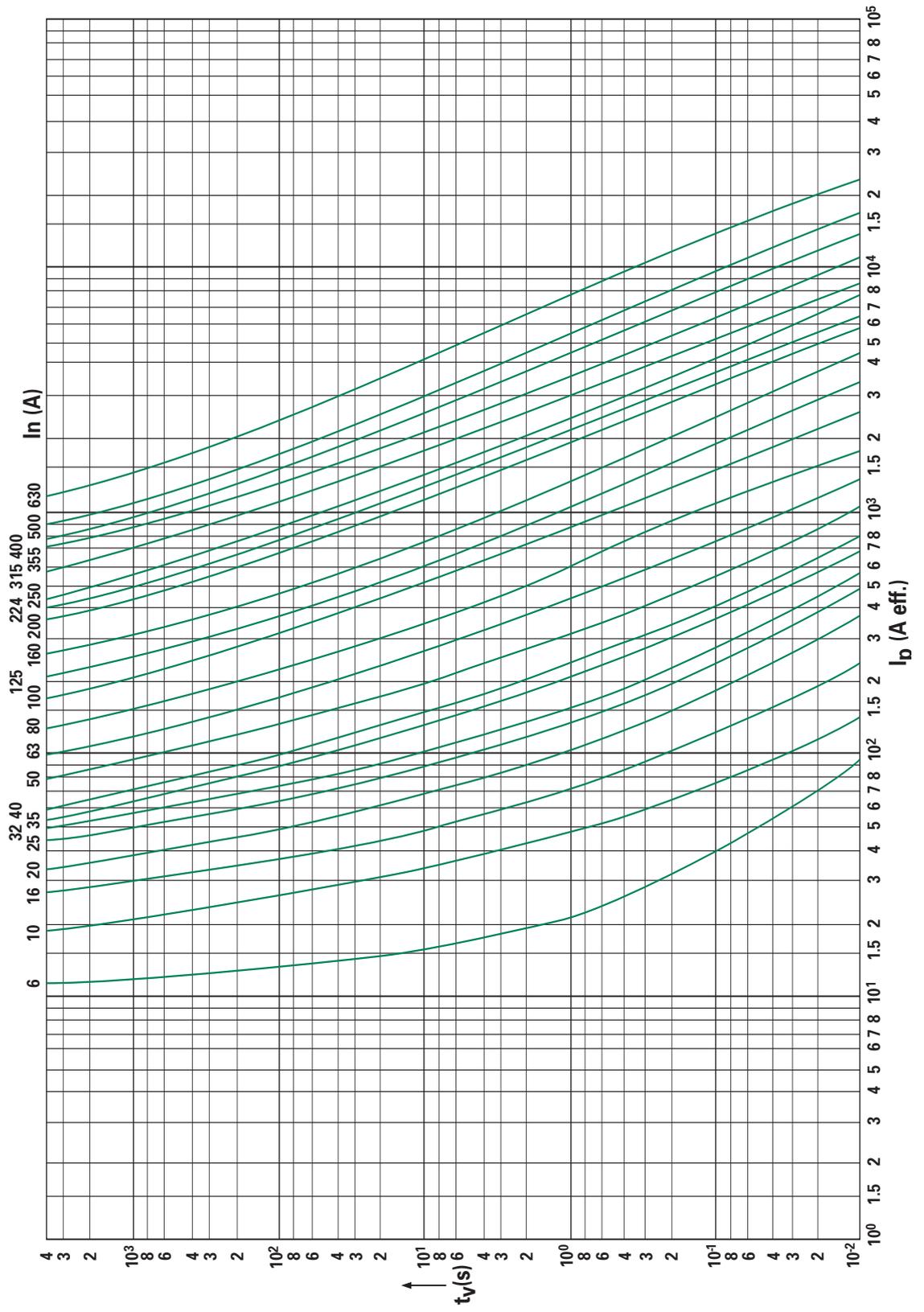
9. Änderungsindex

| Version | Datum | Änderung |
|---------|---------|--|
| 2 | 14.6.13 | Kap. 1.1: Literaturliste ergänzt (BGI 5188, elektronische Arbeitshilfen) Kap. 1.2, 2.1 und 2.2: Herleitung Basisdaten präzisiert. Ganzes Dokument: Sprachliche Detailanpassungen |
| 3 | 31.7.13 | Beispielsammlung angefügt, kleinere sprachliche Korrekturen |

BEILAGEN

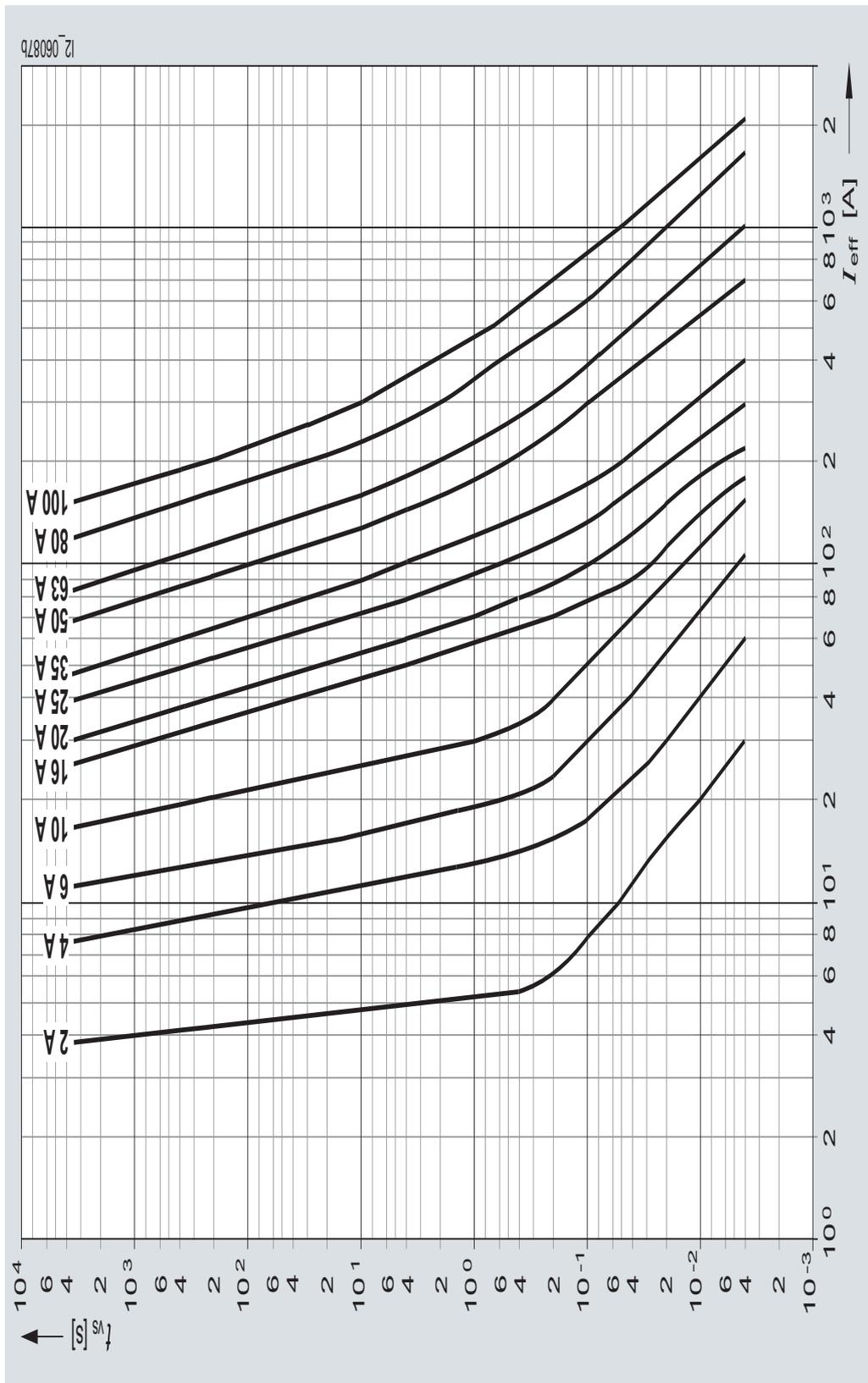
A.1. Auslösekennlinien NHS-Schmelzsicherungen

Mittlere Zeit-/Strom-Kennlinien gG und gL 400 V~



A.2. Auslösekennlinien Diazed-Schmelzsicherungen, flink

Baugröße: DII, DIII, DIV
 Betriebsklasse: flink
 Bemessungsspannung: AC 500 V/DC 500 V
 Bemessungsstrom: 2 ... 100 A
Zeit-/Strom-Kennlinien-Diagramm



Risikoabschätzung und Schutzrüstung bei elektrischen Gefährdungen

A.3. Beispielsammlung, Seite 1

Einzelheiten siehe Leitfaden

Kriterien: 1 = Kurzschlussstrom; 2 = Abschaltzeit; 3 = Abstand; 4 = Bauart/Barrieren; 5 = Schutz; 6 = Tätigkeit; 7 = ergon. Komponente

| Bezeichnung | I _k | t _{A2} | t _{A1} | Gewichtungspunkte nach Kriterium | | | | | | | PSA-Stufe | Red. | Bemerkungen |
|--------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|----|----|----|----|----|-------|-----------|------|--|
| | | | | 1+2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Total | | | |
| Störungssuche hinter 60A NHS | | | | 21 | 21 | 25 | 5 | 16 | 6 | 94 | PSA 1 | | In Hausinstallationen hinter 60A-Sicherungen liegt das grösste Risiko wegen hoher Auslösezeiten bei Kurzschlussströmen ab ca. 300A. Für diese Fälle ergibt sich immer eine PSA-Tragpflicht, sowieso wenn die Gewichtungspunkte dem Formular entnommen werden. Werden die Gewichtungspunkte gemäss Leitfaden 3.1 genau berechnet wird in Einzelfällen die untere Grenze für PSA nicht ganz erreicht. Das unterstreicht die Wichtigkeit eines Minimal-Schutzes gemäss 1.4. |
| do, genau, 3,2kA | 3.20 | 0.01 | 0.02 | 7 | 21 | 25 | 5 | 16 | 6 | 80 | | | |
| do, genau, 0,9kA | 0.90 | 0.09 | 0.90 | 21 | 21 | 25 | 5 | 16 | 6 | 94 | PSA 1 | | |
| Störungssuche hinter 60A LS | | | | 21 | 21 | 25 | 10 | 16 | 6 | 99 | PSA 1 | | |
| do, genau, 1,8kA | 1.80 | 0.01 | 0.01 | 2 | 21 | 25 | 10 | 16 | 6 | 80 | | | |
| do, genau, 0,9kA | 0.90 | 0.01 | 2.00 | 24 | 21 | 25 | 10 | 16 | 6 | 102 | PSA 1 | | |
| AuS, Städtnetz, NHS 630A | | | | 38 | 28 | 25 | 5 | 24 | 6 | 126 | STOPP | | In städtischen Netzen ist das Risiko hoch, die physikalischen Grenzen von PSA zu erreichen oder zu überschreiten. Das ist zu beachten wenn rudimentäre Berechnungen eine Freischaltung nahe legen und genauere Berechnungen dann ergeben, dass die Arbeit trotzdem ausgeführt werden kann. In solchen Fällen sind immer auch technische Massnahmen wie superflinke Arbeitsicherungen oder Störlichtbogendetektion ins Auge zu fassen. |
| do, genau | 21.00 | 0.008 | 0.180 | 33 | 28 | 25 | 5 | 24 | 6 | 121 | PSA 3 | | |
| do, LB-Detektion | 21.00 | 0.005 | 0.005 | 27 | 28 | 25 | 7 | 24 | 6 | 117 | PSA 2 | | |
| Schalten Kraftwerk, 50kV | | | | 38 | 12 | 19 | 10 | 24 | 11 | 114 | PSA 2 | | |
| do, genau | 20.00 | 0.100 | 0.500 | 37 | 12 | 19 | 10 | 24 | 11 | 113 | PSA 2 | | |
| do, 10kV | 25.00 | 0.100 | 0.500 | 39 | 12 | 19 | 10 | 24 | 11 | 115 | PSA 2 | | |
| Rundgang Freiluft-Anlage | | | | 53 | 0 | 19 | 10 | 11 | 0 | 93 | -14 | | Klar ein Grenzfall für dieses Modell, die potenzielle Energiemenge dürfte die Grenzwerte in den meisten Fällen überschreiten. Risiko stark distanzabhängig, was bei der PSA-Tragpflicht berücksichtigt werden kann. Nichtelektrische Gefahren wie herumfliegende Teile sind mit zu berücksichtigen. |
| LS auf Smissiline aufschneiden | | | | 29 | 12 | 19 | 5 | 24 | 6 | 95 | PSA 1 | | |
| do, genau | 5.50 | 0.008 | 0.150 | 19 | 12 | 19 | 5 | 24 | 6 | 85 | PSA 1 | | |
| Messung alte HV, LS, 630A | | | | 46 | 21 | 25 | 17 | 16 | 6 | 131 | STOPP | | Messungen im Einspeisbereich leistungsstarker Anlagen gehören hinterfragt, auch wenn man gute PSA hat, die dem Risiko gewachsen sein sollte. |
| do, genau | 16.00 | 0.070 | 0.900 | 37 | 21 | 25 | 17 | 16 | 11 | 127 | PSA 3 | -2 | |
| N-Trenner, Abg.feld <250A | | | | 21 | 12 | 25 | 5 | 24 | 11 | 98 | PSA 1 | | Betrifft Arbeiten im Kabelfeld einer MNS-Anlage; Risiko dürfte tendenziell unterschätzt werden, insbesondere die "Risikoverstärkung" durch enge Platzverhältnisse (Box-Effekt, Ausweichen erschwert etc.) |
| do, genau | 8.00 | 0.004 | 0.060 | 19 | 12 | 25 | 5 | 24 | 11 | 96 | PSA 1 | | |
| N-Trenner Einspeisfeld | | | | 46 | 12 | 25 | 5 | 24 | 11 | 123 | PSA 3 | | |
| do, genau | 12.00 | 0.200 | 3.000 | 39 | 12 | 25 | 5 | 24 | 11 | 116 | PSA 2 | | |

Risikoabschätzung und Schutzzausrüstung bei elektrischen Gefährdungen

A.3. Beispielsammlung, Seite 2

Einzelheiten siehe Leitfaden

Kriterien: 1 = Kurzschlussstrom; 2 = Abschaltzeit; 3 = Abstand; 4 = Bauart/Barrieren; 5 = Schutz; 6 = Tätigkeit; 7 = ergonom. Komponente

| Bezeichnung | I _k | t _{A2} | t _{A1} | Gewichtungspunkte nach Kriterium | | | | | | | PSA-Stufe | Red. | Bemerkungen |
|---|----------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|----|----|----|----|----|-------|-----------|------|---|
| | | | | 1+2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Total | | | |
| HAK wechseln, NHS 630A | 12.00 | 0.200 | 3.000 | 39 | 28 | 25 | 5 | 24 | 11 | 132 | STOPP | | Ein weiterer Grenzfall aus dem Netzbereich |
| HAK wechseln, NHS 400A | 12.00 | 0.020 | 0.300 | 30 | 28 | 25 | 5 | 24 | 11 | 123 | PSA 3 | | |
| NS-HV, Fremd-EW | | | | 46 | 12 | 19 | 10 | 24 | 11 | 122 | PSA 3 | | |
| Kabelanschl, IP2X-Element, 400kVA-Trafo | | | | 38 | 12 | 19 | 5 | 24 | 11 | 109 | PSA 2 | | |
| TS 630kVA, NH-Abgang bedienen, fingersich | | | | 38 | 12 | 8 | 5 | 24 | 6 | 93 | PSA 1 | | NHS in diesem Beispiel übereinander abgeordnet; Bei nebeneinander |
| TS 630kVA, NHS-Abgang, blank | | | | 38 | 21 | 25 | 5 | 24 | 6 | 119 | PSA 3 | | angeordneten NHS ist das Risiko eines Kurzschlusses auf der Speiseseite mit zu berücksichtigen. |
| TS 16/0.4kV, prüfen auf Spannungsfrei. | | | | 44 | 21 | 25 | 5 | 16 | 6 | 117 | PSA 2 | | |
| TS, Abgang 16kV schalten | | | | 44 | 12 | 8 | 10 | 24 | 0 | 98 | PSA 1 | | |
| ISSA, S.65 (HAK), Worst Case | | | | 21 | 28 | 25 | 5 | 24 | 11 | 114 | PSA 2 | | Bei den Beispielen aus der ISSA-Leitlinie ergeben sich im Grundsatz die gleichen |
| ISSA, S.65 (HAK), Messung | | | | 21 | 21 | 25 | 5 | 16 | 6 | 94 | PSA 1 | | PSA-Vorgaben wenn die Gewichtungspunkte gemäss Leitfaden 3.1 genau |
| ISSA 1, Worst Case, genau | 4.00 | 0.001 | 0.010 | 9 | 28 | 25 | 5 | 24 | 11 | 102 | PSA 1 | | berechnet werden. Mit der vereinfachten Methode - Gewichtungspunkte direkt |
| ISSA 1, Messung, genau | 4.00 | 0.001 | 0.010 | 9 | 21 | 25 | 5 | 16 | 6 | 82 | PSA 1 | | dem Formular entnommen und addiert - werden für gewisse Tätigkeiten höhere |
| ISSA, S.62, TS 400kVA, W.C. | | | | 38 | 28 | 25 | 5 | 24 | 11 | 118 | STOPP | | Schutzpegel gefordert als gemäss ISA-Methode, was Sinn macht. |
| do, genau | 12.70 | 0.005 | 0.072 | 25 | 28 | 25 | 5 | 24 | 11 | 131 | PSA 2 | | |
| ISSA, S.62, Sich. Wechsel | | | | 38 | 21 | 25 | 5 | 24 | 6 | 119 | PSA 3 | | |
| do, genau | 12.70 | 0.005 | 0.072 | 25 | 21 | 25 | 5 | 24 | 6 | 106 | PSA 2 | | |
| Instandhalter, 160A LS | | | | 30 | 12 | 19 | 10 | 16 | 6 | 93 | PSA 1 | | Bei Instandhaltungstätigkeiten (Reset, etc.) an berührungssicheren Anlagen ist in |
| do, genau | 3.10 | 0.050 | 0.600 | 19 | 12 | 19 | 10 | 16 | 6 | 82 | PSA 1 | | vielen Fällen PSA nicht gefordert obwohl gerade bei leistungsstarken Anlagen ein |
| Instandhalter, MS Reset | | | | 30 | 12 | 19 | 10 | 11 | 0 | 82 | PSA 1 | | Restrisiko nicht wegdiskutiert werden kann. |
| do, genau | 7.00 | 0.050 | 0.600 | 27 | 12 | 19 | 10 | 11 | 0 | 79 | | | |

Risikoabschätzung an Arbeitsstellen mit elektrischen Gefährdungen

Wichtig: Leitfaden und technischen Anhang beachten! Im Zweifelsfall höhere / höchste Risikostufe wählen oder Spezialisten beiziehen!

Arbeitsstelle:

| Risikokriterium (Leitfrage) | Risikoabstufung | | | | Abgrenzung der Risikostufen |
|--------------------------------|---|----|----|----|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Kurzschluss-Strom ? | 0 | 12 | 20 | 27 | Stufe 1: Bis 1,5kA Stufe 2: 1,5 bis 5kA; Stufe 3: 5-12,5kA Stufe 4: 12,5 bis 25kA (Limite!) |
| | Excel-Eingabe Kurzschlussstrom in kA | | | | bei 100% $I_{k\text{prosp.}}$ bei 50% $I_{k\text{prosp.}}$ |
| | | | | | |
| Abschaltzeit ? | 0 | 9 | 18 | 26 | Stufe 1: Bis 5ms Stufe 2: 5 bis 50ms; Stufe 3: 50 bis 500ms Stufe 4: 0,5 bis 3s (Limite!) |
| | Excel-Eingabe Auslösezeit bei 100% Kurzschlussstrom, in s | | | | t_A bei 100% $I_{k\text{prosp.}}$ t_A bei 50% $I_{k\text{prosp.}}$ |
| | Excel-Eingabe Auslösezeit bei 50% Kurzschlussstrom, in s | | | | |

Bereich zum Ausfüllen

a1

a2

b1

b2

c

d

e

f

g

h

Total

Zwischenresultat: Grösserer Wert von a1+b1 oder a2+b2 (Summe)

Arbeitssituation: Unten stehende Eingabe-Regeln beachten

| | | | | | |
|-----------------------------|---|----|----|----|--|
| Abstand ? | 0 | 12 | 21 | 28 | Stufe 1: Sicherer Abstand / Abschränkung zu Annäherungszone Stufe 2: Pufferzone wenn Abstand / Abschränkung nicht sicher Stufe 3: In Annäherungszone (EN 50110) Stufe 3: In Gefahrenzone (EN 50110) / Am Spannung führenden Teil |
| | | | ★ | ★★ | |
| Barrieren und Bauart ? | 0 | 8 | 19 | 25 | Stufe 1: Geschlossene, lichtbogenfeste Anlage Stufe 2: Geschl. Anlage, Normalbauweise, besondere Risiken ausgeschlossen Stufe 3: Geschlossene Anlage ohne Sicherheitsüberprüfung oder geöffnete berührungssichere Anlage, mit genügenden Platzverh. Stufe 4: Geöffnete Anlage, enge Verhältnisse, blanke aktive Teile |
| | | | ★ | ★★ | |
| Vorgeschalte Schutzorgane ? | 5 | 7 | 10 | 17 | Stufe 1: Schmelzsicherungen Stufe 2: Lichtbogendetektion Stufe 3: El.magn. Auslöser, herstellerkonform gewartet Stufe 4: Auslöser mit unklarer Charakteristik und Wartung |
| | | | | | |
| Art der Tätigkeit ? | | 11 | 16 | 24 | Stufe 2: "Zweifinger-Arbeiten" - Leichtes Bewegen von Teilen Stufe 3: "Einhand-Arbeiten" - Eingriff mit kleinem Kraftaufwand Stufe 4: Eingriff mit Körpereinsatz / bedeutendem Kraftaufwand |
| | | | | | |
| Ergonomische Komponente ? | 0 | 6 | 11 | 14 | Stufe 1: Kein Werkzeugeinsatz Stufe 2: Isoliertes Handwerkzeug etc. Stufe 3: Arbeitsmittel bis 2m, unisolierte Teile etc. Stufe 4: Arbeitsmittel > 2m (Gerüste, Krane etc.) |
| | | | | | |

Summe c-h (alle Felder müssen korrekt ausgefüllt sein!)

Option: Abzug wenn Schutzausrüstung die Anforderungen der SN-EN 61482 übertrifft (siehe techn. Anhang, 6.3, höchstens -4 Pkte)

Option: Reduktion Distanz zum Gefahrenherd grösser als Sicherheitsabstand (d1; siehe techn. Anhang, 6.3)

Beurteilung

Arbeit zulässig ?

Ergebnis muss kleiner sein als 126

Störlichtbogen-PSA anzuwenden?

Nein

Ja

Wenn Ja: Welche Stufe ?

Durchströmungs-PSA anzuwenden?

Berücksichtigen falls Felder mit ★- Symbol benutzt sind

Ja / Nein?

PSA-Stufe

Ja / Nein?

PSA-Stufen: Bis 80 = Minimal-Schutz gem. 1.4 81-105 = Stufe 1 106-118 = Stufe 2 119-125 = Stufe 3

Eingabe-Regeln:

- 1) Ziehen von NHS erfordert g4 + h>1
- 2) g <= h ist unzulässig, ausser h4 + g4
- 3) d3 und d4 erfordern je e4
- 4) d4 erfordert g4 + h>1
- 5) d<3 nicht zulässig wenn (e4 + h>1) oder (e4 + g>2)

Datum, Unterschrift (Arbeitsverantwortliche)