



08/2020

## Aus Elektrounfällen lernen! Stromunfall durch Lichtbogen an der Hauptverteilung (HV); Betrachtung der Durchlassenergie in Abhängigkeit der Abschaltzeiten

### Ausgangslage

Der Verunfallte (VU) bekam den Auftrag, die Sperrschützen, welche über den NKE (Rundsteuerempfänger) gesteuert wurden, zu ersetzen, da einer davon defekt war. Die Sperrschützen waren für zwei Steamer-Geräte installiert. Im Jahr 2012 wurde die Hauptverteilung (HV) ausgewechselt. Der Kurzschlussstrom, welcher beim HAK damals gemessen und im SiNa protokolliert wurde, beträgt bei 160 A NHS 2,3 kA.



(Bild 1)

Unfall- und Schadenbild nach dem Ereignis:  
Schwere Brandverletzungen an der linken Hand und vollständig abgebrannte HV.



(Bild 2)

Abgebrannter Anschlussüberstromunterbrecher (HAK)

### Unfallhergang

Als der VU mit der Spitzzange die Kabel des Sperrschützes löste, gelangte er höchstwahrscheinlich mit dem Werkzeug an die Einspeisung der Sicherungen und löste einen Lichtbogen aus. Dabei verbrannte sich der VU durch die enorme Hitze des Lichtbogens die linke Hand. Als weitere Folge des Kurzschlusses entstand ein beachtlicher Brand mit grossem Sachschaden in der HV (Totalschaden).



### Ursache:

#### Wieso ist der Unfall passiert?

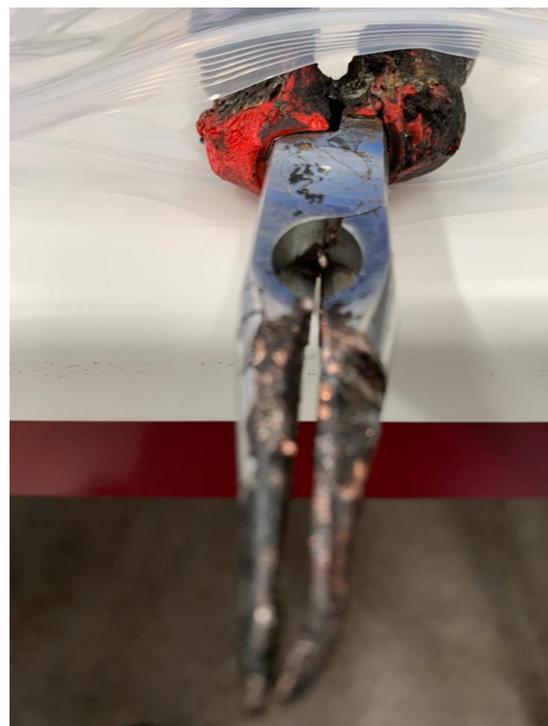
#### Feststellungen:

- Die 5 Sicherheitsregeln wurden nicht konsequent angewendet.
- Die Einspeiseseite der Sicherungen in der Nähe der Sperrschützen war noch unter Spannung.
- Die Spannungsfreiheit der Einspeisung für die Sicherungen wurde nicht festgestellt. (Art. 72 Starkstromverordnung / Art. 22 NIV)
- Die Spannungsfreiheit wurde nicht mittels Messgerät gemäss EN 61243-3 kontrolliert.
- Der VU deckte die noch unter Spannung stehenden, benachbarten Teile in der HV nicht ab. (Regel 5)
- Der VU führte Arbeiten in der Nähe von spannungsführenden Teilen aus, ohne eine persönliche Schutzausrüstung (PSA) zu tragen (ESTI-Weisung Nr. 407).
- **Ausbildung:** Als Eidg. diplomierter Elektroinstallateur und Träger einer Installationsbewilligung des ESTI war der VU berechtigt, Elektroinstallationsarbeiten im spannungsfreien Zustand selbständig auszuführen.
- **Weiterbildung:** Keine Berechtigung für Arbeiten unter Spannung.

**Handlungen:** Die Arbeitsweise des VU war unvorsichtig und fahrlässig.

Zustände:

- Benachbarte spannungsführende Anlagenteile wurden nicht abgedeckt.
- Der Basisschutz wurde bei der Arbeit nicht eingehalten. (NIN. 1.3.1.2)
- Abschaltzeiten im Kurzschlussfall knapp 5 s



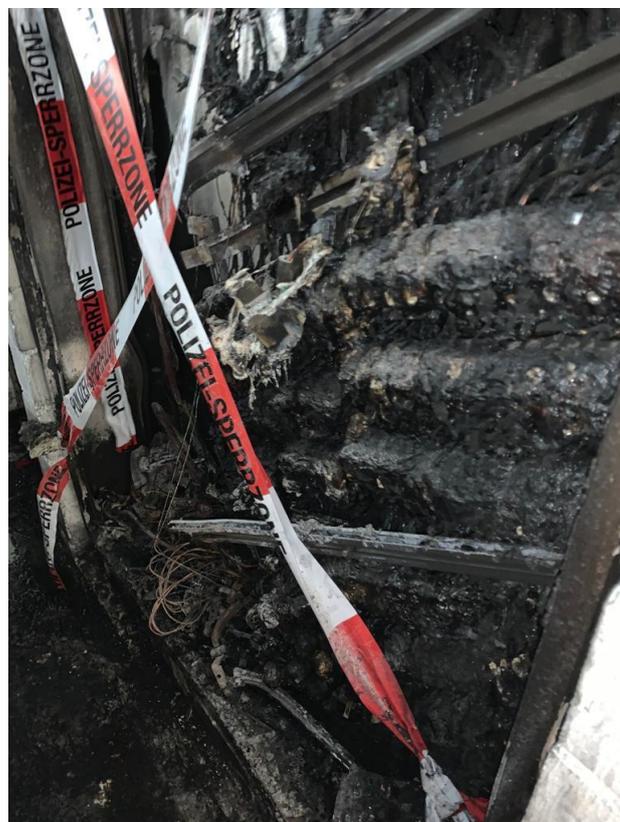
(Bild 3)

Spitzzange mit der der Kurzschluss verursacht wurde



(Bild 4)

Hauptverteilung nach dem Brand  
(Totalschaden)



(Bild 5)

Verkohlte Hauptverteilung, verbrannter PVC.-  
Leitungsschutzschalter mit verbrannten PVC-  
Abdeckplatten.



### Massnahmen zur Vermeidung solcher Unfälle:

1. Konsequente und systematische Anwendung der 5 Sicherheitsregeln für spannungsfreies Arbeiten.
2. Regel 5: Müssen Arbeiten in der Nähe von spannungsführenden Teilen ausgeführt werden, sind die spannungsführenden Teile so abzudecken, damit ein zufälliges Berühren ausgeschlossen werden kann. (Art. 72 Starkstromverordnung / Art. 22 NIV)
3. Werden Arbeiten in der Nähe von spannungsführenden Teilen ausgeführt, so ist immer zwingend eine geeignete persönliche Schutzausrüstung (PSA) zu tragen. (ESTI-Weisung Nr. 407)
4. Konsequente Einhaltung der 5 lebenswichtigen Regeln:
  1. Für klare Aufträge sorgen.
  2. Geeignetes Personal einsetzen.
  3. Sichere Arbeitsmittel verwenden.
  4. Schutzausrüstung tragen.
  5. Nur geprüfte Anlagen in Betrieb nehmen.
5. Die Spannungsfreiheit ist mittels Messgerät gemäss SN EN 61243-3 zu überprüfen.
6. Werden Abdeckungen von Anlagenteilen oder von Schaltgerätekombinationen entfernt, so ist für das Entfernen der Abdeckung immer eine geeignete PSA zu tragen. (ESTI-Weisung Nr. 407)
7. Arbeiten unter Spannung (AuS 2) dürfen nur durch Personen, welche dafür ausgebildet und berechtigt sind, ausgeführt werden. (Art. 76 Starkstromverordnung)
8. Vorgesetzte müssen stets klare Arbeitsaufträge erteilen und es dürfen keine Improvisationen geduldet werden. Vorgesetzte überprüfen regelmässig, ob die lebenswichtigen Regeln eingehalten werden.
9. Risikoanalyse gemäss nachfolgender Betrachtung ist bei Abschaltzeiten im Fehlerfall grösser 0.5 s immer durchzuführen (gemäss **SN EN 61482-1-2 und ESTI 407.0720**).



## Betrachtung der Durchlassenergie in Abhängigkeit der Abschaltzeiten



(Bild 6)

Spitzzange nach dem Kurzschluss

### Risikobetrachtung:

Die Risikoanalyse umfasst folgende Arbeitsschritte:

- Bestimmung des Erwartungswertes der elektrischen Lichtbogenenergie,
- Betrachtung des Lichtbogenschutzpegels der PSA gegen Störlichtbögen,
- Berücksichtigung abweichender Expositionsbedingungen

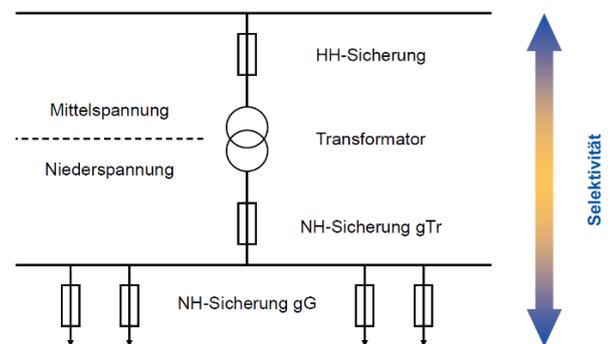
### Berechnung der Durchlassenergie

- $(W = I^2 \cdot t)$
- $2300 \times 0.4 = 2'116'000 \text{ Ws}$   
0.587 kWh
- $2300 \times 1 = 5'290'000 \text{ Ws}$   
1.469 kWh
- $2300 \times 5 = 26'450'000 \text{ Ws}$   
7.347 kWh
- $2300 \times 120 = 634'800'000 \text{ Ws}$   
176.333 kWh

### Abschaltzeit des Anschlussüberstromunterbrechers

Im NS-Bereich liegt man im Allgemeinen im sicheren Bereich, wenn man von einer Strombegrenzung von 50% ausgeht und mit diesem reduzierten Strom die Abschaltzeit aus der Schutzkennlinie bestimmt. Der Strombegrenzungsfaktor beträgt dann  $k_B = 0,5$ ; es folgt  $I_{kLB} = 0,5 \cdot I_{k3min}$

Die Abschaltzeit der Überstromschutz-einrichtung ist nun mit der Kennlinie in Bild 7 und dem ermittelten Lichtbogen Kurzschlussstrom  $I_{kLB}$  zu ermitteln. Dies ergibt bei  $2,3 \text{ kA} = 1.15 \text{ kA}$ , entspricht 2-4 sek.



(Bild 8)

- Abschaltzeit HH Sicherung max. 5 s.

- Abschaltzeit NH – Sicherung gTr max. 1 s oder gemäss Trafokennlinie zum Schutz.

Verweis, siehe ESTI Mitteilung: Nummer 2019-0702 22. Juli 2019 Abschaltbedingungen: Bei einem Erd- oder 2-poligen Kurzschluss auf der Niederspannungsseite von Trafostationen muss die betroffene Anlage, wenn für  $I_{cw}$  nichts anderes angegeben ist, in maximal einer Sekunde (1 s) selbsttätig abgeschaltet werden.



Dies ergibt eine Reduktion der Energie um den Faktor 300 zwischen 0.4 s und 120 s  
Das heisst eine Abschaltung von 0.4 s ist für den Personenschutz immer anzustreben (siehe Bild 7).

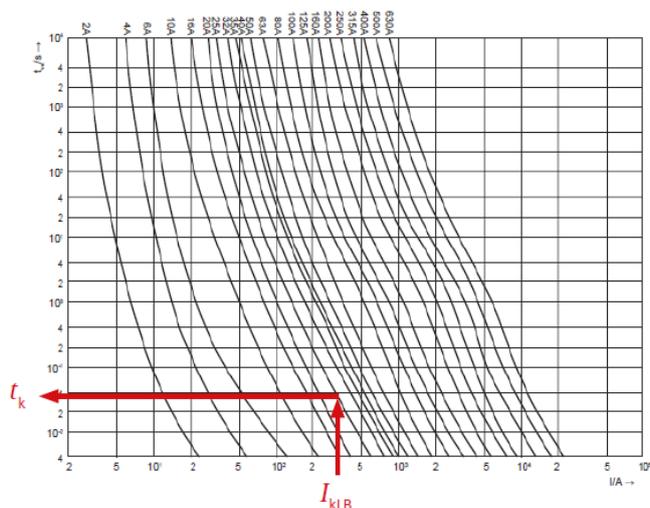
Eine Abschaltung von > 1 s ist nur mit Leitungsschutz zu begründen.

Bei Abschaltzeiten von > 5 s ist die Netzqualität sowie der Spannungsfall nicht eingehalten.

Persönliche Schutzausrüstung gegen die thermischen Auswirkungen eines Störlichtbogens (PSA gegen Störlichtbogen).  
Als Persönliche Schutzausrüstung gegen die thermischen Auswirkungen eines Störlichtbogens (PSAgS) gilt jedes Mittel, das dazu bestimmt ist, von einer Person getragen oder gehalten zu werden und dass diese gegen die thermischen Gefahren eines Störlichtbogens schützen soll.

### PSA-Schutzklassen; SN EN 61482-1-2

Prüfnorm Schutzklassen	Lichtbogenenergie [W]
Schutzklasse 1	168 kJ
Schutzklasse 2	320 kJ



(Bild 7)

Kennlinie Überstromschutzeinrichtung für die Abschaltzeit

- (Hinweis: die Bemessungs-kurzzeitstromfestigkeit  $I_{cw}$  ist im Regelfall für 1 s festgelegt).
- Abschaltzeit NH-Schereung gG  
max. 120 s gemäss  
Starkstromverordnung, empfohlen max. 5 s gemäss NIN
- Abschaltzeit  
Anschlussüberstromunterbrecher  
max. 5 s
- Abschaltzeit Endstromkreise ohne  
Steckvorrichtungen > 63A  
max. 5 s
- Abschaltzeit Endstromkreise mit  
Steckvorrichtungen  
max. 0.4 s
- Abschaltzeit Endstromkreise mit RCD  
max. 0.3 s



### Schlussfolgerungen:

- Abschaltzeiten sind massgebend für den Personen- wie auch Sachenschutz
- 
- Abschaltzeiten sollten 0.4 s bis max. 1 s nicht übersteigen.
- Durchlassenergie bei Abschaltzeit von 120 s um den Faktor 300 grösser als bei Abschaltzeit von 0.4 s
- Abschaltzeiten zwischen 5 s und 120 s erfüllen nur den Leitungsschutz und keinesfalls den Personenschutz.

### Kurzschlussstromberechnung im «Belvoto Berechnungsprogramm» (Bild 9)

#### Gefährdung durch Störlichtbögen (Checkliste)

1. Wurde eine Gefährdungsbeurteilung unter Beachtung der Energie eines potenziellen Lichtbogens durchgeführt (ESTI 407 0720)?
2. Wenden die Mitarbeiter sicher die fünf Sicherheitsregeln an?
3. Ist das Personal über die besonderen Gefahren beim Arbeiten in der Nähe von unter Spannung stehenden Teilen geschult und ist das dokumentiert?
4. Steht den Mitarbeitern die erforderliche PSA gemäss Gefährdungsbeurteilung zur Verfügung?
5. Wird bei den Arbeiten ein ausreichender Abstand zu unter Spannung stehenden Teilen eingehalten?
6. Ist die Schaltanlage berührungssicher ausgeführt und sind Potentialbrücken vermieden worden? IP 2X oder IP 3X
7. Ist der Einsatz flinker Arbeitsschutzsicherungen oder mobiler Lichtbogen-Kurzschliesser (bis IK = 20 kA) möglich?
8. Werden typgeprüfte Schaltanlagen eingesetzt? TSK und PTSK
9. Sind die Schaltanlagen und die eingesetzten Betriebsmittel wartungsarm?
10. Sind die Überstromeinrichtungen geeignet, um einen möglichen Störlichtbogen schnellstmöglich zu unterbrechen? Bis 315 A
11. Für energiereiche Anlagen: Ist der Einsatz einer Lichtbogen erfassung in Verbindung mit einer Kurzschliesseinrichtung möglich? (Störlichtbogenschutzsystem Dehnarc)



Der Kurzschlussstrom verringert sich bis zum Anschlussüberstromunterbrecher ausgangseitig von 16.9 auf 13.9 kA (Beispiel) Schutzkleidung Stufe 2

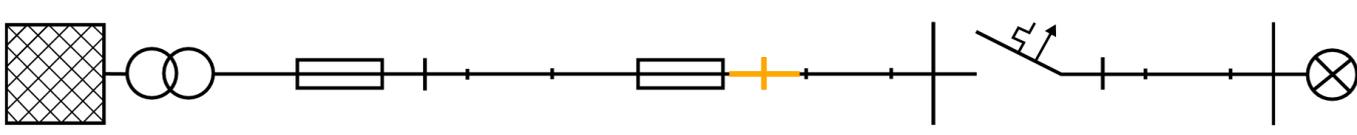
### Belvoto 4 (Bild 9)

PSA



**Schutzkleidung Stufe 2**  
2 x Schutzkleidung Stufe 1  
oder  
1 x Schutzkleidung nach EN 61482-1-2 Klasse 2

Ort 1		Ort 2		NS-HV		Ort 4		UV		Ort 6		Ort 7	
$I_k$	16,9 kA	$I_k$	16,9 kA	$I_k$	16,2 kA	$I_k$	16,2 kA	$I_k$	12,5 kA	$I_k$	12,5 kA	$I_k$	5,17 kA
$I_c$	16,9 kA	$I_c$	16,9 kA	$I_c$	16,2 kA	$I_c$	13,9 kA	$I_c$	12,5 kA	$I_c$	12,5 kA	$I_c$	5,17 kA
PSA	Stufe 3	PSA	Stufe 3	PSA	Stufe 3	PSA	Stufe 2	PSA	Stufe 2	PSA	Stufe 2	PSA	Stufe 1



Netz	Trafo	Schutz 1		Leitung 1		Schutz 2		Leitung 2		Schutz 3		Leitung 3			
c	1,1	630 kVA	Bau	NH	S	240 mm <sup>2</sup>	Bau	NH	S	240 mm <sup>2</sup>	Bau	LS	S	25 mm <sup>2</sup>	
		$u_k$	6 %	Char	gG	mehradrig	Char	gG	mehradrig	Char	C	mehradrig			
		$P_{ov}$	6 750 W	$I_n$	630 A	T	90 °C	$I_n$	160 A	T	70 °C	$I_n$	80 A	T	70 °C
		$U_n$	400 V			I	10 m (x2)			I	50 m			I	50 m

**Kurzschlussstrom**  
 $I_K = 16.9 \text{ kA}$

**Kurzschlussstrom**  
 $I_K = 13.9 \text{ kA}$



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI**  
**Inspection fédérale des installations à courant fort ESTI**  
**Ispettorato federale degli impianti a corrente forte ESTI**  
**Inspecturat federal d'installaziuns a current ferm ESTI**

Daniel Otti, Geschäftsführer ESTI  
André Moser, Techn. Experte / Sicherheitsbeauftragter

Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI  
Luppenstrasse 1, 8320 Fehraltorf  
Tel. +41 58 595 18 18  
[info@esti.admin.ch](mailto:info@esti.admin.ch)  
[www.esti.admin.ch](http://www.esti.admin.ch)