

# KSM – PSA, wie ist nach 30 Jahren Betriebszeit der Zustand der „gelben ISA 2000 Lichtbogen-Schutzkleidung“ zu bewerten

Dipl.-Ing. Jürgen Vogler, IngenieurBüro Vogler (IBV Berlin)

Störlichtbögen in Anwesenheit von Personen an **geöffneten**, unter Spannung stehenden elektrischen Anlagen stellen eine erhebliche Personengefährdung im Bereich der gewerblichen Tätigkeiten dar. Unabhängig vom Spektrum der aus kommerzieller Sicht geplanten Tätigkeiten als „Arbeit in der Nähe von Spannung führender Teile (AiN)“ oder „Arbeiten unter Spannung (AuS)“ ist statistisch gesehen der Mensch trotz aller Regelungen und Belehrungen durch Handlungen die häufigste Unfallursache. Betrachtet man die Statistik der Berufsgenossenschaft Elektrotechnik, Textil und Energie (BG ETE), so ist zu erkennen, dass in diesem Bereich jeden 2. Arbeitstag ein meldepflichtiger Lichtbogenunfall auftritt.

Umgerechnet auf die Gesamtindustrie muss mit 1 bis 2 Lichtbogenunfällen täglich in der Bundesrepublik gerechnet werden. Leider stehen detaillierte statistische Unterlagen über Unfallzahlen, Entstehungsursachen, Einwirkzeiten und Kurzschlussströmen der aufgetretenen Lichtbogenstörungen nicht zur Verfügung.

In den „Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS), TRBS 2131 Elektrische Gefährdungen (GMBI. Nr. 49-51 vom 12.11.07, Seite 973 ff.)[1] wird in den Vorbemerkungen und Anwendungsbereich gesagt:

*Diese Technische Regel für Betriebssicherheit (TRBS) gibt dem Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene entsprechende Regeln und sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für die Bereitstellung und Benutzung von Arbeitsmitteln sowie für den Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen wieder.*

## *1. Anwendungsbereich*

*Diese Technische Regel gilt für die Ermittlung und Bewertung von elektrischen Gefährdungen durch*

- elektrischen Schlag,*
- **Störlichtbogen,***
- elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder und*
- statische Elektrizität.*

Bei der Spannungs- und EMV- Gefährdung sind Parameter für Annäherung und Feldstärken festgeschrieben. Für den Störlichtbogen liegen zurzeit keine definierten Kriterien für die Gefährdung vor.

Im Kontext zu der TRBS 2131 steht das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) §5 [2], nach dem der Arbeitgeber durch eine Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdung zu ermitteln und die Maßnahmen des Arbeitsschutzes festzulegen hat. Für den Bereich „Arbeiten unter Spannung“ (AuS) und „Arbeiten in der Nähe (AiN) von unter Spannung stehender Teile“ werden im Allgemeinen zur Abwendung von Restgefahren persönliche Schutzausrüstungen (PSA) vorgeschrieben. In der Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit (PSA-Benutzerverordnung - PSA-BV) [3] wird im §2 Abs. 3 darauf verwiesen, dass bei der gleichzeitigen Benutzung von mehreren PSA die Schutzausrüstung so aufeinander abgestimmt werden muss, dass die Schutzwirkung der einzelnen Ausrüstungen nicht beeinträchtigt wird. Die ganzheitliche PSA-Ausrüstung der oben genannten Tätigkeiten besteht in der Regel aus einem flammen hemmenden Arbeitsanzug und Arbeitsschutzhandschuhen sowie einem Arbeitsschutzhelm mit einer Gesichtsschutzschale. Diese Elemente dürfen sich bei einer Störlichtbogenbeanspruchung nicht gegenseitig beeinflussen oder sogar zerstören. Aus diesem Grund ist es notwendig, diese Gesamtausrüstung einer ganzheitlichen direkten Prüfung unter der Beanspruchung eines Störlichtbogens zu unterziehen.

Um die Gefährdung durch den Störlichtbogen für den Anwender greifbar zu machen muss er über den Stand der Technik, der Arbeitsmedizin und den sonstigen Arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen umfassend informiert sein und auch die Grenzen der Schutzmöglichkeiten kennen. Das ist leider in Deutschland zurzeit nicht gewährleistet. Ursache ist das Vorhandensein von seit vielen Jahren unterschiedlich praktizierter dreipoliger Prüfverfahren [4;5] und die Normenentwicklung (VDE 0682-306-1-1 (Entwurf) [6] und der VDE 0682-306-1-2 [7] sowie der VDE 0682-302-2 (Entwurf) [8], und der Zusatzanforderungen für die Prüfung und Zertifizierung von Elektriker-Gesichtsschutz Stand 2008-07 GS Et 29 [9]), die auf einen einpoligen Lichtbogen basiert und die Bedingungen eines realen Störlichtlichtbogens in Drehstromanlagen und die notwendige ganzheitliche Prüfung nicht berücksichtigt. Somit kann der in der TRBS 2131 zugesicherte Stand der Technik zurzeit nicht durch die Anwendung der geltende Norm und Normentwürfe umfassend gewährleistet werden.

Die Norm VDE 0682-306-1-2 legt zwei Schutzklassen fest, die jeweils auf der Basis eines einpoligen Stromwertes und einer Einwirkzeit von 500 ms eine Einwirkenergie mit Kupfer-Kalorimeter mit einer Messzeitkonstante von 1,6 s misst, und mit diesem Wert den Wärmestrom über einen Zeitbereich >4s durch das verwendete Material der PSA Teile ermittelt und in einem zweiten Prüfvorgang das Brandverhalten der PSA Teile einzeln bewertet (indirekte Prüfung).

Ziel der Norm ist ausschließlich die Nachbildung der physiologischen Wirksamkeit der Einwirkenergie des Störlichtbogens auf die Haut bei der Anwendung der PSA.

Für den Betreiber einer Elektroanlage, der im Rahmen einer Gefährdungsanalyse eventuell eine PSA für einen bestimmten Umfang von Tätigkeiten vorschreiben muss, besteht das Problem einen realen Bezug von der Lichtbogenenergie und der Einwirkenergie der Schutzklassen auf die

Kenndaten seiner Anlage herzustellen. Ein Leitfaden mit Algorithmen muss für die Betreiber noch entwickelt werden. Das Verfahren soll die zu erwartende Lichtbogenenergie auf der Grundlage der Nennspannung des Netzes, des Kurzschlussstroms und der Abschaltzeit ermitteln. Für genauere Berechnungen soll dabei die Berücksichtigung der Anlagengeometrie (Elektrodenabstand - Luftstrecke zwischen den Leitern) möglich sein.

Betrachtet man die Vorgabeparameter der VDE 0682-306-1-2 und setzt die Parameter der Klasse 1 und 2 ins Verhältnis, ist die Schwierigkeit einer Berechnung deutlich zu erkennen, denn das Verhältnis der Steigerung der Lichtbogenenergie zur Einwirkenergie bei gleichen Elektrodenabstand und Prüfspannung ist vordergründig nicht ableitbar. Auffällig und nach den allgemeinen Grundlagen auch richtig, ist, dass die gemessene Einwirkenergie im Prinzip mit dem Quadrat der Stromerhöhung steigt.

	Prüfstrom	Lichtbogenenergie	Einwirkenergie
Klasse 1	4 kA	158 ± 34 kJ	135 ± 56 kJ/m <sup>2</sup>
Klasse 2	7 kA	318 ± 44 kJ	423 ± 78 kJ/m <sup>2</sup>
Klasse 2 / Klasse 1	1,75	2,01	3,13

Genau dieses Prinzip liegt dem seit 1979 praktizierten IPH-Prüfverfahren für die Schutzkleidung der Niederspannungsschaltanlage ISA 2000 zugrunde. Die Niederspannungsschaltanlage ISA 2000, eine Standardschaltanlage die in den neuen Bundesländern noch in vielen Betrieben mit Um- und Nachrüstungen sowie Ertüchtigung zu einer den VDE-Vorschriften angepassten Schaltanlage ihren Dienste leistet und eine eigene Berufsgenossenschaftliche Information für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BGI 755) [10] erhalten hat, steht durch gehäufte Nachfragen zur weiteren Eignung der spezielle Körperschutzmittel der ISA 2000 (KSM) zur Diskussion. In der Montage-, Bedienungs- und Wartungsvorschrift der ISA 2000 und dem damit verbundenem GAB-Nachweis (Gesundheit,- Arbeits- und Brandschutznachweis) [11] war für bestimmte Handlungen an **geöffnete, unter Spannung** stehender Schaltfelder die Anwendung von Körperschutzmittel zur Abwendung der Gefahren eines möglichen Störlichtbogens verbindlich vorgeschrieben. Bei der Entwicklung der KSM für die ISA 2000 sind vergleichende Lichtbogenversuche auch an Hausanschlusskästen, Kabelmuffen und Freileitungen durchgeführt worden, die zu gleichen Ergebnissen wie bei einer geöffneten Schaltanlage führten. Grundsätzlich können daher die Bedingungen der geöffneten unter Spannung stehende ISA 2000 Schaltanlage mit jeder anderen geöffneten Niederspannungs-Schaltanlage gleichgestellt werden, da die häufigste Störlichtbogenursache nicht die Technik ist, sondern durch eine Handlung der anwesenden Person entsteht. Ferner sind auch die Luftstrecken, sie bestimmen neben dem Kurzschlussstrom die Höhe der Lichtbogenspannung, zwischen den Profilen in den Niederspannungsanlagen aller Bauarten und Geräten nur geringfügig unterschiedlich. Die

Auswertung von 100 Störlichtbogenprüfungen an realen Schaltanlagen (Schaltgeräte-kombinationen, Kabelverteiler und Installationsverteiler) bei einer Prüfspannung von 400 V und Prüfströmen im Bereich von 10 bis 80 kA zeigt, dass die Lichtbogenenergie im wesentlichen von dem Prüfstrom bestimmt wird. Die Lichtbogenspannung weicht bei gleichem prospektivem Prüfstrom bei den unterschiedlichen Prüfobjekten um ca.  $\pm 7\%$  vom Mittelwert ab.

Die ganzheitlichen Körperschutzmittel (Arbeitsschutzanzug, Helm mit Visier und Handschuhe) waren in drei Kategorien, in Abhängigkeit von dem in der konkreten Anlage vorhandenen Kurzschlussstrom  $I_k^{II}$  und der Gesamtausschaltzeit  $t_{ag}$ , eingeteilt. Kategorie 0 ist ein normaler Baumwollarbeitsanzug (Blaumann) ohne einen Anteil von Synthetikfasern. Kategorie 1 ist ein Schweißerschutzanzug aus zwei Lagen flammen hemmend bearbeiteter Baumwolle mit einem Flächengewicht  $>250\text{g/m}^2$ . Kategorie 2 ein isolierender Spezialanzug für „Arbeiten unter Spannung“ aus einem Baumwollgewebe das mit einer Polyurethanmasse beschichtet ist (gelber AuS-Anzug). Grundlage dieser Einteilung waren umfangreiche Lichtbogenversuche (ca. 480 Lichtbogenversuche im Institut „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik“ Berlin, IPH) die von einer Arbeitsgruppe „Körperschutzmittel“ der Industrie, Hersteller und wissenschaftlichen Instituten mit der dafür von der Arbeitsgruppe entwickelten dreipoligen Prüfanordnung (Bild 1) in Vorbereitung einer eigenständigen Norm (TGL) für die Eignung beurteilt wurden. Als Ergebnis lag ein Kennlinienfeld (Bild 2) für den verantwortlichen Betreiber der Schaltanlage vor, aus der er ohne zusätzlichen Aufwand ermitteln konnte, welche Ausrüstung für seine konkrete Anlage notwendig war. Beurteilungskriterium waren Entzündungsverhalten, Materialbrüche, Nachbrennzeit sowie die Unversehrtheit der verwendeten weißen Baumwollunterkleidung. Im Vordergrund der Beurteilung stand vorerst der Schutz der Person vor primären und sekundären Verbrennungen. Strahlungs- und Wärmeflussmessverfahren wurden untersucht, aber wegen fehlender geeigneter Kurzzeitmesstechnik im Lichtbogenbereich für Strahlung und Temperatur und mangelnder medizinischer Bewertungsmöglichkeiten für diese intensive Kurzzeitbeanspruchung der Haut nicht weiter verfolgt.

Mit der Gültigkeit der VDE 0682-306-1-2 [4] vom Dezember 2007 und als IEC 61482-1-2:2007 in Verbindung mit dem Arbeitsschutzgesetz und den EG – Vorschriften änderte sich die rechtliche Situation. Die EU-Richtlinie 89/686/EWG – Persönliche Schutzausrüstungen – in Deutschland durch die 8. Verordnung des Gerätesicherheitsgesetz (8.GSGV) umgesetzt, schreibt verbindlich vor, dass Persönliche Schutzausrüstungen nur auf Grundlage eines Zertifikates nach gültigen Vorschriften, in Verkehr gebracht werden dürfen. Das bedeutet formal eine Prüfung mit maximal  $318 \pm 44$  kJ für die Klasse 2.

Die ISA 2000 Schaltanlagen sind für einen Bemessungskurzschlussstrom von 25 kA ausgelegt und werden im überwiegenden Teil auch heute noch mit Kurzschlussströmen im zwischen 15 und 25 kA und einer Gesamtausschaltzeit  $>300$  ms betrieben (Lichtbogenenergie  $>1500$  kJ). Für diesen Kurzschlussstrombereich (Kategorie 2 der Kennlinie) ist für jede Anlage eine vollständige KSM – Ausrüstung, bestehend aus einem Arbeitsschutzanzug für „Arbeiten unter Spannung“

(gelber ISA Anzug) einem Arbeitsschutzhelm mit Gesichtsschutzschirm und Schutzhandschuhe bei der Inbetriebnahme mit geliefert worden. Da diese Schutzanzüge nun ca. 30 Jahre im Betrieb sind, ist beobachtet worden, dass ein Teil der Anzüge in Abhängigkeit von der Lagerung durch die Ausdunstung des in der Polyurethanmasse vorhandenen Weichmachers versteift ist. Auf Wunsch mehrerer Betreiber wurden solche Anzüge bei der Veranstaltung „Lichtbogen live“ im IPH Berlin mit einer Lichtbogenbeanspruchung von 10 kA, 725 V, für 1s, das entspricht einer Lichtbogenenergie von 5580 kJ, an der 3poligen IPH – Prüfanordnung getestet (Bild 5). Die alte Jacke hat die Prüfung nicht bestanden, es gab zwar keinen Materialdurchbruch und keine direkte Entzündung. Nur durch die Steifheit des Materials konnte sich das Fliesmaterial (im Bild 5 roter Pfeil), das unterhalb des Vorderteils zur Aufrechterhaltung der Lüftung des Anzuges eingesetzt wurde, entzünden und einen Sekundärbrand erzeugen. Diese Beobachtung wurde bei keinem Test mit neuen Jacken beobachtet. Die Ursache ist eindeutig die Steifheit des Materials. Beim Auftreffen der Lichtbogenflamme kann sich das Material durch die Steifheit nicht anlegen, so dass die Lichtbogenflamme das Fliesmaterial entzünden kann.

Aus den vorliegenden Ergebnissen ist abzuleiten, dass ISA 2000 Anzüge, die über keine Elastizität verfügen, nicht mehr verwendet werden sollten. Schwierig ist eine adäquate Ersatzbeschaffung. Ursache sind die sehr unterschiedlichen Prüfverfahren. Die ISA 2000 KSM Ausrüstung ist einer ganzheitlichen Prüfung (direkte Prüfung) unterzogen worden. Das bedeutet zum Beispiel, dass die Ausrüstung der Kategorie 2 (AuS-Anzug, Helm mit Schale und Handschuhe) jeweils vollständig in der Position A, B und C (Bild 1) für mehrere definierte Strom-Zeit-Werte geprüft wurden, um eine Kennlinie zu erhalten. Dabei ist zu beachten, dass diese Prüfung sowohl im Neuzustand und nach 25 Industrewäschen der Kleidung durchgeführt werden muss. Die ganzheitliche Prüfung ist notwendig für den Nachweis nach PSA-Benutzerverordnung - PSA-BV [8], §2 Abs. 3 -, dass durch die pyroplastischen Vorgänge während der Lichtbogenbeanspruchung sich die Ausrüstungsteile nicht gegenseitig beeinflussen.

Für den Betreiber, der eine PSA-Ausrüstung für eine Anlage mit einer Lichtbogenleistung  $> 318 \pm 44$  kJ braucht ist es daher nötig, den von vielen Unternehmen praktizierten Weg einer Doppelprüfung zu gehen. Die Bekleidungsindustrie und der Fachhandel bieten ein umfangreiches Sortiment von Anzügen, Handschuhen und Helmen mit Gesichtsschutzschirmen an, die sowohl die Prüfung nach VDE 0682-306-1-2 Klasse 2 und eine dreipolige Prüfung mit  $=10$  kA und einer Einwirkzeit von 1s (1400 bis 5800 kJ) mit der Eurotest- oder IPH-Prüfanordnung bestanden haben [12]. Aus diesem Sortiment ist eine Ausrüstung zusammen zu stellen und einer ganzheitlichen Prüfung in den Positionen A, B und C mit den vom Betreiber für seine Anlage notwendigen Grenzwerten zu prüfen. Mit dem Prüfergebnis erfüllt der Betreiber die gesetzlichen Forderungen zum Nachweis der Eignung der PSA durch ein bewährtes Prüfverfahren, da eine gültige Norm für diesen Bereich nicht vorhanden ist. Grundsätzlich muss aber in diesem Zusammenhang darauf verwiesen werden, dass eine physikalische Grenze für den Schutz mit PSA gegenüber den direkten Störlichtbogeneinwirkungen vorhanden ist. Neben den thermischen

Gefahren sind es überwiegend die Druckbeanspruchungen und Schallemission, die von dem frei brennenden Lichtbogen ausgehen und partielle Werte von 200 bis 500 kPa und >130 dB erreichen können. In der BGI 755 ist eine Strom-Zeitkennlinie enthalten (Bild XX), die als Richtwert für einen allgemeingültigen Lösungsansatz verwendet werden sollte.

Die etwas unbefriedigende Situation durch das Vorhandensein unterschiedlicher Prüfverfahren wird sich in der Zukunft verbessern, da über die Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN) das Problem aufgegriffen wurde um eine Vereinheitlichung der Prüfverfahren mit einer Verbesserung der messtechnischen Erfassung und Bewertung der Gesamtbeanspruchung der Personen im Falle eines Störlichtbogens zu erhalten.

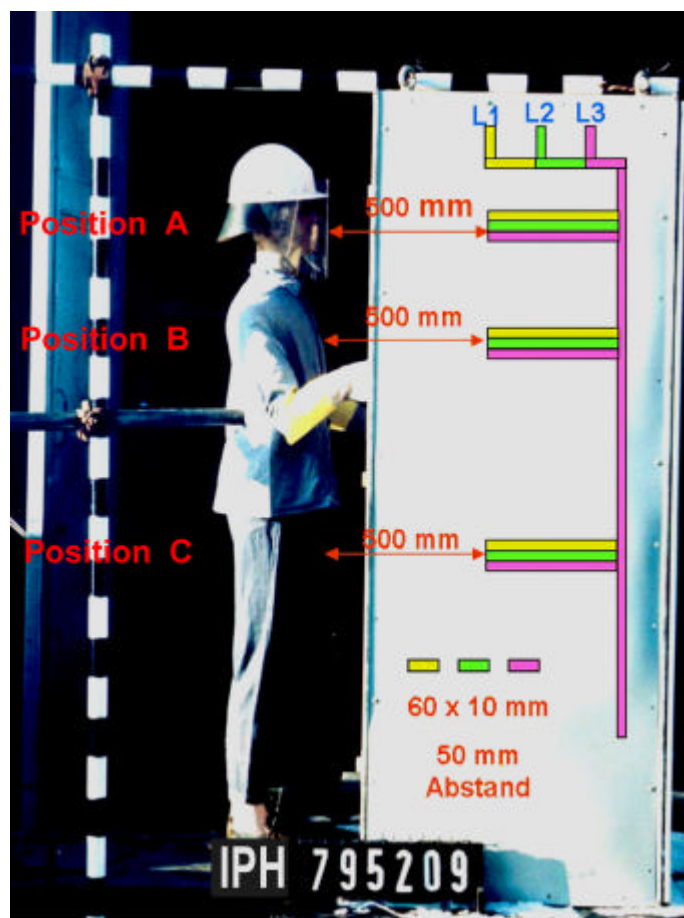


Bild 1: dreipolige IPH Prüfanordnung

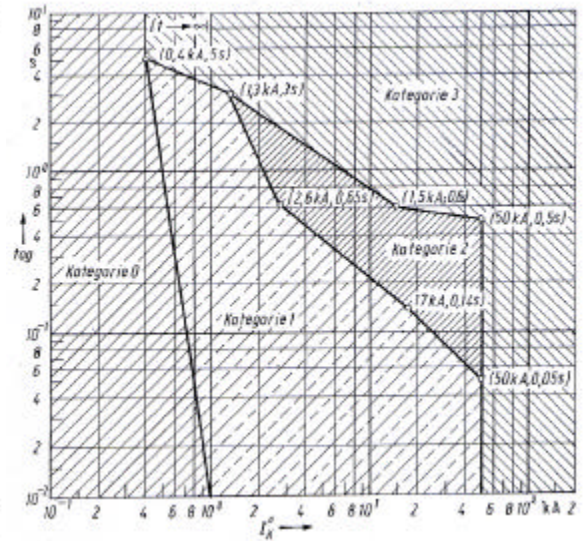
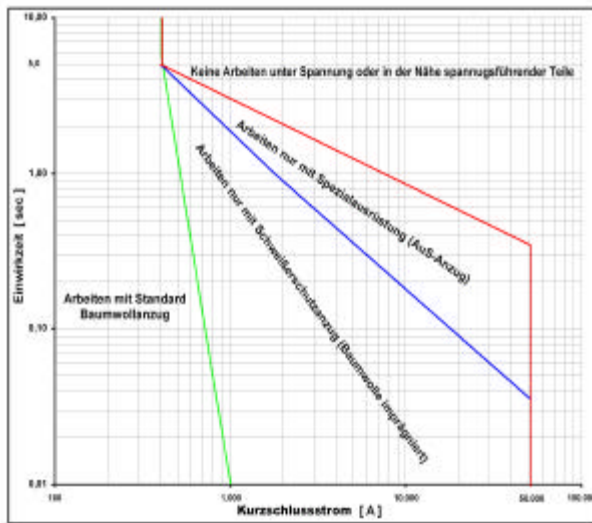


Bild 2: KSM - Kennlinie ISA 2000, bearbeitet – original

### BGI 755

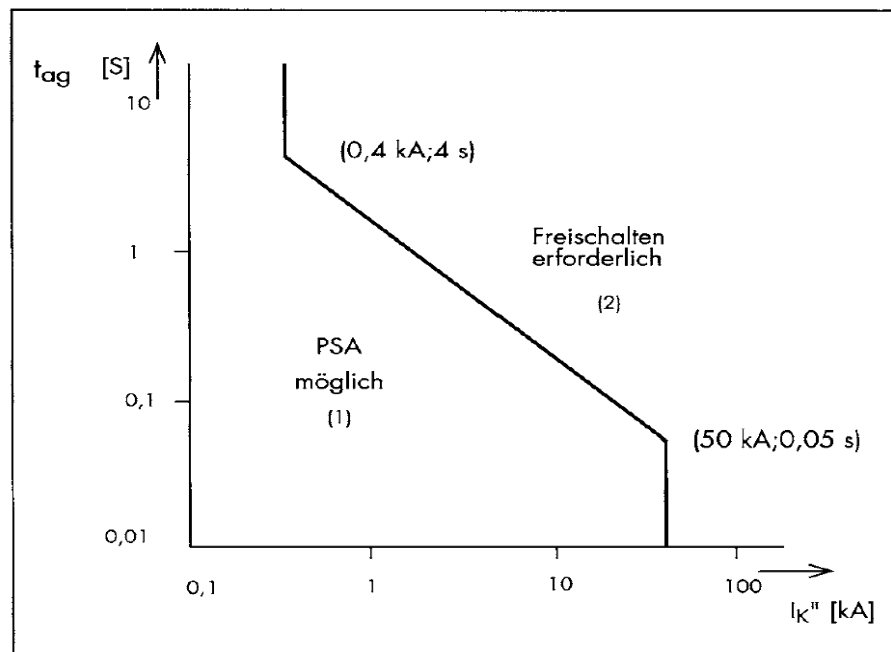


Abb. 1: Strom-Zeit Kennlinie zur Beurteilung der Schutzmaßnahmen [1] s. Anhang 1

Bild 3: Strom-Zeitkennlinie aus BGI 755





Bild 4: Prüfergebnis Position B mit positiver und negativer Bewertung aus dem Jahr 1980



Bild 5: Test Position B mit negativer Bewertung aus dem Jahr 2008

- [1] Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS), TRBS 2131 Elektrische Gefährdungen
- [2] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG) vom 07. August 1996 (BGBl. I S. 1246) zuletzt geändert durch Artikel 227 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I, Nr. 50, S. 2407) in Kraft getreten am 8. November 2006
- [3] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit (PSA-Benutzungsverordnung - PSA-BV) vom 4. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1841) GV8
- [4] Prüfung der Störlichtbogenfestigkeit von Schutzkleidung, PIP 001, Ausgabe: 2002-01



- [5] IPH-Prüfverfahren für PSA-Störlichtbogenprüfung
  
- [6] VDE 0682-306-1-1 (Entwurf): Arbeiten unter Spannung - Schutzkleidung gegen die thermischen Gefahren eines Lichtbogens - Teil 1: Prüfverfahren - Verfahren 1: Bestimmung der Lichtbogenkennwerte (ATPV oder  $E_{BT}$ ) von nicht entflammaren Bekleidungsstoffen
  
- [7] VDE 0682-306-1-2: Arbeiten unter Spannung - Schutzkleidung gegen die thermischen Gefahren eines elektrischen Lichtbogens - Teil 1-2: Prüfverfahren - Verfahren 2: Bestimmung der Lichtbogen- Schutzklasse des Materials und der Kleidung unter Verwendung eines gerichteten Prüflichtbogens (Box-Test)
  
- [8] VDE 0682-302-2: Arbeiten unter Spannung – Schutzkleidung gegen die Gefahren eines Lichtbogens - Teil 2 Anforderungen. Entwurf Juni 2006
  
- [9] Prüfgrundsatz, Elektriker-Gesichtsschutz, GS-ET-29, Zusatzanforderungen für die Prüfung und Zertifizierung von Elektriker-Gesichtsschutz Stand 2008-07, Fachausschuss Elektrotechnik Prüf- und Zertifizierungsstelle im BG-PRÜFZERT
  
- [10] Berufsgenossenschaftliche Information für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BGI 755)
  
- [11] Montage-, Bedienungs- und Wartungsvorschrift ISA-2000SF, -SG, -SK, -SS Nr. 13-990.00/00.41.00 09-4 Magdeburg: VEB Starkstrom-Anlagenbau Magdeburg, 1980
  
- [12] PPF (Personal Protection & Fashion) Heft NR. 1, Februar 2008