



DI Günther Weinzierl

g.weinzierl@meteg.at www.meteg.at

Tel.: +43 (0) 7249/43133

Fax.: +43 (0)7249/43103



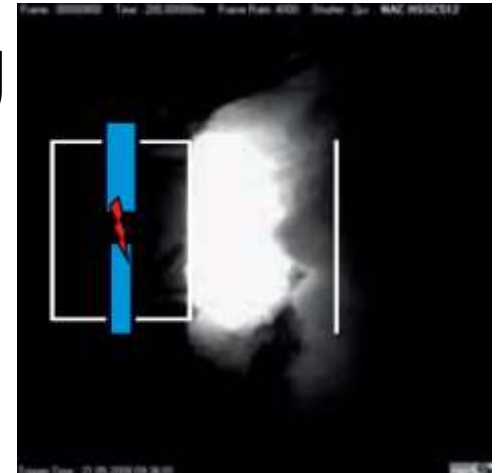
Lichtbogenschutz für Techniker/Elektriker

- Auswirkung Störlichtbogen
- Lichtbogenkenngrößen
- Prüfverfahren PSA-Produkte
- Material für Schutzbekleidung
- Risikobeurteilung
- Ergebnisse einer Untersuchung

Auswirkungen Störlichtbögen

- Lichtbogen entsteht aufgrund einer Störung (Kurzschluss, Erdschluss, Schaltgerätedefekt etc.)
- Schaltlichtbögen – weniger energiereich
- NS- Lichtbogen – Kontaktlichtbogen
- HS- Lichtbogen - Überschlag

Austreten einer heißen Plasma und Gaswolke bei einem Lichtbogen in einer BOX



Lichtbogenarten

- Offener Lichtbogen – offene Anlage LB strahlt in alle Richtungen – Gefahr droht ab einer gewissen Distanz nur durch **Strahlung**
- Gerichteter Lichtbogen - Lichtbogen in einem teilweise umschlossenen Bereich; Gefahr besteht durch die Bündelung der thermischen Effekte im Austrittsbereich von der **Strahlung**, dem **Hitzestrom** (Konvektion) und **Metallspritzern**
- austretender Lichtbogen – Plasmastrahlen werden ausgestoßen und treffen Personen.
- gleitender Lichtbogen – Lichtbogen, der in Hochspannungssystemen an der Oberfläche des Körpers in Verbindung mit einer Körperdurchströmung entsteht.

HOHE ENERGIE – HOHES VERLETZUNSRISIKO!!

Physikalische Auswirkungen

- Temperaturen in der LB –Säule bis zu 5000°C
- Metall verdampft und ionisiert - dadurch leitfähig und in weiterer Folge entsteht Plasma – Abgeben von UV und IR-Strahlung
- Plasmawolke besitzt hohe chemische Aggressivität
- Ausdehnung durch Verdampfung – Gasexpansion
- Abkühlung der Metallionen und Verbindung mit Luftsauerstoff – läßt Oxide entstehen – schwarzer Rauch
- Solange Dämpfe noch heiß genug – Kontamination durch Anhaftung



Physikalische Auswirkungen

- Hoher Druckanstieg innerhalb von 5 – 15 ms bis zu 0,3 MPa (dies entspricht einem Druck von ca. 30 Tonnen/m² – oder 3 bar)
- Druck kann zur bauliche Zerstörung führen – Wegschleudern von Gehäusen Zwischenwänden etc.
- Optische Strahlung und konvektiver 'Wärmestrom' führt zum Entflammen der benachbarten Bauteile



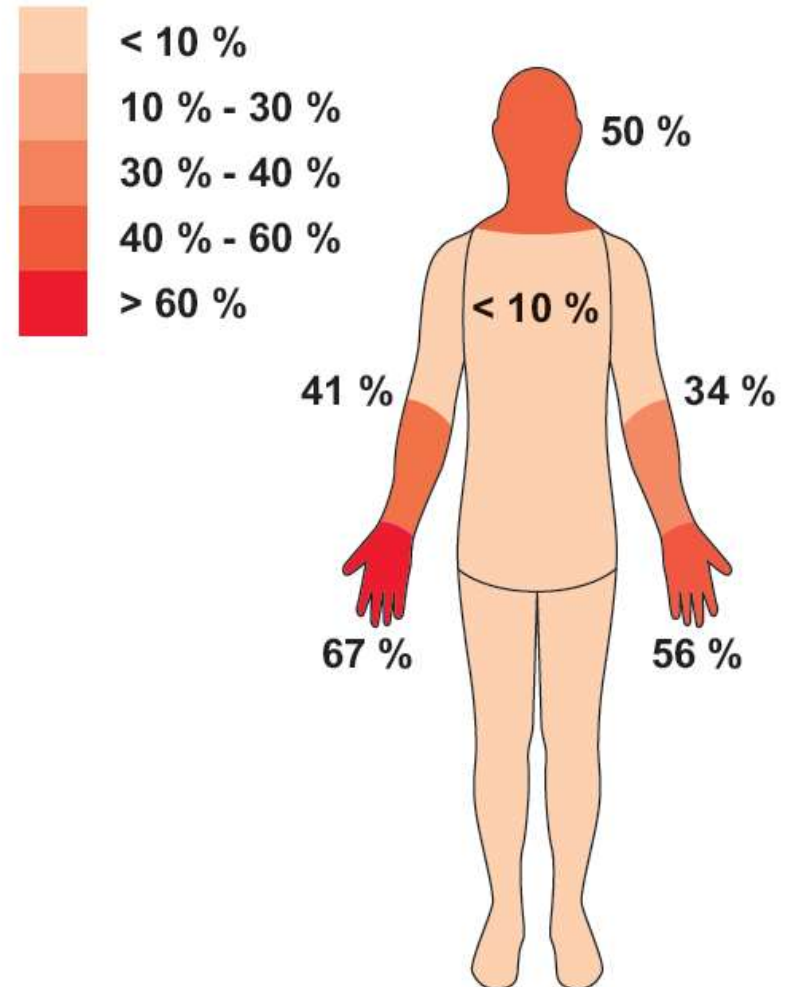
Auswirkungen auf den Menschen

- Druckeinwirkung, Krafteinwirkung weggeschleuderter Teile
- Gehörgefährdende Schallemissionen bis zu 140 dB
- Elektromagnetische Strahlung (Sichtbar. UV, Infrarot) führt zur Schädigung von Haut und Augen
- Hitzeschäden infolge der heißen Plasmawolke und Gasströmung
- Toxische Gase und heiße Partikel können Augen Haut und die Lunge beeinträchtigen



Auswirkungen auf den Menschen

- Verteilung der thermischen Schäden
- Auswertung von 61 Fällen von Lichtbogeneinwirkungen
- Rechte Hand
- Unterarme
- Gesicht



Lichtbogenparameter

- der elektrischen Lichtbogenenergie $W_{\text{arc}} = W_{\text{LB}}$
- der Lichtbogen-Wirkleistung $P_{\text{arc}} = P_{\text{LB}}$
- der Lichtbogendauer $t_{\text{arc}} = t_k$
- dem Abstand vom Lichtbogen a .
- die Elektrische Einwirkenergie E_i

$$E_i = f_T \cdot W_{\text{arc}} \text{ mit } f_T = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$$

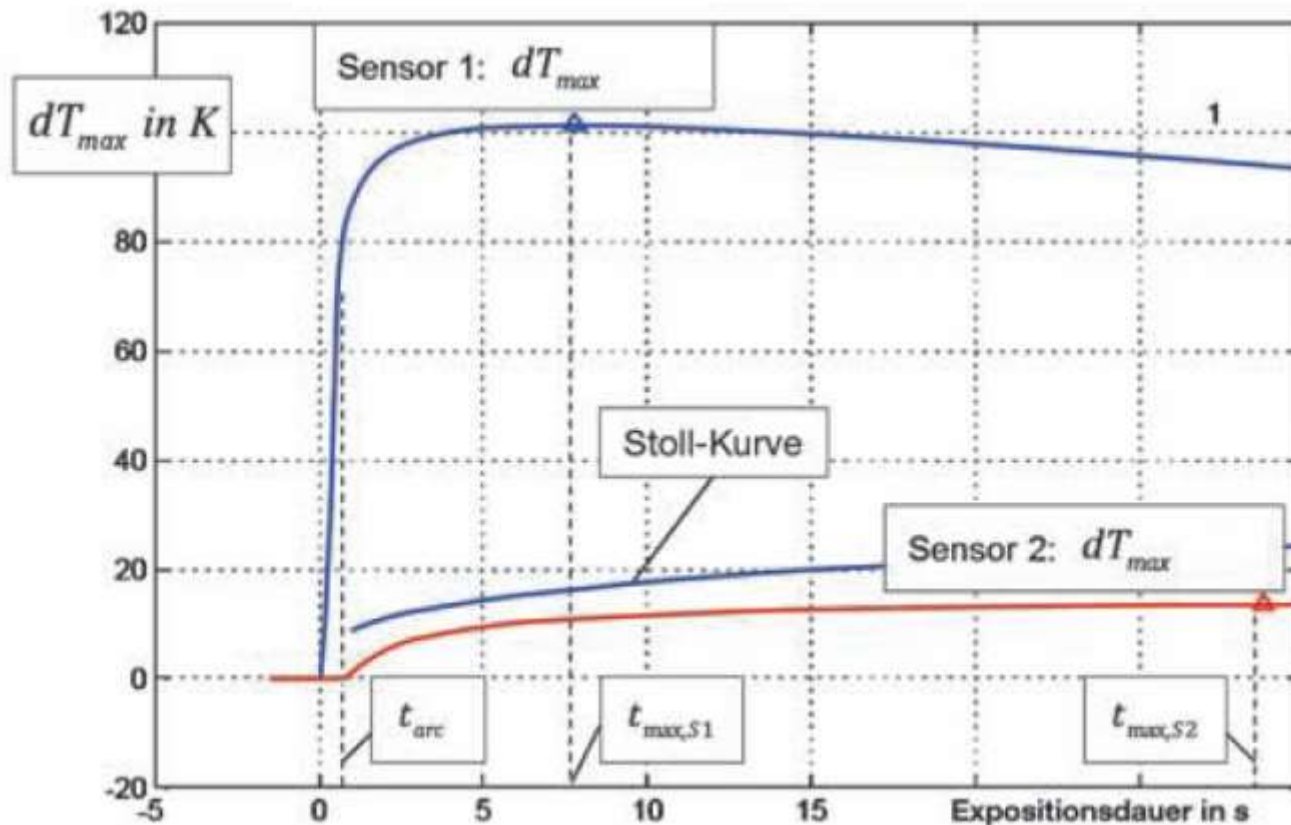
Lichtbogenparameter

$$E_i = f_T \cdot W_{\text{arc}} \text{ mit } f_T = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$$

- **x1– Abstand a zur Achse des Lichtbogens (annähernd umgekehrt proportional zum Quadrat)**
- **x2– räumliche Umgebung des Lichtbogens (offen, Gehäuse, Wände, ...)**
- **x3– Elektrodenkonfiguration (vertikal, horizontal, Barrieren, 2-polig/3-polig)**
- **x4– Elektrodenabstand d**
- **x5– Elektrodenmaterial**
- **x6– Spannungs- und Stromniveau des elektrischen Systems (Netz).**

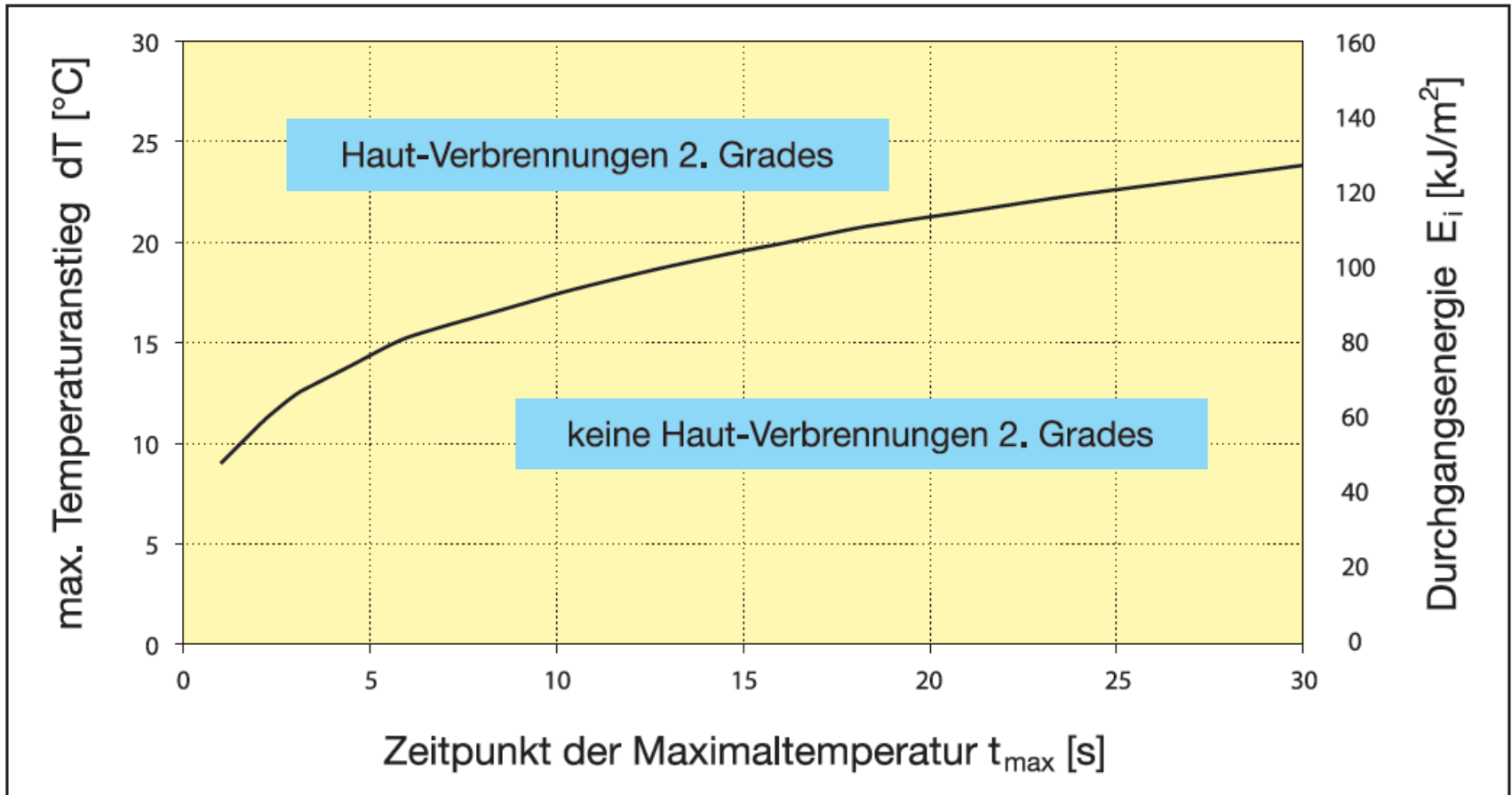
Lichtbogenparameter

E_i = wird mit Kupferkalorimeter gemessen (über die Temperatur am Sensor – Sensor 1 direkt am Lichtbogen – Sensor 2 hinter PSA)



Stollkurve – Temperaturanstieg der Haut verursacht maximal Verbrennung 2. Grades – vollständig heilbar

Stoll Kurve



Stollkurve – Temperaturanstieg der Haut verursacht maximal Verbrennung 2. Grades – vollständig heilbar

Prüfverfahren PSA Produkte

- Sollen reproduzierbar sein
- Sollen Beständigkeit gegen thermische Auswirkung nachweisen
- PSA muss flammhemmende Eigenschaften haben !
- PSA muss Einwirkenergie auf ungefährliches Maß reduzieren
- Verfahren 1 Arc-Rating-Test nach IEC oder EN 61482-1-1
- Verfahren 2 Box-Test nach IEC oder EN 61482-1-2



Testpuppe mit einer Jacke im Box Test

Prüfverfahren PSA Produkte

- Unterschied Verfahren 1 und 2

	IEC 61482-1-1	IEC 61482-1-2
Prüfaufbau	Langer offener Lichtbogen	Prüflichtbogen im Gehäuse
Prüfenergie	Schrittweise verändert durch Einstellung der Lichtbogen-dauer bei konstantem Prüfstrom	Konstant, zwei mögliche Werte (Klassen)
Wärmeübertragung	Alle Richtungen: hauptsächlich Strahlung	Gerichtet: Strahlung, Konvektion, Metallspritzer
Prüfergebnis	Lichtbogenkennwert (ATPV oder E_{BT50})	Störlichtbogen-Schutzklasse: ja/nein

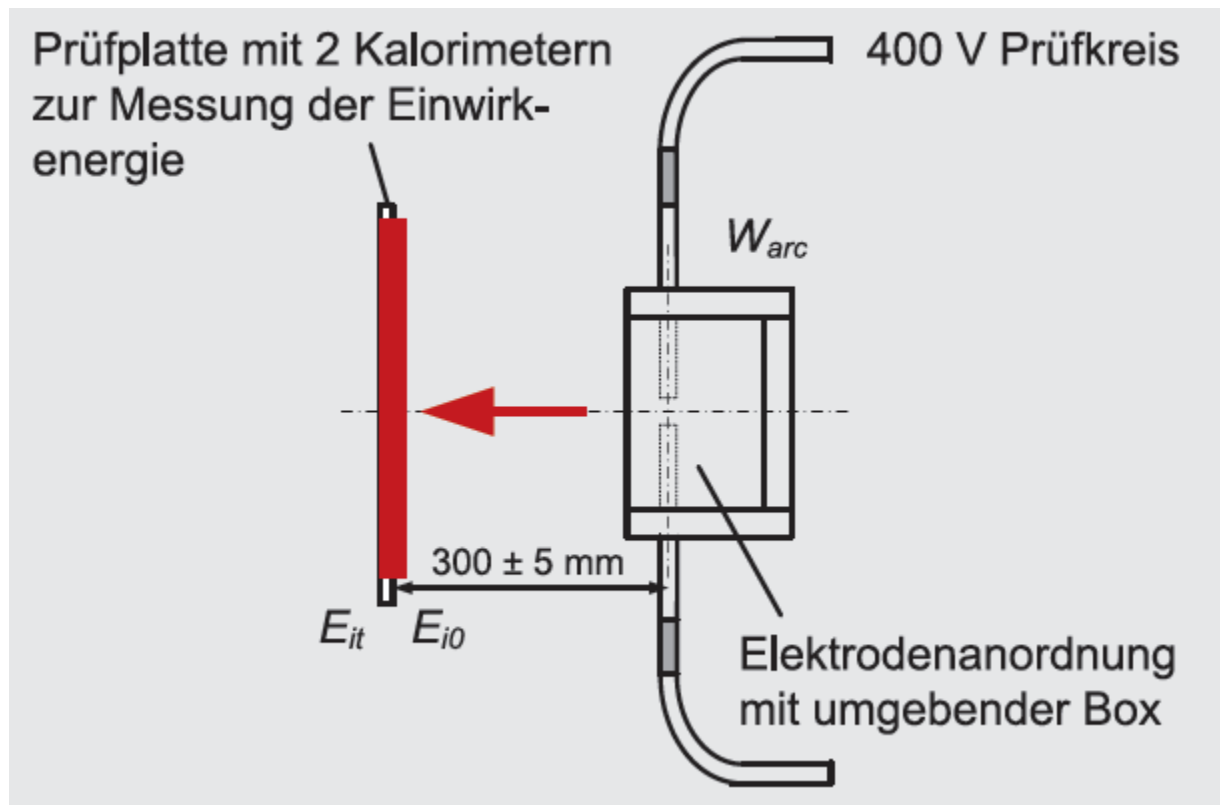
Prüfverfahren 1

- Kennwert der thermischen Schutzeigenschaften wird quantitativ ermittelt
- ATPV –Wert Arc Thermal Pervormance Value
- E_{BT50} Aufbrechenergie oder Break Open Energy
- Erlauben direkten Vergleich von Materialien
- Zwischen 2 Elektroden (Abstand 300mm)
- Sind um 120° versetzte Probenhalter angebr.
- Abstand Probe Lichtbogen 300mm
- Größe Probenhalter 550mmx 200mm
- Vor Prüfung Material 5x gewaschen
- Lichtbogen 8kA
- Lichtbogendauer 0,5 Sekunden



Prüfverfahren 2

- Lichtbogenbeständigkeit über 2 Schutzklassen definiert
- Elektrischer Lichtbogen brennt in einer Gipsbox



Prüfverfahren 2

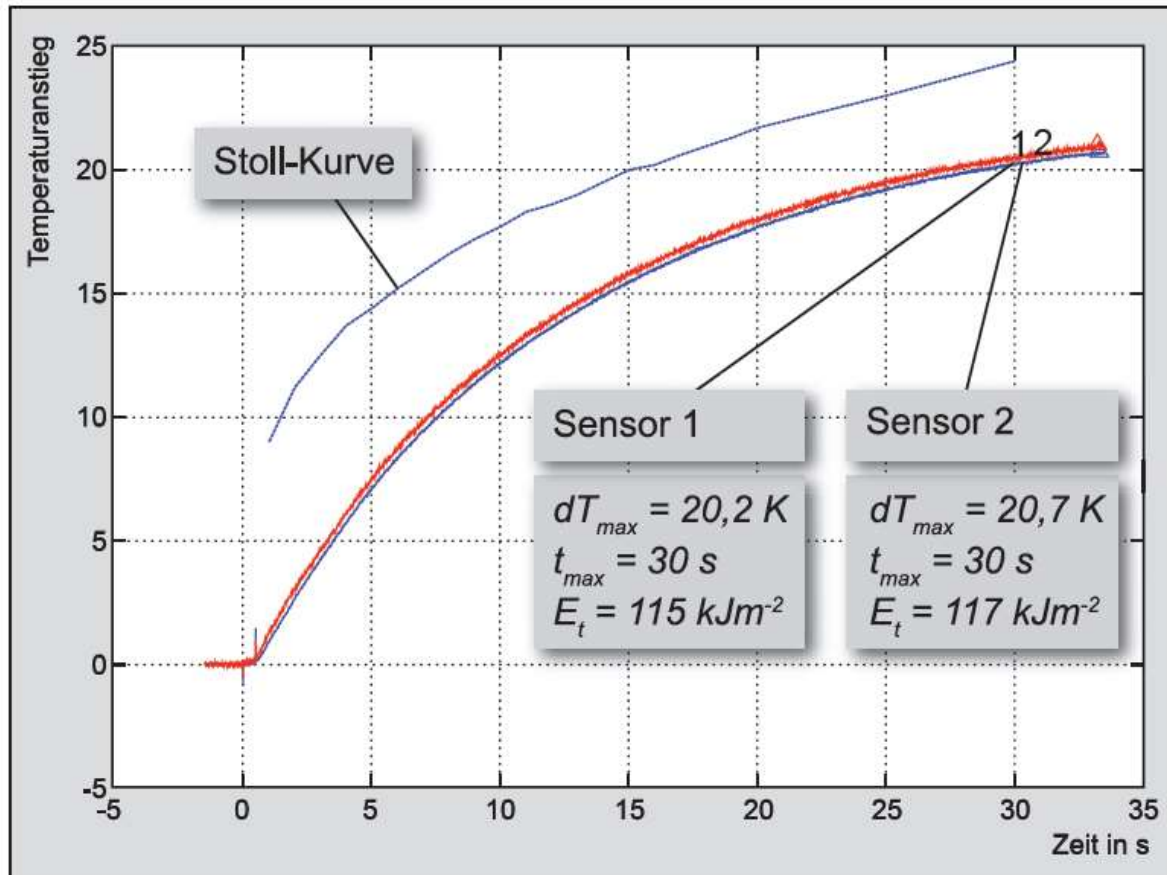
- Bei Kleidungsprüfung wird auch Nähgarn ,Verschlüsse etc. mitgeprüft
- Durchgangsenergie E_{it} darf Stollwerte nicht überschreiten
- Prüfpegel Klasse 1 und 2

	$W_{arcP} = W_{LBP}$ in kJ	E_{io} in kJ/m ²
Klasse 1	158	135
Klasse 2	318	423

Prüfverfahren 2

- **Kriterien für eine bestandene Prüfung**

Parameter	Kriterium
Nachbrenndauer	$\leq 5 \text{ s}$
Schmelzen	Kein Durchschmelzen bis zur Innenseite
Lochbildung	Keine Löcher größer als 5 mm in jeder Richtung (in der innersten Schicht)
Wärmestrom	Alle acht Wertepaare ($E_{it} - t_{\max}$) der beiden Kalorimeter liegen für 4 von 5 „Schüssen“ einer Prüfung (Serie) unter den entsprechenden Grenzen der STOLL-Kurve



Messergebnisse Klasse 2 eines 2 lagigen Textilmaterialsystems

Material für Schutzbekleidung

- **Entflammbarkeit und Flammausbreitung (Mind. FSI3 – Nachbrennzeiten maximal 3 Sekunden)**
- **Anforderungen beziehen sich nicht auf die Gefahr eines elektrischen Schlages.**
- **Keine Anforderung zum Schutz von Händen Füßen und Kopf**
- **Diese Norm sollte daher gemeinsam mit den Normen zur Spannungsfestigkeit von PSA angewandt werden**



Elektriker-Isolierhandschuh "Iso-Arc,,

geprüft nach EN 60903:2003 - mit Sonderkennzeichen 1000 V

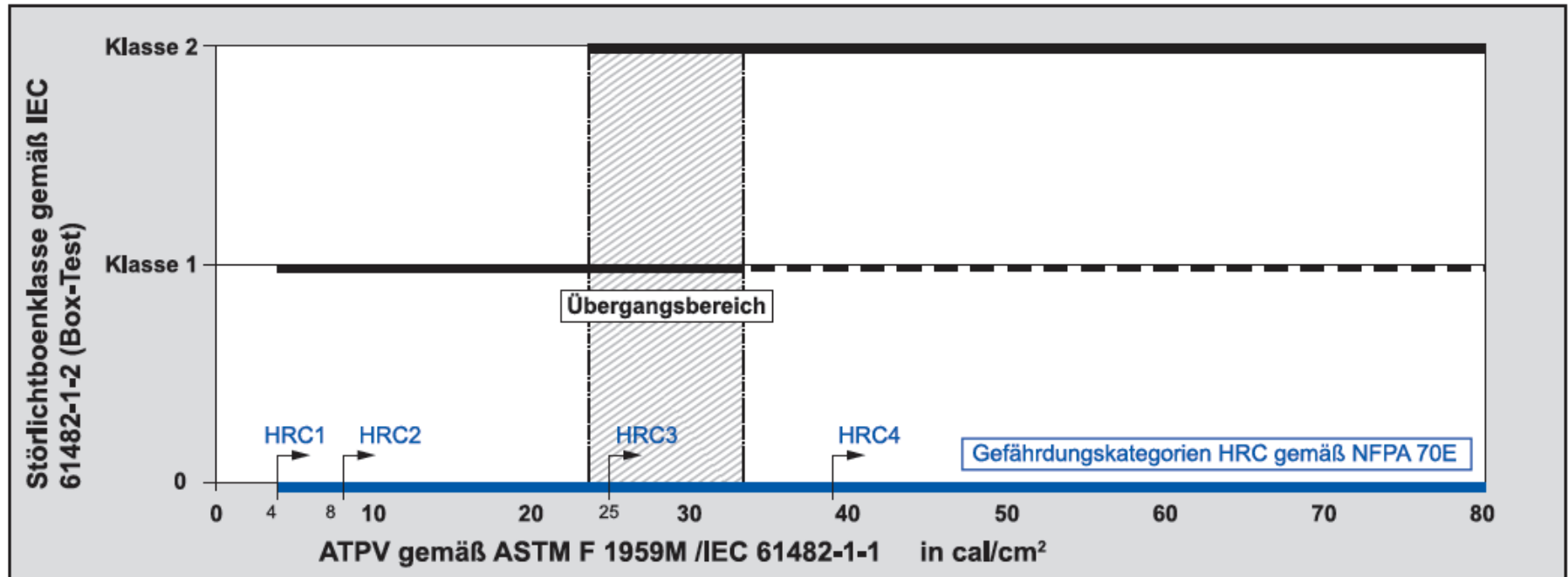
geprüft im Box-Test mit 4 kA/7kA
ATPV = 21,6 cal/cm²

Material für Schutzbekleidung

- **Produktnorm IEC 61482-2 beinhaltet Anforderungen und Prüfverfahren für Material und Kleidungsstücke die als PSA zum Einsatz kommen.**
- **Hauptnähte ausreichend flammhemmendes Verhalten.**
- **Weiterreißfestigkeit und Maßänderung (ISO 13937-2 und ISO 5077)**
- **Berstfestigkeit bei Polo-Shirts und Pullovern gem. ISO 13938-1**
- **Thermische Lichtbogenfestigkeit**

Material für Schutzbekleidung

- Empirische Beziehung APTV und Störlichtbogen klasse



Klasse 1 entspricht ein APTV von 4 – 30 Cal/cm^2

Klasse 2 entspricht ein APTV von 24 – 44 Cal/cm^2

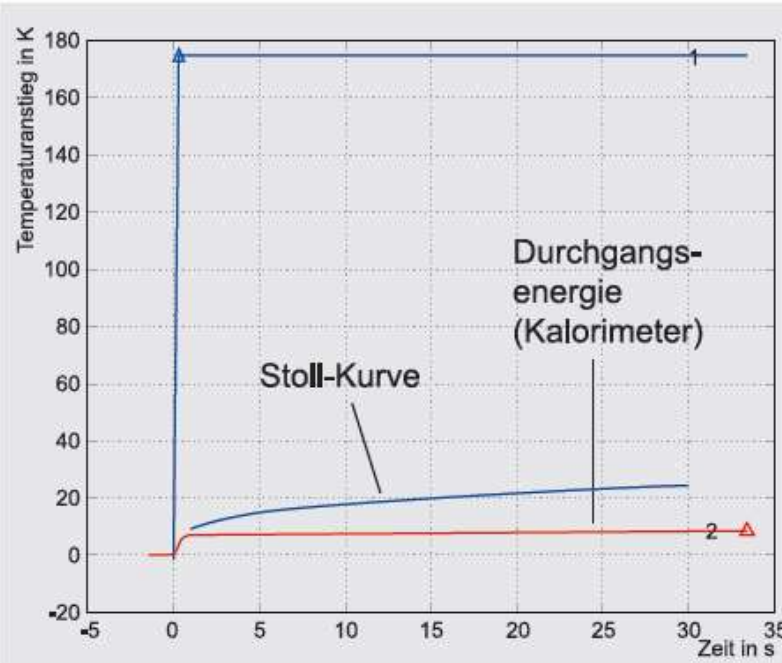
Handschuhe u. Gesichtsschutz

- Es existieren keine international harmonisierten Normen
- In Anlehnung an ARC-Rating Test und Box Test geänderte Prüfaufbauten



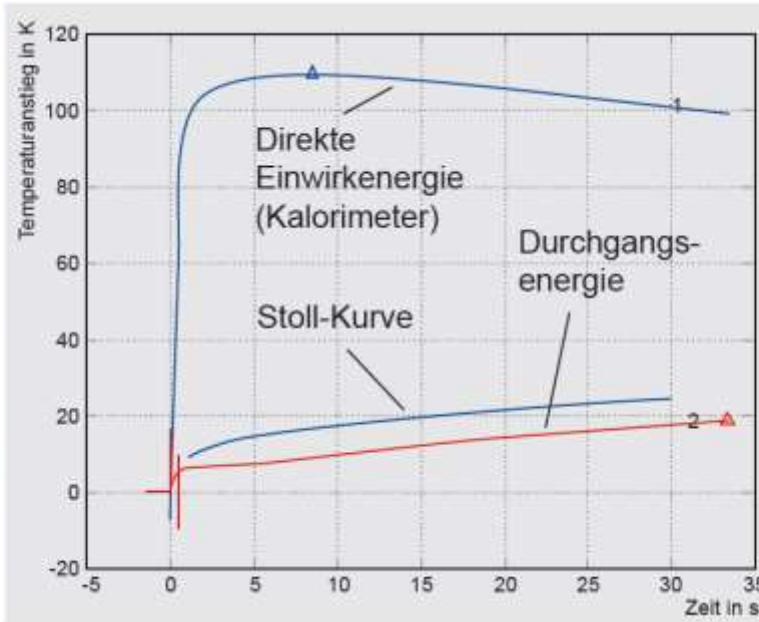
Handschuhe

- Schutzklasse 3 eingeführt – Abstand auf 150 mm reduziert



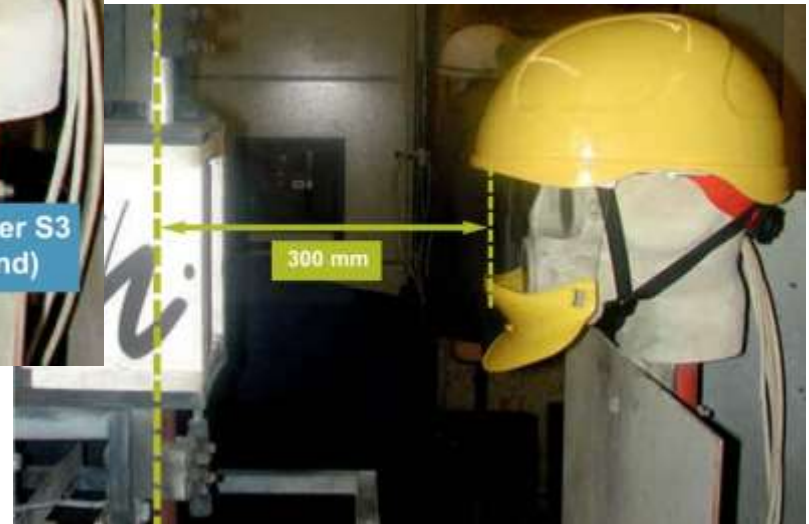
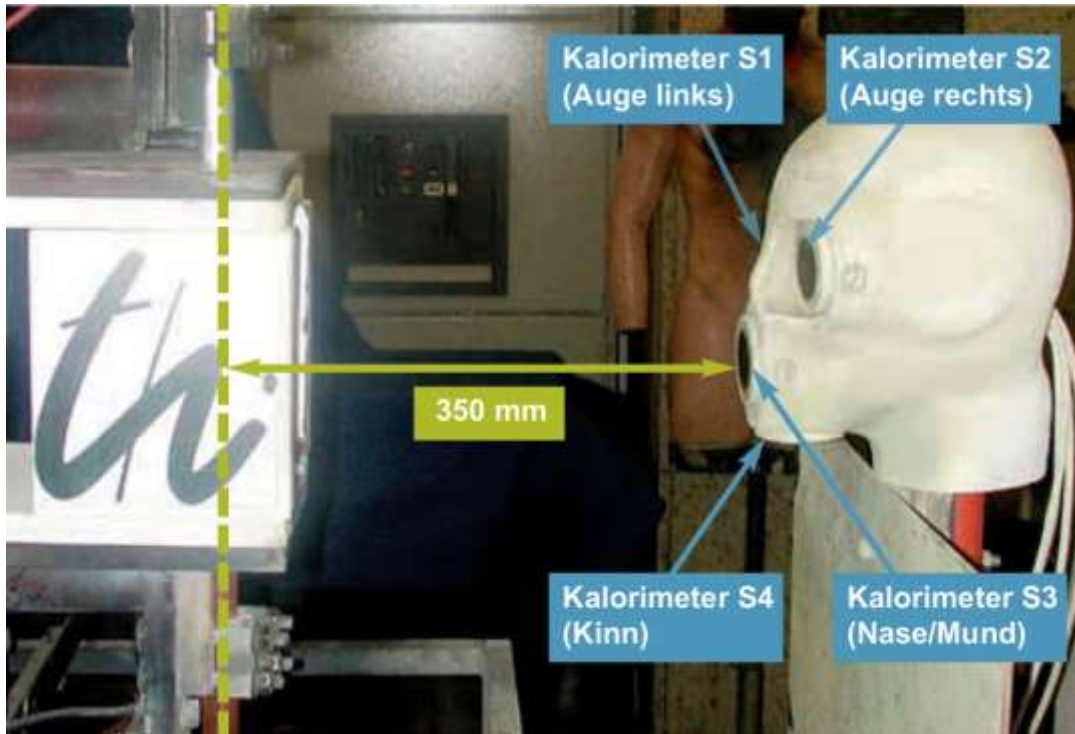
Ergebnis der Prüfung eines Isolierhandschuhs (Latex) der Spannungsklasse 1 unter den Bedingungen der Störlichtbogenklasse 3 (Test bestanden)

Handschuhe



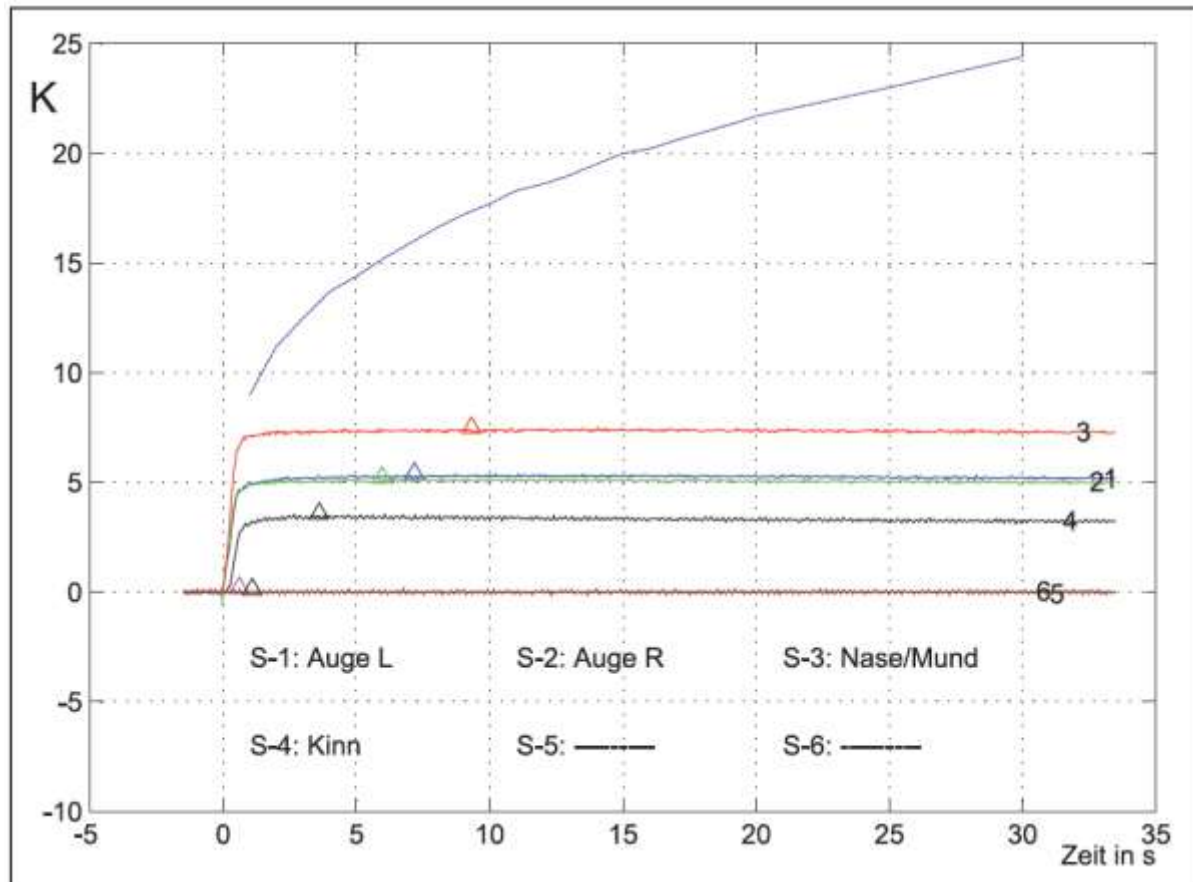
Ergebnis der Prüfung eines Isolierhandschuhs (Latex mit textiler Innenbeschichtung) der Spannungs-klasse 0 unter den Bedingungen der Störlichtbogenklasse 2 (Test bestanden)

Gesichtsschutz



Prüfaufbau mit Prüfkopf und Visierprüfung

Gesichtsschutz



Warum ist die Kinnbelastung deutlich geringer??

Messwerte der Kalorimeter in einem Boxtest Klasse 1 an einer Helm-Visier-Kombination (Prüfung ist bestanden)

Risikobeurteilung

- **Bestimmung der Einwirkenergie für die Wahl des APTV**

Eher im angloamerikanischen Raum verbreitet

NFPA 70E Standard für elektrische Sicherheit am Arbeitsplatz.

NFPA 70E definiert sichere Arbeitsverfahren für Elektriker. In diesem Standard werden die Methoden der Gefahren- und Risikoanalyse und Schutzmaßnahmen diskutiert.

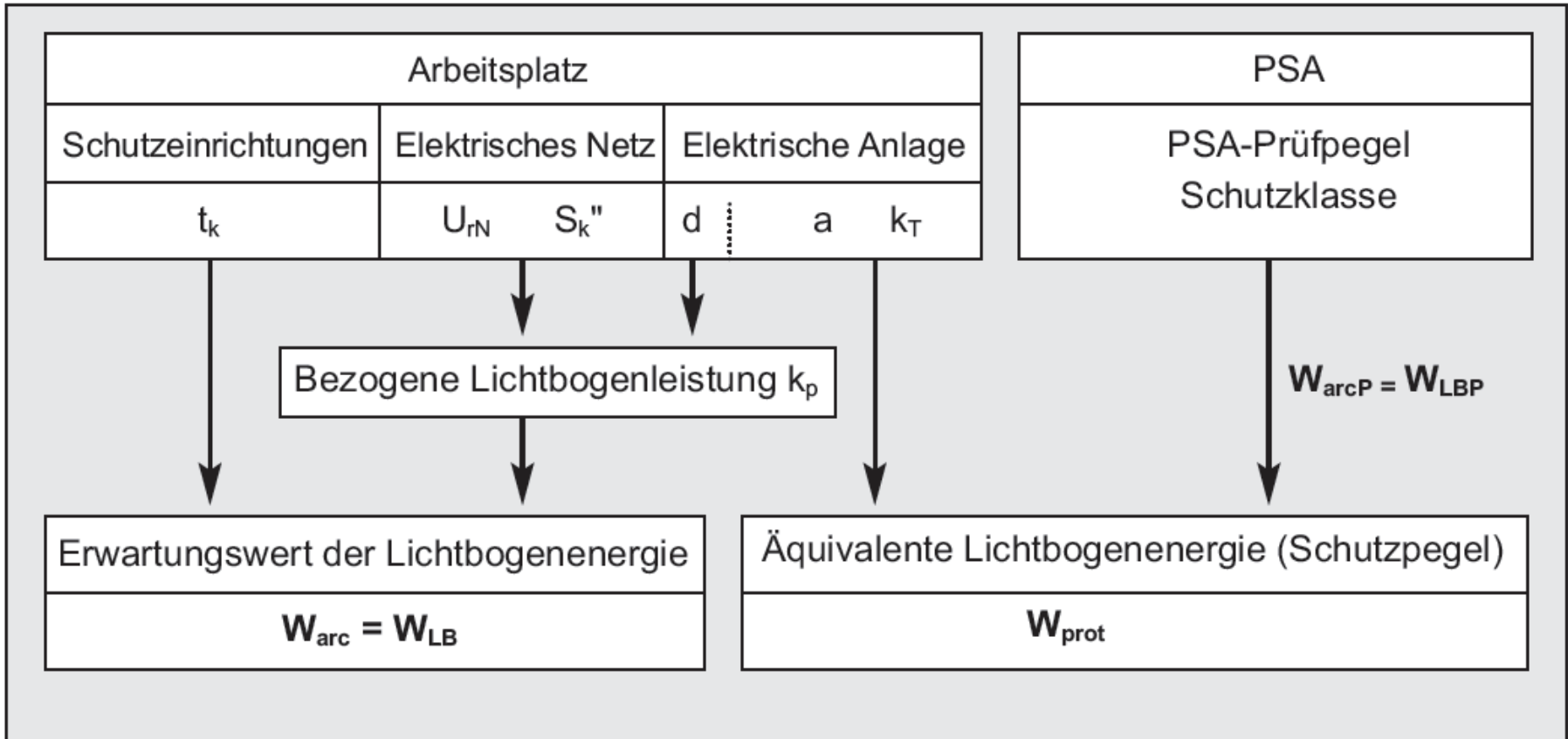
Der Standard verlangt, dass eine Lichtbogen-Gefährdungsanalyse für Arbeiten an oder in der Nahe unter Spannung stehender Anlagen durchgeführt wird.

Diese Analyse ist darauf ausgerichtet, sowohl die erforderliche persönliche Schutzausrüstung als auch den Lichtbogenschutzbereich um die Anlage zu bestimmen, in dem die PSA zu tragen ist.



Risikoanalyse

- Überblick Parameter Verfahrensweise Boxtest



Risikoanalyse

- **Überblick Schutzpegel Boxtest**

Klasse	Grad des Schutzes	Prüfpegel W_{arcP}	Schutzpegel W_{prot}
1	Basisschutz	158 kJ	$(1 \dots 2,4) \cdot \left(\frac{a}{300 \text{ mm}} \right)^2 \cdot 158 \text{ kJ}$
2	Erhöhter Schutz	318 kJ	$(1 \dots 2,4) \cdot \left(\frac{a}{300 \text{ mm}} \right)^2 \cdot 318 \text{ kJ}$

- Wert von k_T in der Regel 1 (worst case)– daher
- Doppelter Abstand – 4 facher Schutzpegel
- Für die Fehlerbetrachtung im Anschluss wurde ein Wert von 1,5 angenommen – Für Verteiler und Begrenzung des LB durch Rückwände
- Bei offenen Lichtbögen kann ein Wert von 2,4 angenommen werden

Risikoanalyse 2

- **Mindestabstände mit PSA in Abhängigkeit der Lichtbogenleistung**

Klasse 1	$a = 300 \text{ mm} \sqrt{\frac{k_P \cdot U_n \cdot I_{k3p}'' \cdot t_k}{(1 \dots 2,4) \cdot 91 \text{ kJ}}} \quad a = 300 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{k_P \cdot 1,73 \cdot U_n^2 / Z_i \cdot t_K}{k_T \cdot 158 \text{ kJ}}}$
Klasse 2	$a = 300 \text{ mm} \sqrt{\frac{k_P \cdot U_n \cdot I_{k3p}'' \cdot t_k}{(1 \dots 2,4) \cdot 184 \text{ kJ}}} \quad a = 300 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{k_P \cdot 1,73 \cdot U_n^2 / Z_i \cdot t_K}{k_T \cdot 316 \text{ kJ}}}$

- **Wurden in der Risikoanalyse angegeben.**
- **Wenn dieser Sicherheitsabstand nicht eingehalten werden kann dann sind folgende Maßnahmen zu ergreifen:**
- **Flinke Sicherungen, Arbeitsanweisungen, Arbeitshandlungen verbieten**

Beispiele

- **Farbliche Kennzeichnung der unterschiedlichen Gefährdungspotentiale**



**Lichtbogenenergie ist hoch – Persönliche Schutzausrüstung ist zu verwenden und auf Mindestabstände ist zu achten
Lichtbogenenergie größer 100kJ**



**Lichtbogenenergie ist zu beachten (größer 5kJ) – Persönliche Schutzausrüstung ist zu verwenden – auf Mindestabstände muss nicht geachtet werden.
Größere Abstände als Mindestabstand Klasse 1 kann zu einem Verzicht von PSA führen-**



Lichtbogenenergie ist gering (kleiner 5kJ) es ist keine PSA für „Hautschutz“) notwendig bzw. Lichtbogenenergie führt maximal zu Verbrennung 2. Grades

Beispiele

- **Berechnung der Lichtbogengefährdung**
- **Grundsätzlich nicht exakt möglich – daher ist man auf empirische Betrachtungen angewiesen**
- **Das Verhalten von Lichtbögen unterliegt sehr starken statistischen Streuungen**
- **Annahme von „worst case“ Szenarien – Führt aber unter Umständen zu sehr hohen Sicherheitsabständen**
- **Annahme von Richtwerten – diese decken einen hohen Anteil praktischer Anwendungen ab, führen aber immer dazu, dass immer PSA zu verwenden ist.**

Beispiele

- Auswertung an verschiedenen Punkten der Schaltanlage**

20kV-Anlage

Schaltanlage

Verteiler	Trafo	
Blenden	Hindernis	
Spannung	20000 V	
Schleifenimpedanz	0,5 Ohm	geschätzt
Kurzschlussstrom	20000 A	k_B mit Faktor 2 ber
Sicherung	630 A	geschätzt
Kurzschlussdauer	0,1 s	geschätzt
Kurzschlussleistung	6,9E+08 W	k_p mit Faktor 2 ber
Abstand Hand Lichtbogen	1 m	gilt für Schutzhand
Abstand Körper Lichtbogen	1,5 m	gilt für Kleidung

Bezogene Lichtbogenleistung 0,1 (k_B gilt für HS-Verteiler)

Lichtbogenenergie	8000,0 kJ	
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ	
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ	
	5 kJ	
Schutzpegel 1 Hand	2633,3 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Hand	5300,0 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 1 Körper	5925 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Körper	11925 kJ	$K_T = 1,5$

Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	2293 mm	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	1621 mm	
Mindestabstand ohne PSA	12887 mm	

Die Lic
keine S
Lichtbo
Bedier
Steuer



Trafo 0,4kV/20kV				
Verteiler	Trafo			
Blenden	Hindernis			
Spannung	400 V			
Schleifenimpedanz	0,015 Ohm			
Kurzschlussstrom	13333 A	k_B mit Faktor 2 ber		
Sicherung	1000 A	geschätzt		
Kurzschlussdauer	0,1 s	geschätzt		
Kurzschlussleistung	9,2E+06 W	k_p berücksichtigt m		
Abstand Hand Lichtbogen	1 m	gilt für Schutzhands		
Abstand Körper Lichtbogen	1,5 m	gilt für Kleidung		
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)			
Lichtbogenenergie	288,0 kJ			Die Lic
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ			Schutz
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ			Lichtbo
				Beim B
				1,5m m
Schutzpegel 1 Hand	2633,3 kJ	$K_T = 1,5$		jedoch
Schutzpegel 2 Hand	5300,0 kJ	$K_T = 1,5$		
Schutzpegel 1 Körper	5925 kJ	$K_T = 1,5$		
Schutzpegel 2 Körper	11925 kJ	$K_T = 1,5$		
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	435 mm			
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	308 mm			
Mindestabstand ohne PSA	2445 mm			



Trafo 6kV/20kV			
Verteiler	Trafo		
Blenden	Hindernis		
Spannung	6000 V		
Schleifenimpedanz	0,5 Ohm	geschätzt	
Kurzschlussstrom	6000 A	k_B mit F	
Sicherung	100 A	geschätzt	
Kurzschlussdauer	0,1 s	geschätzt	
Kurzschlussleistung	$6,2E+07$ W		
Abstand Hand Lichtbogen	1 m	gilt für S	
Abstand Körper Lichtbogen	1,5 m	gilt für K	
Bezogene Lichtbogenleistung	0,1 (gilt für HS)		
Lichtbogenenergie	720,0 kJ		
Schutzpegel 1 PSA	159 kJ		
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ		
Schutzpegel 1 Hand	2650,0 kJ	$K_T=1,5$	
Schutzpegel 2 Hand	5300,0 kJ	$K_T=1,5$	
Schutzpegel 1 Körper	5962,5 kJ	$K_T=1,5$	
Schutzpegel 2 Körper	11925 kJ	$K_T=1,5$	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	688 mm		
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	486 mm		
Mindestabstand ohne PSA	3866 mm		



24V nach der Sicherung

4

E-Raum allgemein

Notstrom 110V JA101/102

Verteiler	Anreihverteiler	
Blenden	Plexiglas	
Spannung	24 V	
Schleifenimpedanz	0,015 Ohm	geschätzt
Kurzschlussstrom	800 A	k_B mit Faktor 2 b
Sicherung	50 A	geschätzt
Kurzschlussdauer	0,01 s	geschätzt
Kurzschlussleistung	3,3E+04 W	
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhar
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)	

Lichtbogenenergie	0,1 kJ		Die L Schu nach
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ		
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ		
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$	
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$	
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$	
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	8 mm		
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	6 mm		
Mindestabstand ohne PSA	35 mm		



24V vor der Sicherung

5

E-Raum allgemein

Notstrom 110V JA101/102

Verteiler	Anreihverteiler	
Blenden	keine	keine fingersichere Ausführung
Spannung	24 V	
Schleifenimpedanz	0,015 Ohm	geschätzt
Kurzschlussstrom	800 A	k_B mit Faktor 2 berück
Sicherung	keine	A geschätzt
Kurzschlussdauer	5 s	geschätzt
Kurzschlussleistung	3,3E+04 W	
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhandsch
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27	(gilt für Hauptverteiler)
Lichtbogenenergie	51,8 kJ	
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ	
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ	
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	185 mm	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	130 mm	
Mindestabstand ohne PSA	789 mm	

Die Lichtb
Schutzaus
Lichtboge
Schutzh
Kleidung
Klasse 1
Batterien



6

110V vor der Sicherung

E-Raum allgemein

Notstrom 110V JA101/102

Verteiler	Anreihverteiler		
Blenden	keine	keine fingersichere Ausführung	
Spannung	110 V		
Schleifenimpedanz	0,05 Ohm	geschätzt	
Kurzschlussstrom	1100 A	k_B mit Faktor 2	
Sicherung	keine	A	geschätzt
Kurzschlussdauer	5 s	geschätzt	
Kurzschlussleistung	2,1E+05 W		
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzkleidung	
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung	
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)		
Lichtbogenenergie	326,7 kJ		
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ		
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ		
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$	
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$	
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$	
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	463 mm		
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	328 mm		
Mindestabstand ohne PSA	1980 mm		



110V nach der Sicherung

7

E-Raum allgemein

Notstrom 110V JA101/102

Verteiler	Anreihverteiler	
Blenden	keine	keine fingersichere Ausführung
Spannung	110 V	
Schleifenimpedanz	0,05 Ohm	geschätzt
Kurzschlussstrom	1100 A	k_B mit Faktor 2 berücksichtigt EW
Sicherung	50 A	geschätzt
Kurzschlussdauer	0,01 s	geschätzt
Kurzschlussleistung	4,2E+05 W	
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhandschuhe
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27	(gilt für Hauptverteiler)
Lichtbogenenergie	0,7 kJ	Die Lichtbogenenergie ist gering. Normale Schutzhandschuhe sind für das Arbeiten nach der Sicherung ausreichend
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ	
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ	
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	21 mm	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	15 mm	
Mindestabstand ohne PSA	89 mm	



Notstrommastersteuerung

8

E-Raum allgemein

Notstrommastersteuerung Simatic

Verteiler	Anreihverteiler	
Blenden	keine	Fingersichere Ausführung
Spannung	400 V	
Schleifenimpedanz	0,1 Ohm	geschätzt
Kurzschlussstrom	2000 A	k_B mit Faktor 2 berü
Sicherung	50 A	geschätzt
Kurzschlussdauer	0,01 s	geschätzt
Kurzschlussleistung	1,4E+06 W	
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhands
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)	
Lichtbogenenergie	4,3 kJ	
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ	
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ	
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	53 mm	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	38 mm	
Mindestabstand ohne PSA	299 mm	

Die Licht
Baumwo
Werkze
reicht be
aus. Arb
Schutzk



Kompensation

9

E-Raum allgemein

Kompensation

Verteiler	Anreihverteiler	
Blenden	Metall	Fingersichere Ausführung
Spannung	400 V	
Schleifenimpedanz	0,04 Ohm	
Kurzschlussstrom	5000 A	k_B mit Faktor 2 berücksich
Sicherung	350 A	
Kurzschlussdauer	0,02 s	
Kurzschlussleistung	3,5E+06 W	
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhandschuhe
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)	
Lichtbogenenergie	21,6 kJ	
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ	
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ	
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	119 mm	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	84 mm	
Mindestabstand ohne PSA	670 mm	

Die Lichtbogen
Normale Baum
Werkzeug reic
Kontrolle aus.
(AuS mit Schu



NS-Hauptverteiler

10				
E-Raum allgemein				
ABB MNS				
Verteiler	Typgeprüfter NS-Hauptverteiler			
Blenden	Metall	Fingersichere Ausführung		
Spannung	400 V			
Schleifenimpedanz	0,02 Ohm			
Kurzschlussstrom	10000 A	k_B mit Faktor 2 berücksichtigt E		
Sicherung	2000 A			
Kurzschlussdauer	0,06 s	geschätzt	hängt von den Einst	
Kurzschlussleistung	6,9E+06 W			
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhandschuhe		
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung		
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27	(gilt für Hauptverteiler)		
Lichtbogenenergie	129,6 kJ			Die Lichtbogenenergie ist hoch.
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ			Bedienung
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ			von außen ok auch
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$		unte Spannung im V
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$		Einspeiseschalter n
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$		Schutzausrüstung k
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$		
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	292 mm			
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	206 mm			
Mindestabstand ohne PSA	1640 mm			



NS-Hauptverteiler

11

E-Raum allgemein

SIVACON neu

Verteiler	Typgeprüfter NS-Hauptverteiler		
Blenden	Metall	Fingersichere Ausführung	
Spannung	400 V		
Schleifenimpedanz	0,02 Ohm		
Kurzschlussstrom	10000 A	k _B mit Faktor 2 berücksichtigt EV	
Sicherung	2000 A		
Kurzschlussdauer	0,06 s	geschätzt	hängt von den Einste
Kurzschlussleistung	6,9E+06 W		
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhandschuhe	
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung	
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)		
Lichtbogenenergie	129,6 kJ		Die Lichtbogenenergie Bedienung von außen ok auch o unte Spannung im V Einspeiseschalter nu Schutzausrüstung K
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ		
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ		
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	K _T =1,5	
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	K _T =1,5	
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	K _T =1,5	
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	K _T =1,5	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	292 mm		
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	206 mm		
Mindestabstand ohne PSA	1640 mm		



NS-Unterverteiler

12

E-Raum allgemein

SV H02-EV101

Verteiler	Anreihverteiler	
Blenden	Kunststoff	
Spannung	400 V	
Schleifenimpedanz	0,06 Ohm	
Kurzschlussstrom	3333 A	k_B mit Faktor 2 berücksichtigt
Sicherung	315 A	geschätzt
Kurzschlussdauer	0,2 s	geschätzt
Kurzschlussleistung	2,3E+06 W	
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhandschuhe
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)	
Lichtbogenenergie	144,0 kJ	
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ	
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ	
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	308 mm	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	217 mm	
Mindestabstand ohne PSA	1729 mm	

Die Lichtbogenergie ist so hoch, dass das Bedienen von Schaltanlagen im Bereich der Sammelschienen ohne Schutzkleidung lebensgefährlich ist. Schutzklasse 1



NS-Unterverteiler

13

E-Raum allgemein

SV H02-EV103

Verteiler	Anreihverteiler	
Blenden	Kunststoff	
Spannung	400 V	
Schleifenimpedanz	0,06 Ohm	
Kurzschlussstrom	3333 A	k_B mit Faktor 2 berücksichtigen
Sicherung	125 A	geschätzt
Kurzschlussdauer	0,01 s	geschätzt
Kurzschlussleistung	2,3E+06 W	
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhandschuhe
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)	

Lichtbogenenergie	7,2 kJ		Die Lichtbogenenergie ist die Energie, die bei einem Lichtbogen in der Schutzzone freigesetzt wird.
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ		Bedienen der Schutzanlage
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ		Demontieren der Schutzanlage
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$	kein Fingerschutz
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$	Schutzhandschuhe der Klasse 2
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$	
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	69 mm		
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	49 mm		
Mindestabstand ohne PSA	387 mm		



Notbeleuchtung

14

OP-Trakt BEV/ USV Raum

Notbeleuchtung Steri

Verteiler

Blenden

Spannung 230 V

Schleifenimpedanz 0,2 Ohm geschätzt

Kurzschlussstrom 575 A k_B mit Faktor 2

Sicherung 25 A

Kurzschlussdauer 0,01 s geschätzt

Kurzschlussleistung 2,3E+05 W

Abstand Hand Lichtbogen 0,15 m gilt für Schutzl

Abstand Körper Lichtbogen 0,6 m gilt für Kleidun

Bezogene Lichtbogenleistung 0,27 (gilt für Hauptverteiler)

Lichtbogenenergie 0,7 kJ

Schutzpegel 1 PSA 158 kJ

Schutzpegel 2 PSA 318 kJ

Schutzpegel 1 Hand 59,25 kJ $K_T = 1,5$

Schutzpegel 2 Hand 119,25 kJ $K_T = 1,5$

Schutzpegel 1 Körper 948 kJ $K_T = 1,5$

Schutzpegel 2 Körper 1908 kJ $K_T = 1,5$

Mindestarbeitsabstände bei
Schutzpegel1 22 mm

Mindestarbeitsabstände bei
Schutzpegel2 15 mm

Mindestabstand ohne PSA 93 mm



Verteiler Batterieanlage

15

OP-Trakt BEV/ USV Raum

Batterieanlage Sicherung

Verteiler	Anreihverteiler		
Blenden	Kunststoff		
Spannung	400 V		
Schleifenimpedanz	0,04 Ohm	geschätzt	
Kurzschlussstrom	10000 A	k_B mit Faktor	
Sicherung	63 A		
Kurzschlussdauer	0,01 s	geschätzt	
Kurzschlussleistung	6,9E+06 W		
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutz	
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung	
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)		

Lichtbogenenergie	10,8 kJ		
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ		
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ		
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$	
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$	
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$	
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$	

Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	84 mm		
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	60 mm		
Mindestabstand ohne PSA	474 mm		



Batterieanlage

16

OP-Trakt BEV/ USV Raum

Batterieanlage

Verteiler

Blenden

Spannung

400 V

Schleifenimpedanz

0,08 Ohm

geschätzt

Kurzschlussstrom

2500 A

k_B mit Fak

Sicherung

keine

A

Kurzschlussdauer

5 s

geschätzt

Kurzschlussleistung

1,7E+06 W

Abstand Hand Lichtbogen

0,15 m

gilt für Sch

Abstand Körper Lichtbogen

0,6 m

gilt für Klei

Bezogene Lichtbogenleistung

0,27 (gilt für Hauptverteiler)

Lichtbogenenergie

2700,0 kJ

Schutzpegel 1 PSA

158 kJ

Schutzpegel 2 PSA

318 kJ

Schutzpegel 1 Hand

59,25 kJ

$K_T = 1,5$

Schutzpegel 2 Hand

119,25 kJ

$K_T = 1,5$

Schutzpegel 1 Körper

948 kJ

$K_T = 1,5$

Schutzpegel 2 Körper

1908 kJ

$K_T = 1,5$

Mindestarbeitsabstände bei

Schutzpegel1

1332 mm

Mindestarbeitsabstände bei

Schutzpegel2

942 mm

Mindestabstand ohne PSA

7487 mm



USV-Verteiler

17

OP-Trakt BEV/ USV Raum

USV-Verteiler SVP02 EV901

Verteiler	Anreihverteiler	
Blenden	Blech nur mit Werkzeug zu öffnen	
Spannung	400 V	
Schleifenimpedanz	0,19 Ohm	
Kurzschlussstrom	1053 A	k_B mit Faktor 2 berü
Sicherung	25 A	
Kurzschlussdauer	0,01 s	
Kurzschlussleistung	7,3E+05 W	
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhands
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)	
Lichtbogenenergie	2,3 kJ	
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ	
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ	
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	39 mm	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	27 mm	
Mindestabstand ohne PSA	217 mm	



USV-Anlage

18

OP-Trakt BEV/ USV Raum

USV-Anlage

Verteiler	Anreihverteiler	
Blenden	Blech nur mit Werkzeug zu öffnen	
Spannung	400 V	
Schleifenimpedanz	0,1 Ohm	geschätzt
Kurzschlussstrom	2000 A	k_B mit Faktor 2 b
Sicherung	200 A	
Kurzschlussdauer	0,4 s	
Kurzschlussleistung	1,4E+06 W	
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhar
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)	
Lichtbogenenergie	172,8 kJ	
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ	
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ	
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	337 mm	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	238 mm	
Mindestabstand ohne PSA	1894 mm	



BEV-Anlage

20

OP-Trakt BEV/ USV Raum

BEV 02-Verteiler

Verteiler	Anreihverteiler	
Blenden	keine	
Spannung	400 V	
Schleifenimpedanz	0,04 Ohm	
Kurzschlussstrom	5000 A	k_B mit Faktor 2 berücksichtigen
Sicherung	200 A	
Kurzschlussdauer	0,01 s	
Kurzschlussleistung	3,5E+06 W	
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhandschutzhandschuhe
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)	
Lichtbogenenergie	10,8 kJ	
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ	
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ	
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	84 mm	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	60 mm	
Mindestabstand ohne PSA	474 mm	



USV-Verteiler

23

OP-Trakt BEV/ USV Raum

USV-Verteiler SVP02 EV703

Verteiler	Maskenverteiler	
Blenden	Blechblenden	
Spannung	400 V	
Schleifenimpedanz	0,06 Ohm	
Kurzschlussstrom	3333 A	k_B mit Faktor 2 berücksichtigen
Sicherung	63 A	
Kurzschlussdauer	0,01 s	
Kurzschlussleistung	2,3E+06 W	
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhandschuhe
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)	

Lichtbogenenergie	7,2 kJ	
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ	
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ	
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	69 mm	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	49 mm	
Mindestabstand ohne PSA	387 mm	

Die Lichtbogenenergie
Das Bedienpersonal
Schutzausrüstung
Verteiler mit
Schutzkleidung



Lüftungsverteiler

24

Heizung Lüftung

UFO-Zentrale BH2

Verteiler	Anreihverteiler	
Blenden	keine	
Spannung	400 V	
Schleifenimpedanz	0,14 Ohm	
Kurzschlussstrom	1429 A	k_B mit Faktor 2 berücksichtigen
Sicherung	100 A	geschätzt
Kurzschlussdauer	0,02 s	geschätzt
Kurzschlussleistung	9,9E+05 W	
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhandschuhe
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)	

Lichtbogenenergie	6,2 kJ	
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ	
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ	
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	64 mm	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	45 mm	
Mindestabstand ohne PSA	358 mm	

 Die
Das
Sch
Ver
Sch


Lüftungsverteiler

28			
Lüftungszentrale B2			
UV SVE 08KV201			
Verteiler	Anreihverteiler		
Blenden	keine		
Spannung	400 V		
Schleifenimpedanz	0,16 Ohm	geschätzt für weitere Verteiler	
Kurzschlussstrom	2500 A	k_B mit Faktor 2 berücksichtigt EW	
Sicherung	200 A	geschätzt	
Kurzschlussdauer	0,2 s	geschätzt	
Kurzschlussleistung	1,7E+06 W		
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzhandschuhe	
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung	
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)		
Lichtbogenenergie	54,0 kJ	Die Lichtbogenenergie ist zu beachten. Das Bedienen der Verteiler ist ohne Schutzausrüstung möglich. AuS im Verteiler mit Schutzhandschuhen und Schutzkleidung der Klasse 1 möglich.	
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ		
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ		
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ		
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ		
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ		
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ		
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	188 mm		
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	133 mm		
Mindestabstand ohne PSA	1059 mm		



30
Lüftungszentrale B2

UV SVE 08KV202

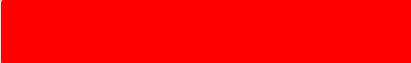
Lüftungsverteiler

Verteiler	Anreihverteiler	
Blenden	keine	
Spannung	400 V	
Schleifenimpedanz	0,16 Ohm	geschätzt für w
Kurzschlussstrom	1250 A	k_B mit Faktor 2
Sicherung	160 A	geschätzt
Kurzschlussdauer	0,4 s	geschätzt
Kurzschlussleistung	8,7E+05 W	
Abstand Hand Lichtbogen	0,15 m	gilt für Schutzh
Abstand Körper Lichtbogen	0,6 m	gilt für Kleidung
Bezogene Lichtbogenleistung	0,27 (gilt für Hauptverteiler)	


Lichtbogenenergie	108,0 kJ	
Schutzpegel 1 PSA	158 kJ	
Schutzpegel 2 PSA	318 kJ	
Schutzpegel 1 Hand	59,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Hand	119,25 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 1 Körper	948 kJ	$K_T = 1,5$
Schutzpegel 2 Körper	1908 kJ	$K_T = 1,5$
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel1	266 mm	
Mindestarbeitsabstände bei Schutzpegel2	188 mm	
Mindestabstand ohne PSA	1497 mm	




Zusammenfassung der Bewertung



20kV-Schaltanlage
Trafo 400V/7 6kV
110V-Batterieanlage vor Sicherung
ABB mns UND sivacon
Unterverteiler SV H02-EV101
USV-Batterieanlage
BEV-Anlage
Lüftungszentrale UV SVE 08KV201, 202



NS-Raum Notstrom 24V JA101/102 vor Sicherung
NS-Raum Kompensation
SV H02-EV103
OP-Trakt BEV/USV Raum Batterieanlage nach Sicherung
BEV 01/02 Verteiler
USV-Verteiler SVP02EV703
Heizung Lüftung UFO-Zentrale BH2, UV SV E02 UV101, 201, ZLT
Lüftungszentrale B2 UV SVE 08kV201



E-Raum Notstrom 24V 110V JA101/102 nach Sicherung
Notstrommastersteuerung
Notbeleuchtung Steri
OP-Trakt BEV/USV Raum USV-Verteiler SVP02EV901