ETAPPEN DER INNOVATION – DEM LICHTBOGEN AUF DER SPUR

Während ein Lichtbogen in den Anfängen der Elektrizität bewusst ausgenutzt wurde, wird er mit steigender Kurzschlussleistung zur Gefahr für Mensch und Anlage. Ging es zunächst um die Löschung durch Primärschaltelemente, sind es heute vor allem modulare oder in Schutzgeräten integrierte Lichtbogenschutzeinrichtungen, die in Millisekunden Auslösebefehle absetzen und so maßgeblich zur Sicherheit beitragen.

NUTZUNG DES LICHTBOGENS

Grundversuche sowohl zur Glühlampe als auch zur Bogenlampe demonstrierte *Humphrey Davy* (UK) 1812 in der Royal Institution in London. Er zeigte einen 3 Zoll (76 mm) langen Lichtbogen. Für die elektrische Beleuchtung wird der Lichtbogen in den 1840er-Jahren verwendet. Dazu wurden Kohlenstäbe aneinandergestoßen und dann 2 bis 3 mm zurückgezogen, um einen Lichtbogen zu zünden. [1] Abb. 1 zeigt die Steuerung einer Lichtbogenlampe. [2] Um Wartungsarbeiten durchführen zu können, wurde der Schalter geschlossen und der Lichtbogen verlöschte.

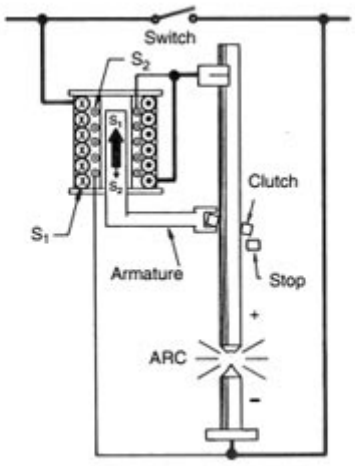

Abb. 1 Steuerung bei Lichtbogenlampe

LICHTBÖGEN BEI SCHALTHANDLUNGEN

Ein Problem der ersten Stunde war und ist bis heute der bei der Unterbrechung eines Last-, Erd- oder Kurzschlussstromes auftretende Lichtbogen. Zur elektrischen Trennung von Betriebsmitteln dienten zunächst meistens herausnehmbare Röhrensicherungen. Die etwa 1895 von *C. E. L. Brown* entwickelte Patrone war ein mit Schutzwülsten versehenes Porzellanrohr, an dem beidseitig Kontakte angeschellt waren. Das Rohr war durchgehend offen, nur mit einem Asbestrohr ausgekleidet und darin war der Schmelzdraht frei ausgespannt. Beim Abschmelzen puffte das Rohr nach beiden Seiten aus. [3]

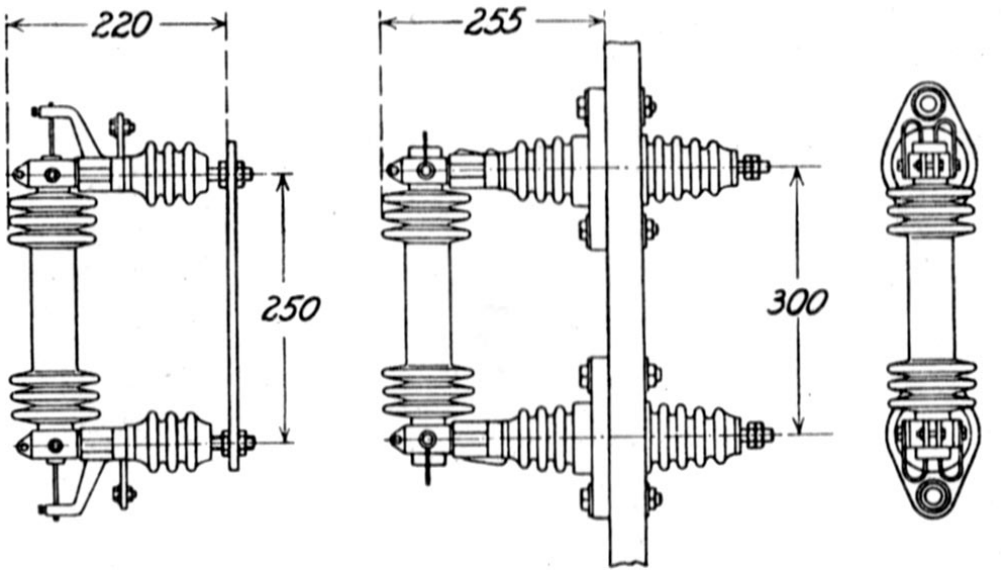

Abb. 2 Röhrensicherung, *Brown*, etwa 1895

Als Überspannungsschutz bei Freileitungen erfand *Ernst Oelschläger*, S & H, 1895 den Hörnerblitzableiter – siehe Abb. 3. Die gegenüberstehenden Drähte sind an der engsten Stelle nur wenige Millimeter voneinander entfernt. Kommt es bei einer Überspannung zu einem Lichtbogenüberschlag zwischen Leitung und Erde, so wandert er an den beiden Drähten in die Höhe. Dabei wird er durch die Gestaltung der Drähte immer weiter auseinandergezogen, bis er erlischt.

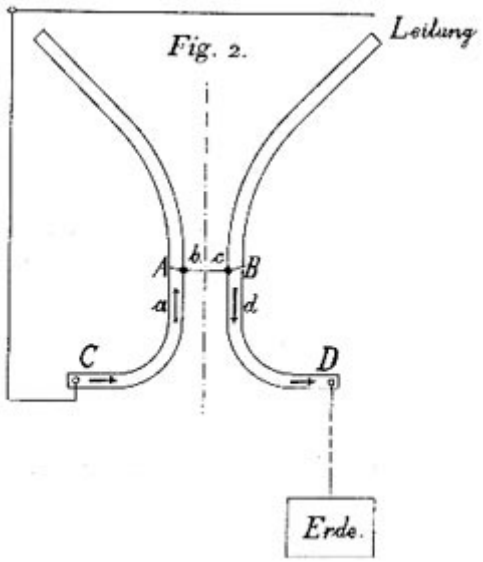

Abb. 3 Hörnerblitzableiter, *Oelschläger*, S & H, 1895

Der Gedanke, die Hörnerwirkung auch bei Schaltgeräten einzusetzen, wurde einige Jahre später beim Hörnerschalter von V & H – siehe Abb. 4 – sowie BBC, C. Sprecher und Schuckert, verwirklicht. [4]

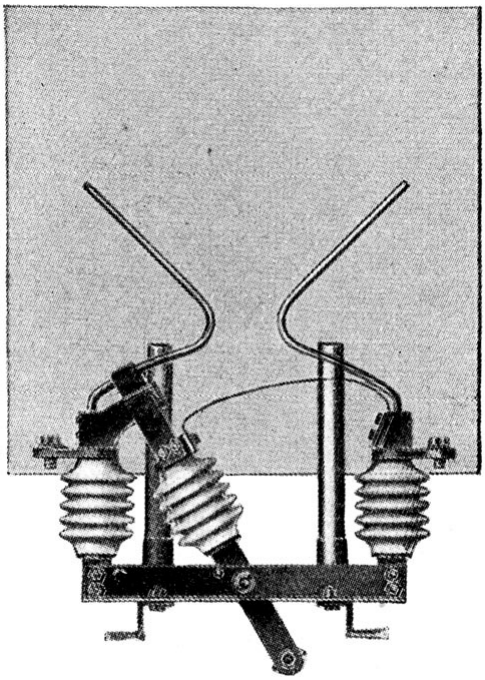

Abb. 4 Hörnerschalter, V & H, 1902

Zur Vermeidung des Entstehens von Lichtbögen bei der Betätigung von Trennern unter Last in Abb. 5 [5] wurden Verriegelungen eingeführt bzw. Sammelschienentrennschalter durch Lasttrenner ersetzt.

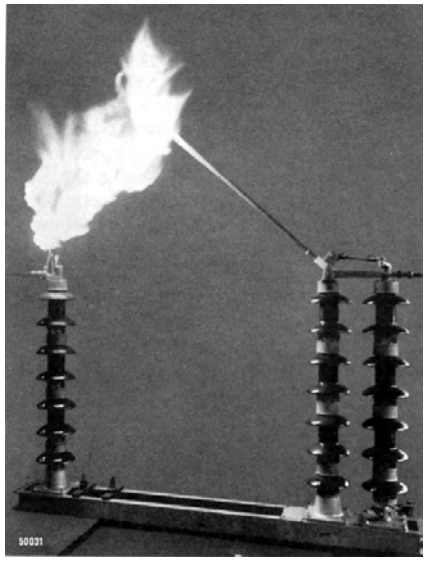

Abb. 5 Öffnen eines Trenners unter Last

ETAPPEN DER INNOVATION – DEM LICHTBOGEN AUF DER SPUR

Bei der Einführung von hohen Spannungen und der Entwicklung von Hochspannungs-Schalteinrichtungen bereiteten die Leistungsschalter die größten Schwierigkeiten. Hatte man den Versuch gemacht, die Schalter in den von der Niederspannungspraxis her bekannten Form zu übernehmen, so wären selbst meterlange Schaltwege nicht ausreichend gewesen, um den Schaltlichtbogen von einigen hundert Ampere bei 6–10 kV zum Erlöschen zu bringen und damit die Abschaltung eines Stromkreises zu bewirken. Der Lichtbogen ist in Luft sehr beweglich, sodass schon der geringste Luftstrom genügt, um einen Kurz- oder Erdschluss einzuleiten. In Amerika benutzte man vor 1900 einpolige Schaltmesser in Abb. 6 [3], die in senkrechter Lage auf zwei in Marmorplatten befestigten Durchführungsisolatoren angebracht waren. Diese Messer, am unteren Isolator drehbar, machten am oberen Durchführungsisolator Kontakt. Ein solcher Schalter, bei dem die einzelnen Phasen durch Marmorzwischenwände getrennt waren, brauchte für den beim Ausschalten unter Strom entstehenden Lichtbogen einen sehr hohen Raum – siehe Abb. 7. [7]

Man erkannte aber auch bald die Vorteile des Eintauchens der Trennkontakte in Öl. Bei den nach dem Prinzip der Phasentrennung gebauten Schaltanlagen ergab sich die Verwendung von einpoligen Schaltern, von denen bei Drehstromanlagen drei Elemente mechanisch miteinander gekoppelt wurden, von selbst.

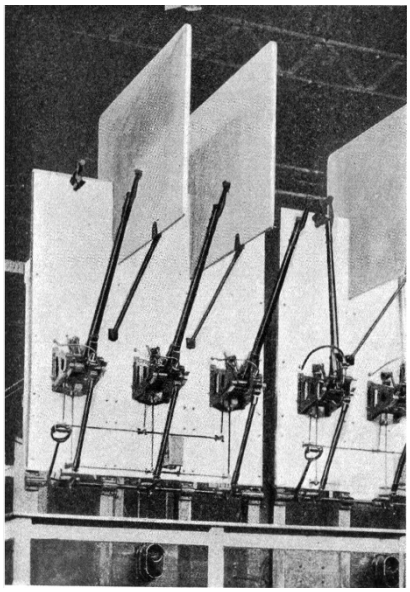

Abb. 6 Luftschalter, Westinghouse, etwa 1899

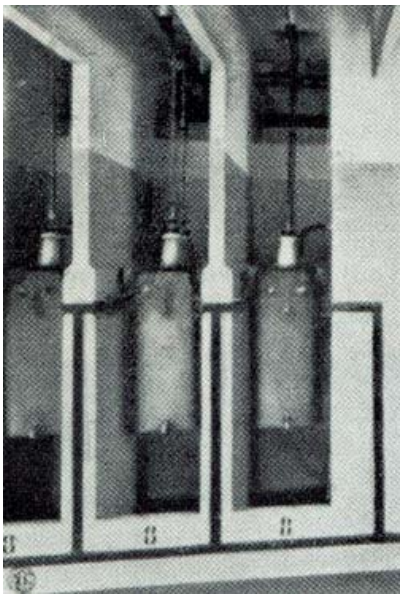

Abb. 7 Einpoliger Ölschalter

TRANSIENTE ÜBERSPANNUNGEN (TÜ)

Auch geringe Lichtbogenströme, wie sie z. B. beim Betätigen von Trennschaltern auftreten, führen zu Problemen. 1958 beobachtet *K. Berger*, Zürich, bei einem schweizerischen Elektrizitätswerk Transiente Überspannungen in Sekundärleitungen beim Schalten mit Trennern in einer 220-kV-Anlage. [29] Abb.8 zeigt den Lichtbogen am vorderen Pol eines 110-kV-SS-Trenners.

Vom Arbeitsausschuss „Relais- und Schutztechnik“ des VDEW wird 1971 unter Hinzuziehung der Forschungsgemeinschaft für Hochspannungs- und Hochstromtechnik e.V. (FGH) ein Arbeitskreis zur Klärung aller mit Transienten Überspannungen in Zusammenhang stehenden Fragen ins Leben gerufen. In den herausgegebenen Empfehlungen werden Maßnahmen, wie Verbesserung des Erdungssystems, Abschirmung von Steuerkabeln, Diodenbeschaltung, aufgezeigt. [29]

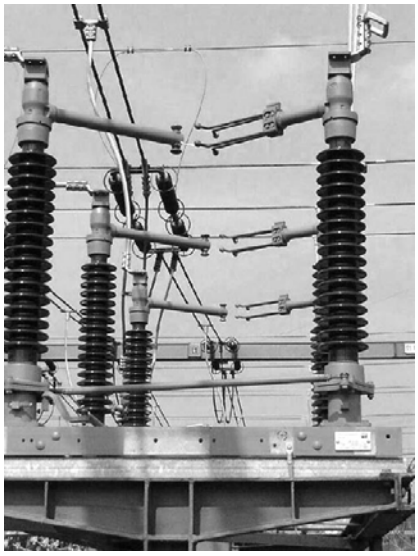

Abb. 8 Lichtbogen beim Schließen eines 110-kV-SS-Trenners

LICHTBOGENLÖSCHUNG

Da die Entstehung von Lichtbögen nicht immer verhindert werden kann, wurden Lösungen entwickelt, die die Auswirkungen verringern.

In Anlehnung an eine US-amerikanische Praxis des sogenannten „arcing ground suppressors“ werden 1916 an Leiter-Erde geschalteten Spannungswandlern Nullspannungsrelais angeschlossen. Diese überbrücken mittels eines einpoligen Ölkesselschalters den erdschlussbehafteten Leiter im Kraftwerk gegen Erde, sodass dem Lichtbogen die Energie entzogen wird. Sobald der Ölschalter seine Hauptbahn geschlossen hat, erteilt ein paralleler Kontakt einen Aus-Befehl. Besteht nun der Erdschluss immer noch, wird er wieder eingeschaltet und bleibt in dieser Stellung – siehe Abb.9. [6]

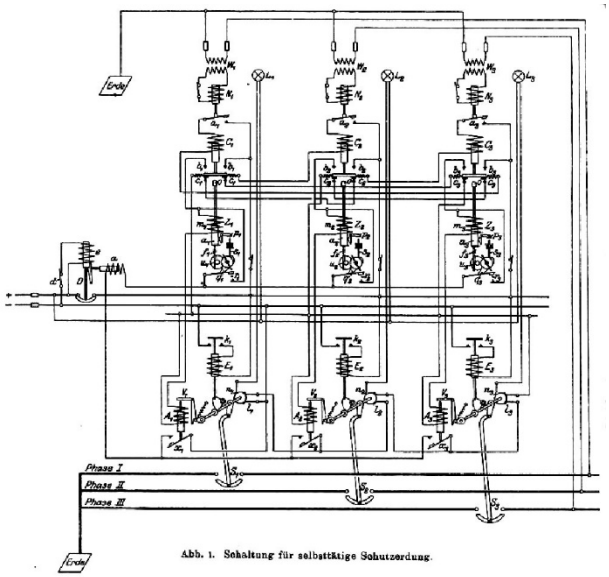

Abb. 9 Schutzerdungseinrichtung, 1916

Praktisch durchgesetzt hat sich im deutschsprachigem Raum, zur Löschung des Erdschlusslichtbogens eine induktive Erdschlussspule – die 1917 von *Waldemar Petersen* vorgeschlagene und nach ihm benannte Petersenspule – einzusetzen.

Als Maßnahme zur Begrenzung des Kurzschlussstromes machen *E. Marx* u. *L. Schmitz*, CALOR-EMAG, 1955 Vorschläge zur Stosskurzschlussstrombegrenzung. Im Jahre 1959 fertigt CALOR-EMAG den I_S-Begrenzer [20] das schnellste Schaltgerät der Welt, welches den ansteigenden Kurzschlussstrom bereits nach etwa 0,5 ms begrenzt - siehe hierzu auch „Ursachen, Auswirkungen und Maßnahmen“

Mit dem ultraschnellen Erdungsschalter vom Typ UFES auf der Mittelspannungsebene werden seit 2010 neue Maßstäbe in Sachen Schaltgeschwindigkeit gesetzt. [8] Angetrieben durch einen Mikro-Gasgenerator – ähnlich dem Funktionsprinzip, nach dem auch Airbags in Kraftfahrzeugen ihre lebensrettende Wirkung entfalten –, benötigt das UFES-Primärschaltelement (PSE) weniger als 1,5 ms für den schützenden Schaltvorgang. Die PSE werden in kürzester Zeit durch die UFES-Elektronik ausgelöst, die den Störlichtbogenfehler über die Fehlerkriterien Überstrom und Licht erfasst. Nach der elektronischen Ansteuerung erzeugt der Mikro-Gasgenerator einen schlagartigen Druckanstieg innerhalb des ihn umgebenden Volumens im Antriebskolben und treibt diesen samt beweglichem Kontakt über die Schaltstrecke in die Festkontaktseite – siehe Abb. 10. Die PSE stellen eine 3-phasige Kurzschlusserdung her und sorgen gemeinsam mit der schnellen Elektronik dafür, dass der UFES einen Störlichtbogen in weniger als 4 ms nach seiner Erfassung löscht – das ist Weltrekord in der Mittelspannung.

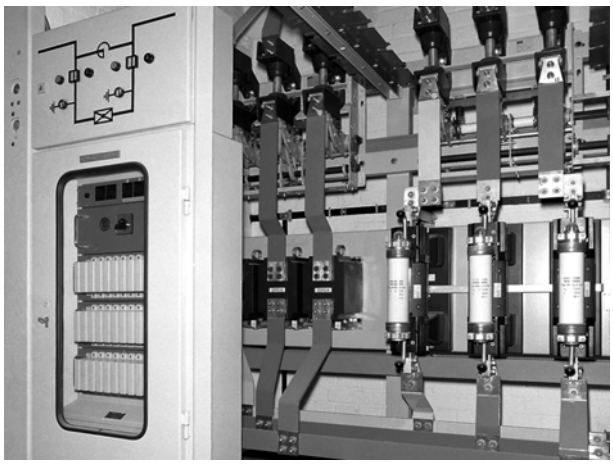

Abb. 10 UFES Schnittzeichnung

SCHALTANLAGEN

Mit dem Ansteigen der Kurzschlussleistung ist die Gefahr für das Kontroll- bzw. Bedienungspersonal beim Auftreten von Lichtbögen bei Betriebsmittelstörungen oder Fehlbedienungen angestiegen. In der Schaltanlagenfibel von 1964 [13] werden die Auswirkungen von Lichtbögen ausführlich behandelt und Maßnahmen vorgeschlagen. Abb. 11 zeigt diese bei einem Kurzschluss unterhalb des Leistungsschalters und Abb. 12 die Gefährdungszonen bei offenen Anlagen.

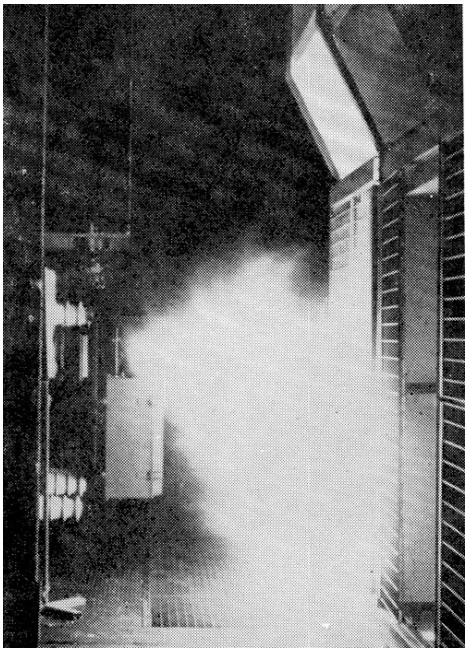

Abb. 11 Kurzschluss unterhalb des Leistungsschalters
1 und *2* Gefährdungszonen bei Kurzschluss im Trenner- bzw. Leistungsschalterraum
3 und *4* Gitter- und Stahlblechtür
5 Druckleitfenster
6 Entlastungskamin
oben: Kontrollgang mit Drahtgittertür
unten: Kontrollgang mit Blechtür, SS-Trennerraum mit Druckleitfenstern

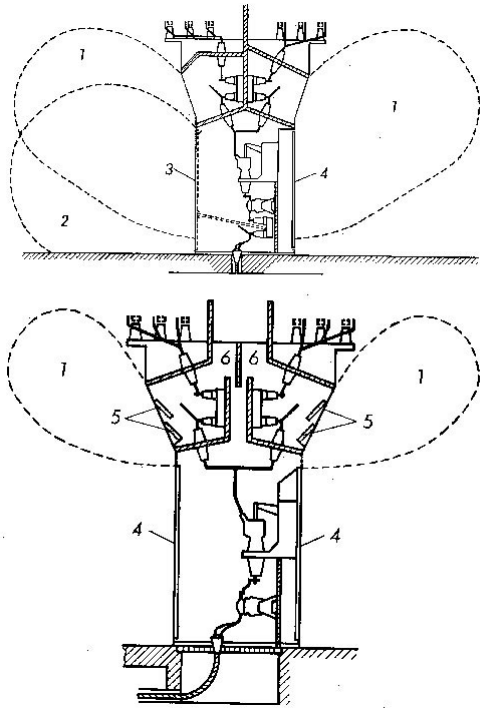

Abb. 12 Gefährdungszonen bei offenen Anlagen

Besondere Beachtung der Lichtbogenauswirkungen wurde der Fertigung gekapselter Schaltzellen geschenkt.

Am 22.6.1961 erfolgte die Unterzeichnung der „Vereinbarung über die Vereinheitlichung gekapselter Hochspannungsschaltanlagen bis 30 kV“ durch VDEW, V.I.K. und ZVEI. [14] Auszüge betreffs Lichtbogenschutz und Verriegelung sind:

4. Konstruktion

4.1 Lichtbogenschutz

Ein Fehler in einem Feld darf sich auf das Nachbarfeld nicht auswirken. Auch bei Lichtbogenkurzschlüssen im Leistungsschalter- oder Kabelendverschlußraum sollen die durchgehenden Sammelschienen ungestört bleiben, so daß der Betrieb über dieses Feld hinweg nach kürzester Zeit weitergeführt werden kann. Kurze Betriebsunterbrechung, z. B. zum Abklemmen der Sammelschienenverbindung zu den Einfahrkontakten, ist zulässig.
Die Sammelschienenräume sind deshalb gegen das zugehörige Feld zu schotten. Bei isolierten Sammelschienen kann auf diese Schottung verzichtet werden, wenn die Sammelschienen gegen die benachbarten Felder geschottet sind. Der Kabelendverschlußraum muß gegen das zugehörige Feld geschottet sein. Auf diese Schottung kann verzichtet werden, wenn verhindert ist, daß ein dort entstandener Lichtbogen an anderer Stelle neu zündet.

4.6 Verriegelungen

Das Schalten der Schaltgeräte darf nur in den Endstellungen des Schaltwagens (Betriebs- oder Trennstellung) möglich sein. Das Ein- und Ausfahren des Schaltwagens bei eingeschaltetem Schaltgerät muß durch die mechanische Verriegelung verhindert sein. Bei Einbau eines Erdungsschalters muß dieser gegen die Stellung des Schaltwagens verriegelt werden.

Im Zeitraum 1930 bis 1940 fanden zwischen Vertretern von Schaltanlageherstellern Besprechungen mit dem Ziel einer Zusammenarbeit der Hochspannungs-Prüffelder auf nationaler Basis und später auch in einem internationalen Rahmen statt. Im Februar/März 1960 wurde die PEHLA (**P**rüfung **E**lektrischer **H**och-**L**eistungs-**A**pparate) als Vereinigung der Hochleistungsprüffelder Deutschlands und der Schweiz durch AEG, CALOR-EMAG, Conti Elektro Voigt & Haeffner und Siemens gegründet. [15]

Die von PEHLA 1969 herausgegebene Richtlinie Nr. 2 ermöglichte es erstmalig, in den PEHLA-Hochspannungsprüffeldern metallgekapselte Schaltanlagen auf das Verhalten bei inneren Lichtbögen nach einheitlichen Gesichtspunkten zu prüfen und das Ergebnis zu bewerten. So wurde die PEHLA-Richtlinie Nr. 2 in der Fassung von 1974 Grundlage zur Erstellung der Amendments No. 2 zu den IEC-Publikationen 289/1969 und 466/1974, die sich mit der Prüfung gekapselter Hochspannungsschaltanlagen bei inneren Lichtbögen befassen.

Eine Prüfung gilt danach als erfüllt, wenn

- Kriterium 1 – ordnungsgemäß verschlossene bzw. verriegelte Türen, Blenden usw. sich nicht öffnen.
- Kriterium 2 – Teile der gekapselten Schaltanlage, durch die Personen gefährdet werden können, nicht wegfliegen.
- Kriterium 3 – an den äußeren frei zugänglichen Abschlusswänden unter der Lichtbogeneinwirkung keine Löcher durch Einbrennen oder Aufreißen entstehen.

- Kriterium 4 bzw. 5 – senkrecht angeordnete Indikatoren (Abb. 13 – Fahnentuch aus Baumwolle) sich nicht entzünden.

Die in PEHLA-Richtlinie Nr. 4 enthaltenen Forderungen sind nunmehr in IEC 62271-200 (DIN EN 62271-200) bzw …-203 eingearbeitet. [16]

Bei den Angaben auf dem Leistungsschild gekapselter Schaltzellen war zunächst nur die Bemessungs-Kurzdauer t_K üblich, was häufig zu Missverständnissen führte. Bei Mittelspannungsanlagen findet man jetzt zusätzlich die Angabe der Störlichtbogenqualifikation IAC – siehe Abb. 14. Die Prüfdauer beträgt 1 s. Eine Umrechnung der zulässigen Einwirkzeit bei kleineren Kurzschlussströmen ist für den innenliegenden Fehler nicht gestattet. Das bedeutet, dass bei Fehlerklärungszeiten durch den Leitungsschutz von > 1 s ein Anlagenschutz erforderlich wird. Bei GIS-Anlagen > 52 kV fehlt leider auf dem Leistungsschild die Angabe der Störlichtbogenqualifikation. Hier gelten bei Anlagen < 40 kA Fehlerklärungszeiten von max. 0,2 s für den Haupt- und 0,5 s für den Reserveschutz. [17]

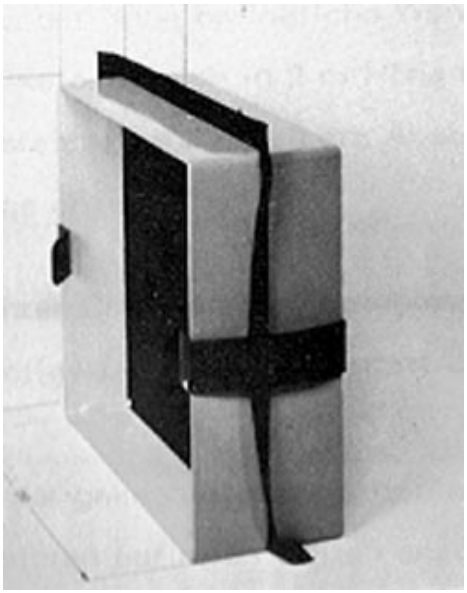

Abb. 13 Indikator

Abb. 14 Leistungsschild NXPLUS C, Siemens

Die eingerahmten Angaben bedeuten:
t_k = 3 s Bemessungs-Kurzdauer 3 s, gilt für außenliegende Fehler

IAC A FLR 20kA 1 s

Klassifikation „IAC“ (Internal Arc Classified)-Schaltanlagen, die definierte Bewertungsmerkmale für den Schutz von Personen im Falle eines internen Lichtbogens erfüllen,
Zugänglichkeitsgrad „A“ nur für Fachpersonal ,
ei der Prüfung angebrachte Indikatoren: „F“ (Front) an Vorderseite, „L“ (Lateral) an Seitenflächen, „R“ (Rearan) an Rückseite,
Prüfstromstärke (Effektivwert) 20 kA und -dauer 1 s

ANLAGENSCHUTZ

Die magnetischen Stromkräfte werden durch das magnetische Eigenfeld des Stromes zum Lichtbogen hervorgerufen. Sie wachsen quadratisch mit der Stromstärke an und sind stets so gerichtet, dass sie den Lichtbogen von der Stromeinspeisestelle weg zu Orten geringster magnetischer Induktion treiben. [18]

Fehler in der Schaltanlage selbst werden zunächst durch den Leitungsschutz in der Gegenstation erfasst und abgeschaltet. Zur Verringerung der Fehlerklärungszeit setzt man einen anlageneigenen Sammelschienenschutz ein. Abb. 15 zeigt das Ergebnis von Kurzschlussversuchen bei der KEMA ohne und mit SS-Schutz im Jahre 1969. [19]

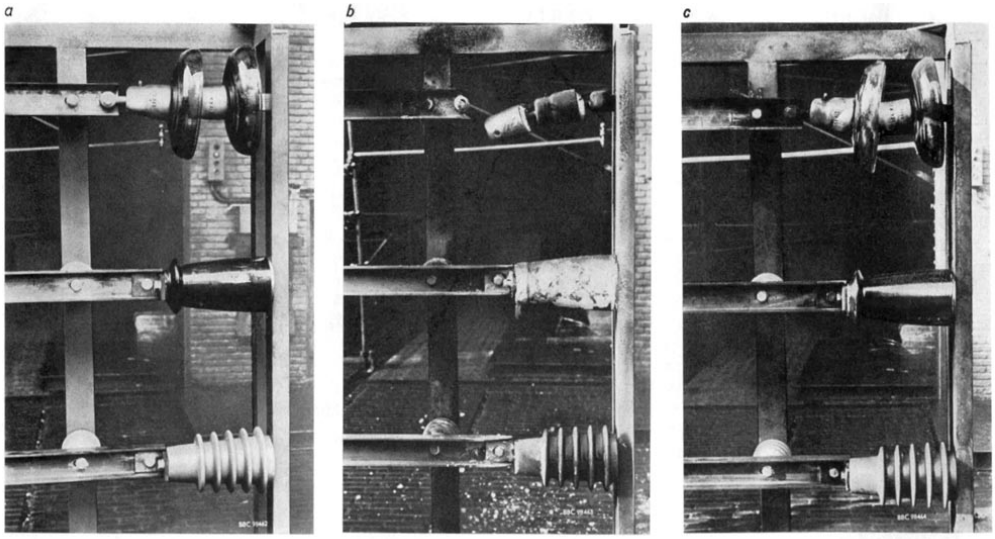

Bild 5: Auswirkung von Lichtbogenkurzschlüssen ohne und mit elektronischem Sammelschienenschutz

Bei den KEMA-Versuchen mit 60 kA waren drei verschiedene Isolatoren eingebaut.

a) Sammelschiene vor den Kurzschlußversuchen

b) Sammelschiene nach dem Lichtbogenkurzschluß, der ohne Sammelschienenschutz nach 0,7 s abgeschaltet wurde

c) Sammelschiene nach dem Lichtbogenkurzschluß, der mit der elektronischen Sammelschienenschutzeinrichtung abgeschaltet wurde (Gesamtausschaltzeit Schutz + Leistungsschalter 0,07 s)

Abb. 15 Auswirkungen von Lichtbogenfehlern ohne und mit SS-Schutz

DISTANZSCHUTZ

Kurz nach der Einführung des Distanzschutzes weist *Prof. Josef Biermanns*, AEG, auf einen Messfehler durch Lichtbogeneinfluss hin. Beim elektromechanischen Distanzschutz wird die Fehlerimpedanz $Z = U/I$ ermittelt. Ein Lichtbogenfehler führt damit zu einer Impedanzvergrößerung. Die Größe des Lichtbogenwiderstandes wurde durch Messungen an Lichtbogenstrecken und durch Netzversuche abgeschätzt. Angaben hierzu machte *Dr. Michael Walter*, AEG, 1933. [8] In erster Näherung kann angenommen werden, dass die Lichtbogenspannung stromunabhängig ist und bei etwa 2000 bis 2500 V pro Meter Lichtbogenlänge liegt. Als Standardwert gilt:

U_{Libo} = 2500 V/m.

Albert Russell van Cortlandt Warrington, EEC/GEC, berücksichtigt 1962 in der nach ihm benannten „Warrington-Formel“ [9] die Stromabhängigkeit der Lichtbogenspannung:

$$R_{\text{Libo}} = \frac{28700 \cdot I_{\text{Libo}}}{I_{\text{Libo}}^{1,4}}$$

Der Lichtbogenwiderstand kann unter Umständen sehr groß werden. *Dr.-Ing. Fritz Kesselring*, Siemens, stellt 1930 die Lichtbogenspannung und den Lichtbogenwiderstand eines 100-kV-Netzes in Abhängigkeit vom Lichtbogenstrom und der Fehlereinwirkzeit dar – siehe Abb. 16. [10]

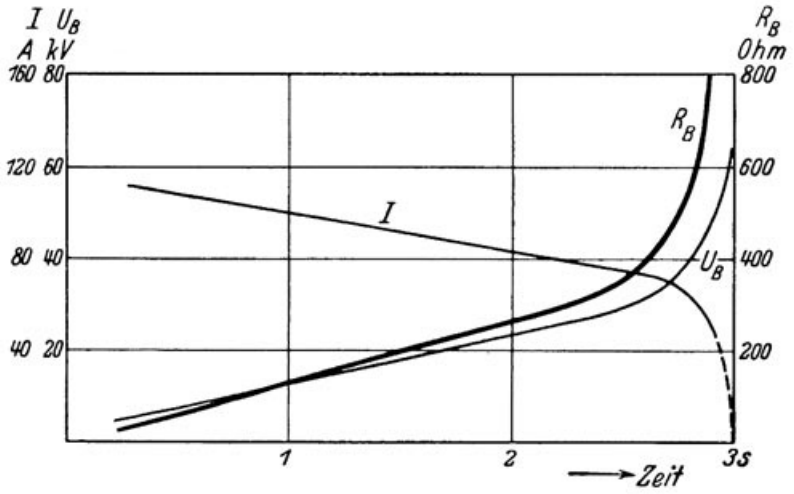

Abb. 16 Lichtbogenwiderstand und -spannung in Abhängigkeit von Strom und Zeit im 100-kV-Netz

In Abb. 17 zeigt *2* den eingestellten Zonenmessbereich Z_E (z. B. Z_1 und t_1). Obwohl die Fehlerstelle mit *Z* innerhalb der Zone liegt, kommt es durch den Lichtbogeneinfluss R_L mit Z_K zu einer Messung in einer größeren Zone (z. B. Z_2 und t_2) und damit zu einer größeren Auslösekommandozeit. Um dies zu vermeiden, wurde eine Mischimpedanzmessung eingeführt, welche die Ortskurve *1* auf der r-Achse verschob. Damit wurde eine Lichtbogenkompensation im Kipppunkt von 60 % erreicht. Die erste Realisierung der Mischimpedanzmessung erfolgt beim SD4-Relais, AEG, im Jahre 1944 – siehe Abb. 18. [11] Mit der Einführung der Digitaltechnik kann, durch Orientierung der Fehlermessung an *X*, jeder beliebige Lichtbogenwiderstand bei den Zoneneinstellungen berücksichtigt werden.

Eine weitere Möglichkeit, den Lichtbogeneinfluss beim Distanzschutz zu umgehen, stellt der 1928 eingeführte Reaktanzschutz dar. Wegen des großen induktiven Widerstandes bei Freileitungen kam er im Hochspannungs-Freileitungsnetz zum Einsatz. Der Nachteil des Reaktanzschutzes ist, dass er zu Fehlverhalten bei Pendelungen im Netz neigt.

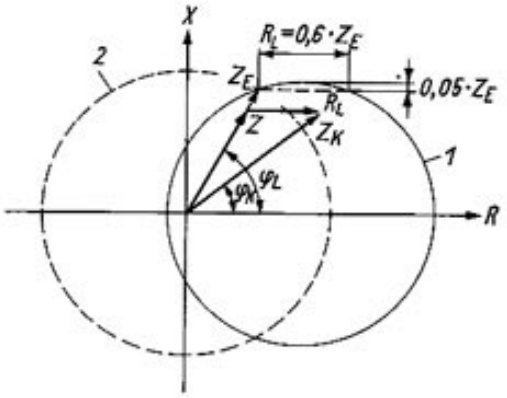

Abb. 17 Wirkung Mischimpedanzglied

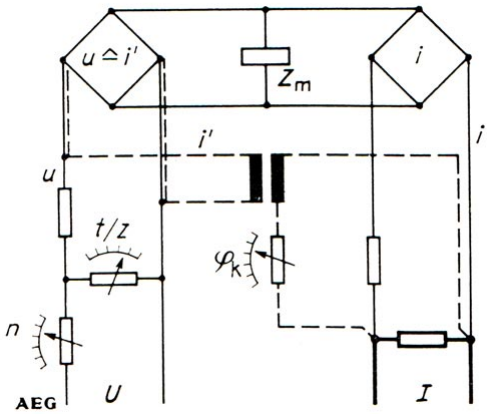

Abb. 18 Mischimpedanz beim SD4, AEG, 1944

LICHTBOGENÜBERWACHUNG

Am 30.6.1963 wird *Adrian Werner Roth*, Rombach (Aargau, CH), Sprecher & Schuh AG, das Patent CH 370158 „Vorrichtung zum Schutz zur Lichtbogenwirkung in einer Starkstromanlage“ erteilt. In Abb. 19 ist *1* eine Photozelle, welche über einen Verstärker und eventuell Differentiator *7* auf ein Relais *8* einwirkt; die verwendete lichtempfindliche Zelle kann auf dem Prinzip der Widerstandsänderung, der photoelektrischen Spannung oder einer Sperrschichtwirkung beruhen. Das Relais *8* gibt dann den Auslösebefehl an alle Leistungsschalter.

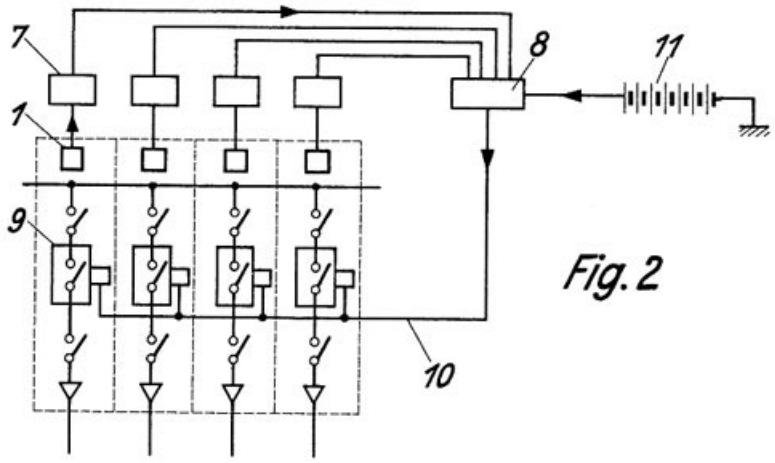

Abb. 19 Lichtbogenerfassung, *Roth*, 1963

1969 fertigt Sprecher & Schuh das elektronische Lichtbogen-Überwachungsrelais ERW. Dieses für Hoch- und Mittelspannung geeignete Gerät verzichtet auf Signale von Strom- und Spannungswandlern, indem es direkt die Helligkeit eines auftretenden Lichtbogens erfasst. Damit wird in der selbst in elektronischen Schutzrelais unerreichten Eigenzeit von einer Millisekunde eine Kurzschlussabschaltung eingeleitet. Durch ein zusätzliches Speisegerät benötigt es keine Gleichstrombatterie und kann durch einen eingebauten, unbegrenzt lagerfähigen Akkumulator selbst nach einem vielstündigen Netzausfall mehrere Abschaltungen einleiten. [12]

Mit der Entwicklung der luftisolierten metallgekapselten Mittelspannungsschaltzellen CSI1-10 beim Starkstromanlagenbau Erfurt im Jahre 1970 und später „Otto Buchwitz“ Starkstrom-Anlagenbau Dresden (OBSAD) entstand ein auf Druckwelle reagierender Klappenschutz. [21] Der Sammelschienen- und der Geräteraum sind gesonderte Schottungsräume – siehe Abb. 20. Die Abdeckung besteht aus zwei Klappen *3*, die beim Öffnen einen Stößeltaster (micro switch) betätigen. Um bei mechanischen Erschütterungen (z. B. Leistungsschalterbetätigung) ein Fehlansprechen zu vermeiden, sind die Klappen mit Plasteschrauben bzw. Blechstreifen gesichert, die dann bei Druckanstieg abscheren bzw. aufbiegen.

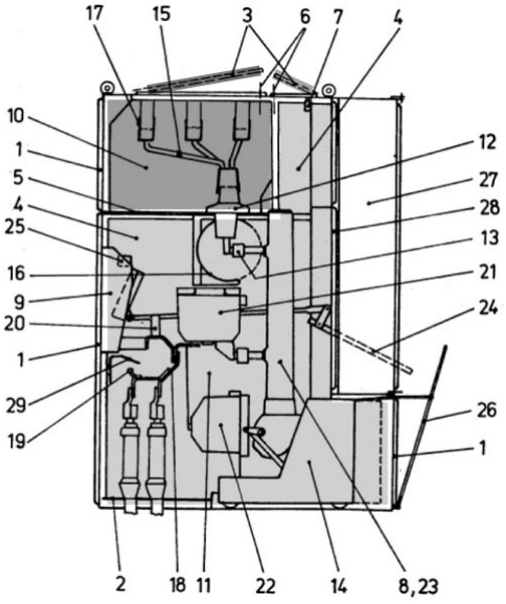

Abb. 20 CSI-Schaltzelle, OBSAD, 1970

Abb. 21 zeigt die Auslösefunktion bei den verschiedenen Fehlerorten. Bei einem Fehler im SS-Raum lösen die Leistungsschalter der Zuleitungszellen und der Kupplung aus. Ebenso bei einem Fehler im Geräteraum. Um eine weitere Speisung des Lichtbogens durch die Gegenstation zu vermeiden, wird zusätzlich in der fehlerbehafteten ELB-Z-Zelle der mit einem Federspeicher versehene Erdungstrenner geschlossen. Damit wird dem Lichtbogen die Energie entzogen und der Schutz in der Gegenstation kommt zur Auslösung. Zum Ansprechen des Klappenschutzes ist ein Mindestkurzschlussstrom von 2 kA erforderlich.

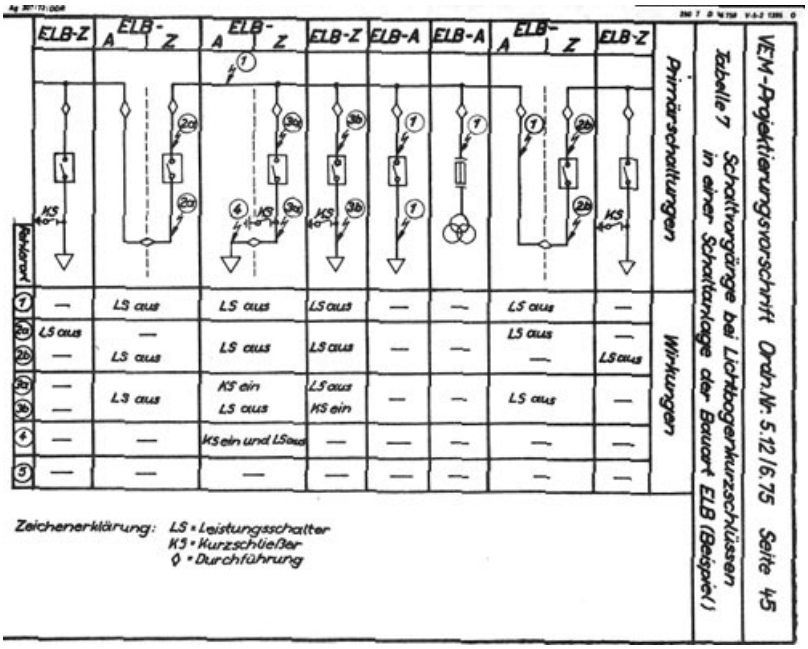

Abb. 21 Funktion des Klappenschutzes, OBSAD, 1970

ELB-A **E**rhöhte **L**icht-**B**ogensicherheit, **A**bgang ohne Fehlerstromspeisung

ELB-Z **E**rhöhte **L**icht-**B**ogensicherheit, **Z**uleitung

ETAPPEN DER INNOVATION – DEM LICHTBOGEN AUF DER SPUR

Für feststoffisolierte Anlagen (z. B. ASIF36 für 36 kV) und gasisolierte Schaltanlagen entwickelte OBSAD 1975 eine Anlagenschutzschaltung, bei der die Schaltanlage von der Stationserde isoliert ist (Abb. 22 und Abb. 23) und über einen Niederspannungswandler geerdet wird. [22] Zeitgleich kommt eine analoge Lösung bei der gasisolierten Schaltanlage GSAS für 123 kV beim Transformatorenwerk Oberschöneweide (TRO) zur Anwendung.

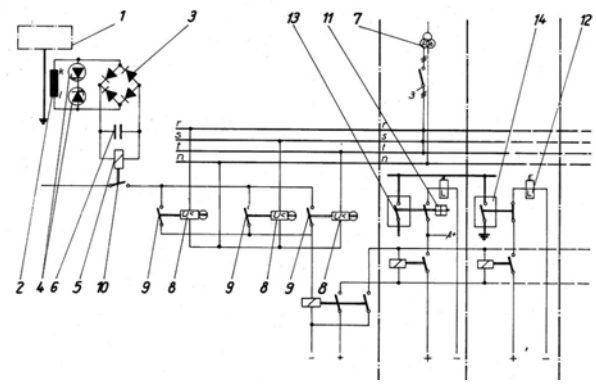

Abb. 22 Gestellschlussschutz, OBSAD, 1970

Abb. 23 Isolierte Aufstellung bei ASIF36, OBSADf

Mit der Entwicklung der CSIM3-12, OBSAD, im Jahre 1977 wird ein photooptischer Anlagenschutz realisiert, der bereits beim Erdschlusslichtbogen reagiert. Eine integrierte Prüfschaltung ermöglicht eine Funktionsprüfung während des Betriebes. [23]

1989 fertigt AEG Sachsenwerk das Lichtbogenwächtersystem LBW – siehe Abb. 24. [24] Die beim Auftreten eines Lichtbogens emittierte Strahlung wird von einem Sensor FG12C erfasst, der ein entsprechendes elektrisches Signal an den Lichtbogenwächter LBW11 abgibt. Im Lichtbogenwächter wird das Signal verstärkt, bewertet und ggf. die Kontaktstellung des im LBW eingebauten Relais geändert. Der Lichtbogenwächter reagiert nur auf dynamische Lichterscheinungen, d. h. auf sehr schnellen Lichtanstieg (z. B. Zünden eines Lichtbogens). Auf statische Lichterscheinungen (z. B. Sonneneinstrahlungen, Handlampen usw.) bzw. langsamen Helligkeitsanstieg spricht der Lichtbogenwächter nicht an. Wenn gleichzeitig eine Überstromanregung auf einer Einspeisung auftritt, werden alle Einspeiseschalter und die Kuppelschalter des gestörten Schaltanlagenbereiches ausgelöst. Eine Wiedereinschaltung ist gesperrt und erst nach Betätigen einer Quittierungstaste möglich. Die Ansprechzeiten liegen bei 1 bis 20 ms.

Abb. 24 Lichtbogenwächter LBW11, AEG Sachsenwerk, 1989

ETAPPEN DER INNOVATION – DEM LICHTBOGEN AUF DER SPUR

VAMP fertigt seit 1994 den optischen Sensor VA1DA und nutzt diesen weltweit als Erster ab 1996 optional in den Schutzrelais, wie z. B. VAMP 140 in Abb. 25. 1998 wird das 1-Zonen-System beim VAMP 3AX5 und 2004 das 4-Zonen-System beim VAMP 221 eingeführt. Passive Fasern „Loop-Typ“ kommen 2005 zum Einsatz. [25]

Abb. 25 VAMP140 mit Sensor, VAMP, 1994

Abb. 26 zeigt das heutige Sortiment an dezentralen Modulen für den Lichtbogenschutz in Mittelspannungsschaltzellen bzw. -Sammenschienen (V221, V321, Bogen-Schutz-System I/O-Einheiten VAM 3LSE, 4CSE, 10LSE, 3LXSE, 4CDSE, 10LDSE, 12LDSE).

Abb. 26 Dezentrale Lichtbogenmodule, VAMP

ABB entwickelt 2001 das Lichtbogenschutzrelais REA101 – siehe Abb. 27. [26]

Abb. 27 Lichtbogenschutzrelais REA101, 103 und 105

Ab 1991 wird der Einsatz von optoelektronischen Lichbogenerfassungssystemen in gasisolierten Schaltanlagen untersucht. Abb. 28 und Abb. 29 zeigen Sensor und Zentraleinheit von Vogl Electronic. [27]

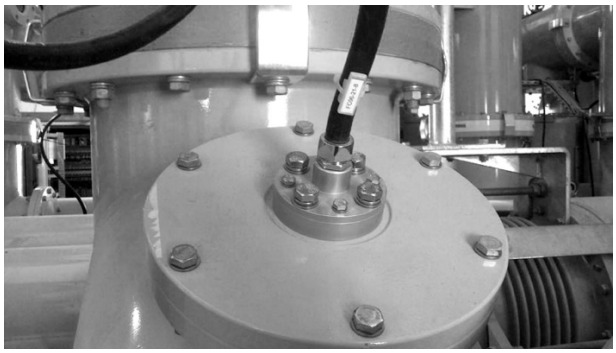

Abb. 28 Sensor, Vogl Electronic

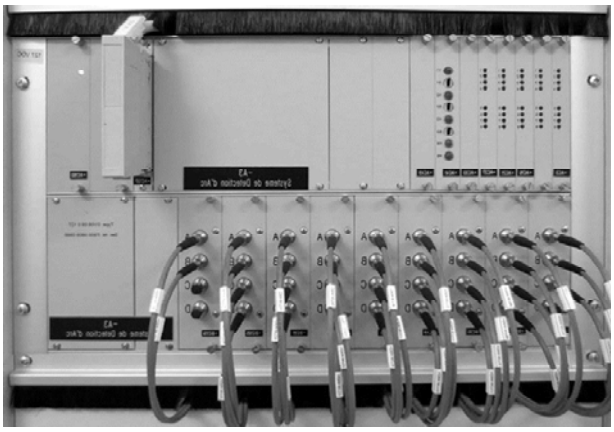

Abb. 29 Zentraleinheit, Vogl Electronic

ETAPPEN DER INNOVATION – DEM LICHTBOGEN AUF DER SPUR

Die 2010 von einigen Lichtbogenschutzexperten gegründete Arcteq lieferte bereits 2011 ihr erstes Lichtbogenschutzsystem mit Fotodioden als Punkt- und Lichtwellenleiter als Liniensensoren aus – siehe Artikel „Standardanwendung mit Upgrade“ von Arcteq.

2014 setzt VSV im Südwesten Finnlands AQ-F215 Feeder-Schutz-IEDs und AQ 100-Lichtbogenschutzgeräte, Artens in der Schaltstation Torlahti ein [28].

Mit der Einführung der Siprotec 5-Serie bei Siemens wurde der Lichtbogenschutz optionaler Bestandteil der Schutzrelais 7SJ8, 7SA8, 7SD8, 7SL8, 7VK8, 7SK8, 7UT8 und 7UM8.

In der Siprotec 5-Serie können unter Verwendung des Lichtbogenschutzmoduls P1Z1966 pro Steckmodul bis zu 3 optische Punkt- oder Liniensensoren – siehe Abb. 31 – angeschlossen werden. Abb. 30 zeigt einen Querschnitt durch eine NXAIR Schaltanlage. Die blau dargestellten Punktsensoren inkl. Zuleitung werden so platziert, dass Lichtbögen im Sammelschienenraum, Leistungsschalterraum sowie im Kabelanschlussraum sicher erkannt werden. Die Erkennung von Lichtbögen erfolgt entweder nur optisch oder optional unter Verwendung eines zusätzlichen Stromkriteriums zur Verhinderung einer Überfunktion.

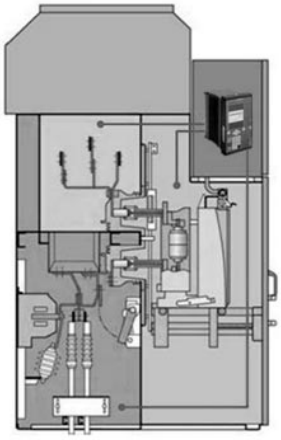

Abb. 30 Schaltanlage NXAIR

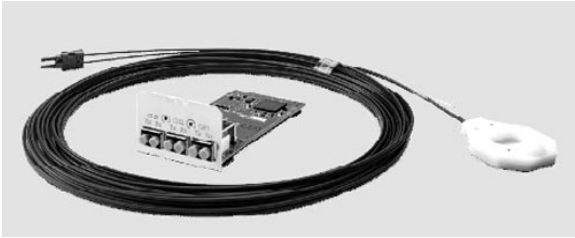

Abb. 31 Lichtbogenschutzmodul und Sensor für Siprotec 5, Siemens

Autor:

Walter Schossig, geb. 1941,
Autor des Buches „Netzschutztechnik“ und der History-Serie in der PAC World. Als Absolvent der Ingenieurschule Elektroenergie Zittau arbeitete er über 40 Jahre als Elektroingenieur, von 1967 an war er bei der TEAG - Thüringer Energie AG, Erfurt, für Relaisschutz verantwortlich. Mitarbeit im VDEW-AA „Relais- und Schutztechnik“, im Normenausschuss DKE K434 „Messrelais und Schutzeinrichtungen“ und im Bayernwerk-AK „Schutzeinrichtungen“. Bis heute aktiv im VDE AK.

ETAPPEN DER INNOVATION – DEM LICHTBOGEN AUF DER SPUR

Quellen

1 S.Jeszenszky: Vergessene Lichtquellen aus dem goldenen Zeitalter der Elektrotechnik. Band 26, Hrsg. Dittmann,F.; Luxbacher,G., Geschichte der elektrischen Beleuchtung. S. 65-91, VDE Verlag GmbH, Berlin Offenbach 2017
2 R,D Barnett: Arc Lighting Systems: Arc Lighting Systems: The First Electrical Distribution Systems History. IEEE Power & Energy Magazine 16(2018)1,56-64
3 M.Vogelsang: Die geschichtliche Entwicklung der Hochspannungs-Schalttechnik. Geschichtliche Einzeldarstellungen aus der Elektrotechnik, Zweiter Band, 176 S.; Berlin: 1929
4 C.H.Sanderson; L.N.Crichton; O.C.Traver; A.J.Allen; D.W.Taylor; A.E.Hester; H.G.Harvey; H.W.Brown; J.A.Cook; A.F Hamdi.; H.D.Braley,: Relay Handbook. National Electric Light Association. First Edition February 1926, N.E.L.A. Publication No. 25-3, Charles Francis Press, New York
5 K.E.Müller; W.Angst,: 75 Jahre Maschinenfabrik Oerlikon 1876-1951. 1650.D-Oktober 1951, Oerlikon
6 P.Thieme: Ein Beitrag zur Frage der selbsttätigen Schutzerdung. ETZ (1916)14,179-181 und 15,196-197
7 H.Probst: Hochspannungsgeräte und –schaltanlagen. Verlag G. Braun, Karlsruhe, 1953
8 M.Walter: Der Selektivschutz nach dem Widerstandsprinzip. Verlag von R. Oldenbourg, 1933
9 A.R.van C.Warrington: Protective relays - their theory and practice (Schutzrelais - Theorie und Praxis). Volume one, 1962 u. 1969, 1971, Chapman & Hall Ltd., London
10 F.Kesselring: Selektivschutz. Verlag von Julius Springer, Berlin 1930
11 B.Schweder: Forschen und Schaffen. Beiträge der AEG zur Entwicklung der Elektrotechnik bis zum Wiederaufbau nach dem zweiten Weltkrieg. Band 3, 520 S., Hrsg. AEG, Berlin 1965
12 A.Kolar: Leitungs- und Netzschutz aus nationaler und internationaler Sicht. Industrie Rundschau Zürich (1969)10,25-43
13 H.Schmitz: Mittelspannungs-Schaltanlagen, CALOR-EMAG, Verlag W. GIRADET, Essen, 1964
14 Vereinbarung über die Vereinheitlichung gekapselter Hochspannungsschaltanlagen bis 30 kV. VWEW, Frankfurt (Main), 22. Juni 1961
15 PEHLA Aufgaben und Ziele Hochleistungsprüffelder Prüfdokumente. PEHLA-Veröffentlichung Nr. 1, Frankfurt/Main 1964 sowie Nachtrag 1968 und Nachtrag 2 1970 und PEHLA-Richtlinie Nr. 2, Ausgabe Januar 1974 und PEHLA-Richtlinie Nr. 4, Dezember 1984
16 G.Voß: Aktueller Stand der Technik bei MS-Schaltanlagen. ep 62(2008)7,614-618
17 K.Hinz; W.Schossig: Schutzkonzeption für Gasisolierte Mittelspannungs- und 110-kV-Schaltanlagen (GIS). OMICRONcamp, Anwendertagung 2012, www.walter-schossig.de
18 H.Böhme: Mittelspannungstechnik, Schaltanlagen berechnen und entwerfen. 2. Aufl., Huss-Verlag
19 H.J.Müller: Moderne Schutzrelais für Leitungen, Sammelschienen und Transformatoren. Sonderdruck aus BBC-Nachrichten 51(1969)1,32-40
20 C.Böttger: Betrachtungen über die Anwendung von Is-Begrenzern in Drehstromanlagen, Son¬derdruck aus CALOR-EMAG-Mitteilungen I 1965, 1-10
21 H.Böhme; J.Fechner; W.Haufe; P.Lange,: Erhöht lichtbogen- und berührungsgeschützte Schaltanlage. DDR-Pat. 85124 vom 21.09.1970
22 W.Beck; K.Lindner; J.Fechner: Schaltungsanordnung zum Schutz feststoff- oder gasisolierter Schaltanlagen. DDR-Pat. 110984 vom 12.01.1975
23 K.Killiches; J.Fechner; J.Gernreich; M.Hesse; Prüfbare Schaltungsanordnung zum Abschalten elektrischer Schaltanlagen bei Störlichtbögen. DDR-Pat. 129512 vom 03.01.1977
24 J.Hesse; M.Niegl; H.Stahl: Begrenzung der Auswirkungen von inneren Lichtbogenstörungen. Sonderdruck Sachsenwerk, AEG A24.10
25 K.Nyman: Arc protection history at VAMP. Schneider Electric, 08. Jänner 2018
26 Vom Lichtschalter bis zur gasisolierten Schaltanlage für eine Million Volt. ABB about (2014)3,6-11
27 M.Meiß; E.Reuter; F.Vogl: Einmsatz von optoelektronischen Lichtbogenerfassungssystemen in gasisolierten Schaltanlagen. Elektrizitätswirtschaft 93(1994)25,1598-1602
28 VSV selects Arcteq. http://arcteq.fi/references/vsv-selects-arcteq/ vom 17.06.2017
29 „Empfehlungen für Maßnahmen zur Herabsetzung von Transienten Überspannungen innerhalb von Freiluftschaltanlagen“, Ausg. 1973 und „Empfehlungen für Maßnahmen zur Herabsetzung von Transienten Überspannungen in Sekundärleitungen (TÜ) innerhalb von Hochspannungsschaltanlagen“, Aus. 1983, VDEW-Ringbuch Schutztechnik, VWEW Frankfurt/M.