

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	67 (1976)
Heft:	9
Artikel:	Spannungsprüfer-Fehlanzeigen bei fremdschichtbehafteten (anzementierten) Ortsnetz-Freileitungsseilen
Autor:	Irresberger, G.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-915158

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Spannungsprüfer-Fehlanzeigen bei fremdschichtbehafteten (anzementierten) Ortsnetz-Freileitungsseilen

Von G. Irresberger

In der Nähe von Zementfabriken kommen durch den Schornsteinauswurf auf den Leiterseilen von Starkstrom-Freileitungen dünne, festanbackende Fremdschichten zustande, die im trockenen Zustand – bei einer Durchschlagfestigkeit von etwa 3,4 kV/mm – relativ gut isolieren. Bei der Prüfung auf Spannungsfreiheit (mit ambulanten Spannungsanzeigern) in derart gelegenen Ortsnetzen können erwiesenermassen dadurch Fehlanzeigen zustande kommen, was auch gegenständliche experimentelle Untersuchungen bestätigten.

1. Anlass zur Studie

Im Betrieb der Oberösterreichischen Kraftwerke Aktiengesellschaft (OKA), Linz/Donau, Landesgesellschaft für die Stromversorgung Oberösterreichs, hat die Frage der Ablagerung von fest anbackendem Zementwerk-Flugstaub auf Isolatoren von Starkstrom-Freileitungen (45 000/25 000 V) schon mehrmals zur Debatte gestanden¹⁾. Sieht man von dem bekannten Betriebsbedürfnis ab, wo zwecks Vermeidung von Oberflächen-Fremdschichtüberschlägen auf den Isolatoren bei Betriebsspannung oder Betriebsvorgängen (Fig. 1 und 2) diese in gewissen Zeitabständen gereinigt oder ausgewechselt werden müssen, so besteht zudem ein bisher noch nicht diskutiertes Elektro-Arbeitsschutzproblem.

Der Zementwerk-Flugstaub lagert sich nämlich auch auf den Leiterseilen ab und backt an diesen fest, wodurch dann bei der Prüfung auf Spannungsfreiheit (mittels ambulanter Spannungsanzeiger) in einem gewissen Spannungsbereich und unter bestimmten Voraussetzungen erwiesenermassen Fehlanzeigen zustande kommen können. Wenn auch ein spannungsloser Zustand der Freileitung hiebei lediglich bei trockenem Zustand derartiger Fremdschichten vorgetäuscht wird, weil diese dann elektrisch gut isolierend sind, verdienen die gemachten Beobachtungen eine etwas eingehendere Betrachtung. Bei ambulanten Bauanschlüssen in Ortsnetzen sind unter gleichen Umständen des weiteren unerwünschte

¹⁾ Bull. SEV/VSE 65(1974)3, S. 188.

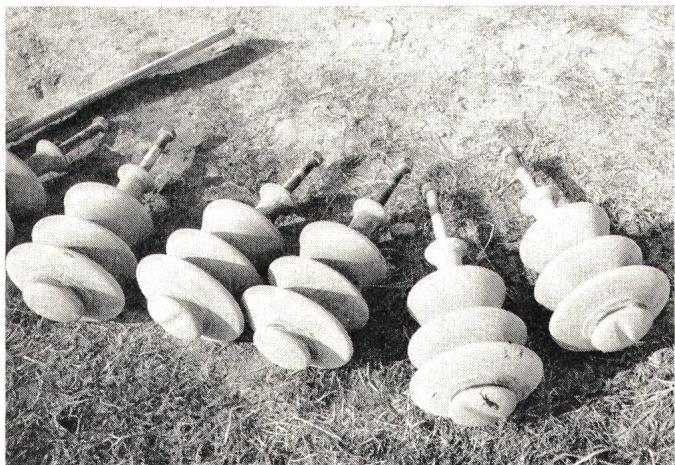


Fig. 1 Hochspannungs-Isolatoren

Einige Hochspannungs-Isolatoren, von einer – im Bereich eines grossen Zementwerkes gelegenen – 25-kV-Freileitung ausgebaut. Die braune Glasurfarbe der Isolatoren ist überhaupt nicht mehr erkennbar; sie weisen den charakteristischen weisslich-grauen Vollbelag mit Zementofenstaub (auf und unterhalb den Schirmen) auf.

Au voisinage des fabriques de ciment, les rejets des cheminées produisent sur les cordes des lignes aériennes à courant fort de minces couches étrangères fortement adhésives, qui par temps sec – pour une résistance de claquage d'environ 3,4 kV/mm – sont relativement isolantes. Lorsque, sur des réseaux locaux ainsi situés, l'on veut s'assurer de l'absence de tension (au moyen de détecteurs de tension portatifs), il s'est déjà produit de fausses indications, ce qui a été confirmé expérimentalement par des essais objectifs.

Betriebsstörungen zufolge starker Spannungsverwerfungen festgestellt worden, wenn einerseits beim Einhängen der vierpoligen Anschlussgarnitur eine Kontaktklemme eine trockene, fest angebackene Fremdschicht am Leiterseil nicht wegrieb, anderseits die Durchschlagsspannung der dünnen, dabei zugleich trockenen Zementwerk-Flugstaubschicht (mit beispielsweise 940 V) weit über der Betriebsspannung des Ortsnetzes (380/220 V) lag.

Ferner war das Eingeständnis einzelner Betriebswärter (Elektromontoure), dass die gemeldete Abschaltung einer Freileitungsstrecke als gesichert angenommen wird und man damit auf die Prüfung auf Spannungsfreiheit verzichtete, nur eine Bestätigung der Unfallstatistik in den einzelnen Ländern: Nämlich, dass bei der Durchführung von Arbeiten aller Art in elektrischen Anlagen (Leitungen) die Prüfung auf Spannungsfreiheit leider zu den häufigsten Unterlassungen bei den unbedingt wahrzunehmenden «fünf goldenen Sicherheitsregeln» des Elektrikers zählt [1].

Des weiteren war ein tödlicher Unfall (220 V) an einer intakten Handlampe, der sich im benachbarten Ausland zugegraben hatte und bei dem der Stromfluss gegen die Hand des Verunglückten im Wege des mit Zementmilch gefüllten Lampengriffes zustande gekommen war, mit ein Anlass, die Frage der elektrischen Leitfähigkeit von Zementschichten für verschiedene Zustände einmal experimentell abzuklären (spezifischer Widerstand von Zementmilch dreier verschiedener Mischungsverhältnisse: 500...3800 Ohm · cm).

Dass zum Beispiel in Zementfabriken anderseits Zementstaub in trockenen Innenräumen und bei erhöhten Raumtemperaturen auch elektrische Unfälle indirekt nach sich ziehen kann, zeigte ein lehrreiches Vorkommnis in der Schweiz im Jahre 1949: In diesem Fall nämlich verhinderte der starke Zementstaubansatz, welcher elektrisch isolierend wirkte, das Funktionieren der elektrischen Türverriegelung, und der Mechaniker konnte ungehindert in den Generatorraum gelangen. Als er sich an den unter 60 kV Gleichstrom stehenden Teilen zu schaffen machte, wurde er durch den Stromübergang auf seinen Körper sofort getötet.

2. Fremdschichtproblem bei Zementfabriken

Zement (genauer gesagt: Portlandzement) – jetzt durch das Normblatt DIN 1164 (Blatt 1...8) in seinen Gütekriterien eingehend definiert – ist bekanntlich ein pulverförmiger Stoff, dessen Rohstoffe Kalkstein und Ton (oder auch Mergel, einem Gemenge von Kalkstein und Ton) fein vermahlen, gemischt und in Drehöfen bis zur Sinterung gebrannt werden; der so entstandene Klinker wird in Kugelmühlen staubfein vermahlen. Nach der Erfindung des Portlandzements

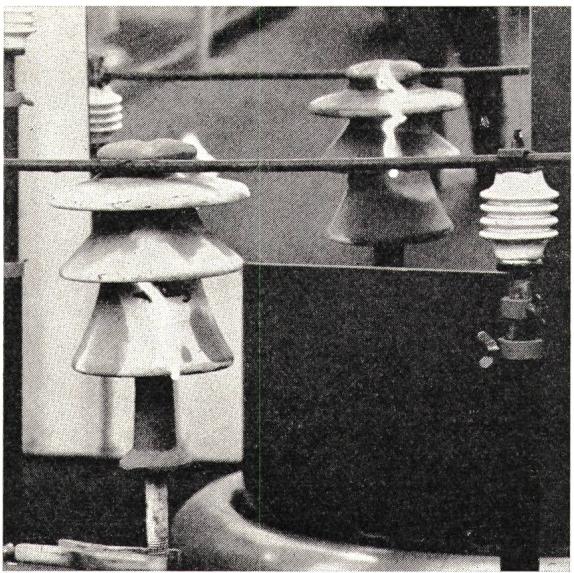


Fig. 2 Typischer Überschlag vom Leiterseil über die fremdschichtbehaftete, feuchte Isolatorenoberfläche gegen die geerdete Isolatorstütze

Der Überschlag am 25-kV-Isolator erfolgte bei einer Prüf-Wechselspannung von 47 kV eff; mit dem Spiegel konnte auch der Überschlag auf der Isolatorrückseite verfolgt werden (OKA-260-kV-Prüffeld).

durch den Engländer Joseph Aspdin im Jahre 1824 betrug bei der ersten Analyse dieses künstlichen Silikates der Anteil von Kalk 54,1 %, der von Kieselsäure 22,2 %. Für Österreich sind die vorerwähnten gegenständlichen Bestimmungen im Normblatt ÖNORM-B 3310 festgelegt worden. Als Standards bestehen in den USA: ASTM-C 150-53, in Grossbritannien: BS 12/1947.

Bemerkenswert ist nun als Ergebnis, dass der Schornsteinauswurf (Gas-Staub-Gemisch) kein Zementstaub ist (wie irrtümlich von Laien und teils auch von Gutachtern angenommen wird), sondern ein Kalkmergelstaub, der für Tier und Pflanze unschädlich ist. Als ein Anteil eines Zwischenproduktes bei der Zementherstellung sollte man daher zutreffender nur von «Zementofenstaub» sprechen. Vom Staub im Abgas haben etwa 20...70 % einen Korndurchmesser unter 5 µm, woraus erhellt, dass der Ofenstaub von ausserordentlicher Feinheit ist (als Grenzwerte für Zement werden 1...250 µm genannt). Der Reingasstaub kann, je nach Art der Brennöfen, einen relativ hohen Alkaligehalt (etwa 20...45 % Kaliumoxyd) aufweisen. Im übrigen bringen die Richtlinien VDI 2260 (1963) betreffend technischen Gewährleistungen für Entstauber ein Beispiel der chemischen Analyse des Rohgasstaubes eines Zementwerkes; daraus ersieht man, dass unter den insgesamt neun chemischen Verbindungen 45 % CaO und 19 % SiO₂ den Hauptanteil einnehmen.

Im Wege der Schornsteine von Zementfabriken werden (auch bei vorhandenen Staubfiltern) noch immer Abgase und Filterstäube verschiedener chemischer Zusammensetzungen, also Luftfremdstoffe, zumindest in der nächsten Umgebung abgeschieden, die sich demnach dann auch auf Einrichtungen für die Übertragung und Verteilung elektrischer Energie niederschlagen; nach einer gewissen Abbindezeit zementieren sie auf Isolatoren und Seilen. Sie stammen teils von den Rohstoffen, teils vom Brennprozess. Ferner können sich besonders Störungen in der Betriebsanlage (z. B. bei den Ze-

mentdrehöfen) ungünstig auf die Entstaubung auswirken, weil sich Temperatur, Feuchtigkeit und Taupunkt der Abgase plötzlich ändern können.

Erwähnenswert wäre noch, dass man ähnlich fest anbackende Fremdschichten auf Isolatoren gelegentlich auch bei anderen Industrien vorfindet: Auf einer Freiluftanlage wurde aus einer in der Nähe gelegenen Kalziumkarbidfabrik ein Gemisch von feinstem Staub von Koks und ungelöschem Kalk herangewieht, das nach dem Abbinden durch Aufnahme von Wasser und Kohlensäure auf der Isolatoroberfläche eine festhaftende Mörtelschicht bildete.

Nebenbei bemerkt: Wegen der typischen Art der Luftverschmutzung durch Dampfkraftwerke und Zementfabriken diente ursprünglich deshalb auch bei der Verschmutzungsprüfung von Freileitungsisolatoren (gemäß den Richtlinien für die Untersuchung von Freiluftisolatoren für Anlagen mit Wechselspannung über 1 kV unter Fremdschichteinfluss: VDE 0448/V.1940) als genormter Prüfstaub ein solcher als Braunkohlenflugasche, welche zu 25 % mit Portlandzement gemischt ist.

3. Leitfähigkeit von Zementofenstaub

Zement und Zementflugstaub gelten in elektrischer Hinsicht ab einer gewissen Feuchtigkeit zumindest als Halbleiter; sie haben also einen temperaturabhängigen Widerstand, der zusätzlich insbesonders vom Feuchtigkeitsgehalt der Luft oder des Träergases beeinflusst wird. Im trockenen Zustand sind beide jedenfalls einem Isolator gleichzusetzen. Im übrigen hat es auch in früherer Zeit nicht an Versuchen gefehlt, mit den verschiedenen Zementen elektrisch isolierende Werkstoffe herzustellen (DRP 263.400/319.924). Die vorerwähnte Tatsache wird auch indirekt dadurch bestätigt, dass der nichtleitende Zementstaub beim pneumatischen Abfüllen in Silofahrzeugen beachtliche elektrostatische Aufladungen an den gummitbereiften Kraftfahrzeugen hervorrufen kann.

Die quantitative Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Zementofenstaub erfolgt bekanntlich mit einer speziellen Hochspannungs-Widerstands-Messzelle (z. B. System

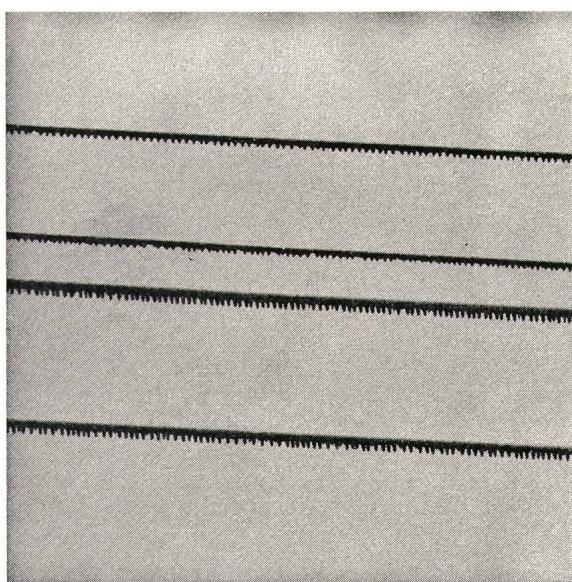


Fig. 3 Leiterseile einer zementwerkseigenen 380/220-V-Freileitung, mit zahlreichen, einem Kamm ähnlichen Zäpfchen aus Zementofenstaub belegt

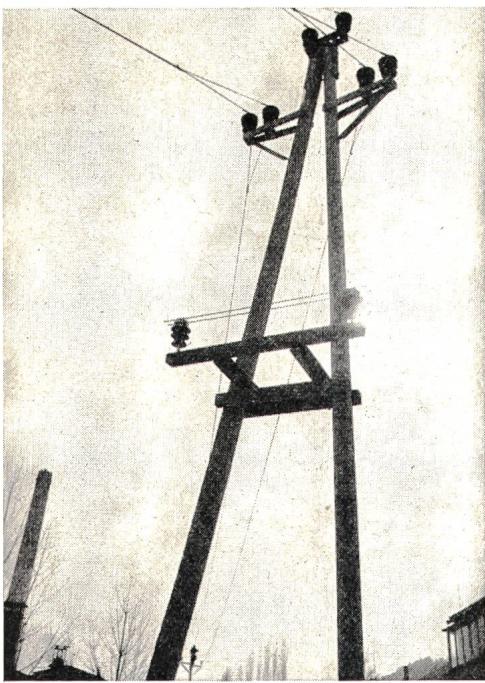


Fig. 4 A-Mast einer im Werksbereich gelegenen 25-kV-Freileitung

Im Bild erkennbar zwei 25-kV-Isolatoren mit Aldrey-Seilen sowie anderen Prüflingen, deponiert im Bereich der Holz-Mast-Mittelzange.

Hamilton); wird diese Methode angewandt, welche zudem den Vorteil der Temperaturregelung (bis 370 °C) einschliesst, bleiben die Unterschiede bei den Messungen unter Labor- und Betriebsverhältnissen in engeren Grenzen. Während der geschüttete Staub sowohl vom auf die Staubschicht ausgeübten Anpressdruck als auch von der angelegten Spannung abhängt, trifft dies für abgebundene Zementverkrustungen auf Leitungsbauteilen aller Art nicht zu.

Grundsätzlich ist der spezifische Widerstand vom Zementofenstaub von der Teilchenbeschaffenheit, der Schichttemperatur sowie dem Feuchtigkeitsgrad abhängig; im Zusammenhang mit dem Betrieb von Elektrofiltern (mit hochgespannten Gleichströmen) ergeben sich noch weitere Abhängigkeiten von der Temperatur und dem Wassergehalt des Abgases, vom elektrischen Feld und den Vorgängen vor der Messung. Zur Charakterisierung der Größenordnung sei erwähnt, dass der spezifische Widerstand von Zementofenstaub beispielsweise $8 \cdot 10^7 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ bei 20 °C, hingegen $3 \cdot 10^{11} \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ bei 175 °C beträgt, um dann auf $9 \cdot 10^9 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ bei 230 °C abzusinken. In einem anderen Fall ergaben sich als analoge Werte $1 \cdot 10^{12} \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ bei 175 °C sowie $7 \cdot 10^{10} \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ bei 230 °C. In einem weiteren Fall betrug der spezifische Widerstand von Zementofenstaub $2 \cdot 10^{10} \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ bei 175 °C, während die Grenzwerte (für die üblichen Gastemperaturen) zwischen minimal $5 \cdot 10^7$ und maximal $10^{14} \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ lagen. Bei Messungen in einem Zementwerk hatte man den spezifischen Widerstand des Flugstaubes (bei Aussentemperaturen) zu gröszenordnungsmässig $10^{10} \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ ermittelt, geltend für eine bestimmte Schüttdichte; das Maximum des elektrischen Widerstandes liegt dabei ziemlich unabhängig vom Taupunkt bei Temperaturen um 200 °C.

Es überrascht aber einigermassen, dass man erstmalig schon vor der Jahrhundertwende (!), und zwar im Zusam-

menhang mit dem Auftreten von Streuströmen bei elektrischen Strassenbahnen und den damit verbundenen Oberflächenabtragungen (Korrosionen), nicht nur die elektrische Leitfähigkeit von Beton, sondern auch die des reinen (Rüdersdorfer) Zements ermittelte hatte. Über andere mit Portlandzement in einem gewissen elektrischen Zusammenhang stehende Fragen orientiert das einschlägige technisch-wissenschaftliche Schrifttum [2] (wie z. B. Korrosion bei den von Portlandzementbeton umgebenen Fundamenten, Korrosion von Bleirohren bei Anwesenheit von Zementmörtel und unter Einwirkung verschiedener Spannungsarten und Stromdichten, Untersuchungen über Ableitströme an zementierten Hänge-Isolatoren am Elektrotechnischen Institut der Technischen Hochschule Wien, Minderung der Ansprechwechselspannung des inneren aktiven Teiles ungesteuerter Ventilableiter und damit Notwendigkeit zur periodischen Reinigung oder Auswechslung, Auswirkung verschieden dicken Staubbelages auf den Elektroden auf die Überschlagsspannung elektrischer Staubabscheider, Messung der Dielektrizitätskonstante und des Verlustwinkels von abbindendem Zement im Gebiet der cm- und dm-Wellen).

Wesentlich ist nun, dass die Verschmutzung von Leitungs- und Stationsbauelementen an sich, also auch ohne den Einfluss der Betriebsspannung, nicht zu verhindern ist: Die fest angebackenen Zementwerk-Flugstaubschichten (Krusten) zeigen sich nämlich in nahezu gleichem Ausmass an dem zum Beispiel vorwiegend nur nachts unter Niederspannung stehenden Schaldraht der Strassenbeleuchtungsanlage (220 V), den Leiterseilen (Fig. 3) der dort gelegenen und dauernd unter Betrieb stehenden werkseigenen Ortsnetz-Freileitung ($3 \times 380/220 \text{ V}$) sowie an den Leitungsdrähten der lediglich unter der geringen Beeinflussungsspannung (160/185 V) stehenden Betriebsfernspreech-(HT)-Leitung, welche am selben Gestänge unterhalb der vorerwähnten Hochspannungsleitung verlegt war, kürzlich aber überhaupt abgebaut worden ist. Dass auch bei 25-kV-Leitungen in Meeresnähe nicht elektrostatische Anziehung, sondern natürliche Ablagerung die Ursache der Salzschichtbildung ist, erkannte man schon im Jahre 1907 an Isolatoren, die noch keine Leiterseile trugen. Sogar noch bei 110-kV-Isolatoren ergaben bekanntlich Messungen, dass zwischen Isolatoren mit und ohne Spannung kein statistisch gesicherter Unterschied hinsichtlich ihrer Verschmutzung besteht.

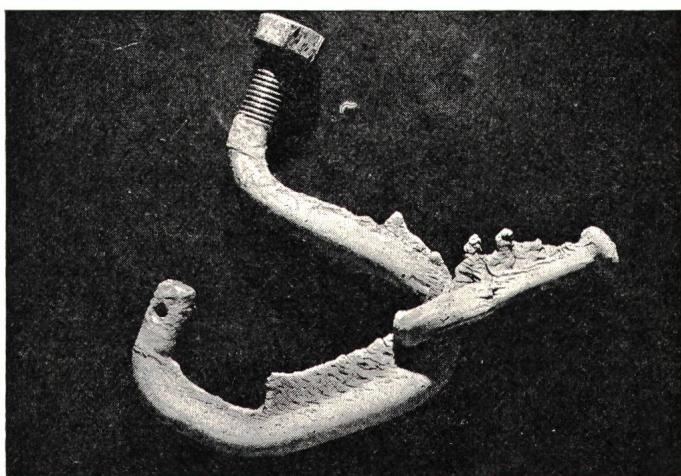


Fig. 5 Abspannbügel mit Klöppelöse aus einer 25-kV-Leitung in Zementwerksnähe

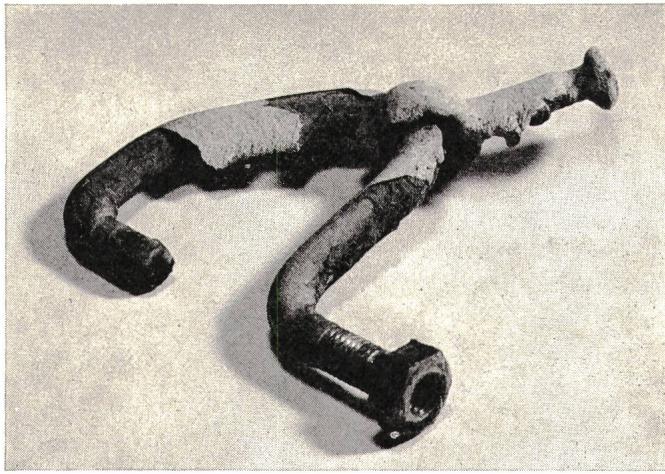


Fig. 6 Leitungsbauteile lassen wiederholt besonders deutlich die einzelnen Wachstumsschichten aus Zementofenstaub erkennen.

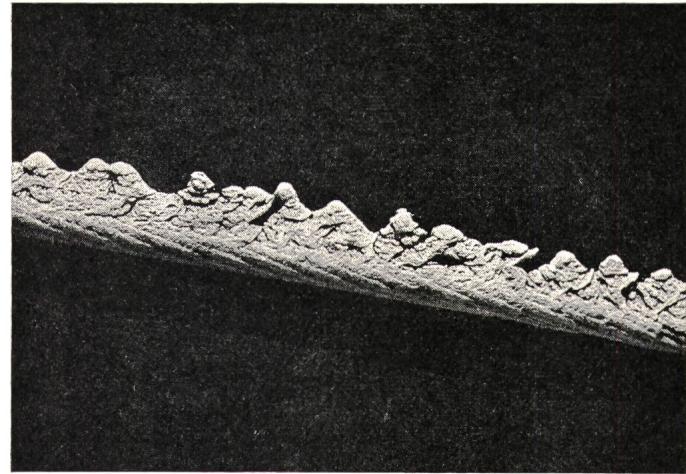


Fig. 7 Aluminiumseil, welches aus einer Verbindungsschlaufe herausgezwickt wurde

Es zeigt wiederum eine andere, hier wellenförmige Anhäufung von Zementofenstaub. Für die dünne Fremdschicht auf der Seiloberseite lag die Durchschlagsspannung bei 2,54 kV eff.

4. Einbau der Prüflinge

Der Staubauswurf aus den Schornsteinen von Zementwerken und damit die Ablagerungen und Verkrustungen in der Umgebung unterliegen grösseren Schwankungen, je nach chemischer Zusammensetzung der Rohstoffe, Methode der Herstellung, Kapazität der Anlage, Lage des Werkes, Höhe des Schornsteines, Entfernung vom Kamin, Grösse des Korns, Einfluss von Niederschlägen sowie Dauer der Einwirkung. Nach einem längeren Dauerbetrieb kann durch Alterung, Verschleiss und Störungen in der Anlage der Staubauswurf bis zum doppelten Wert ansteigen [2].

Um die Versuchskörper, wie zum Beispiel Silizium-Bronze-Drähte, Kupferdrähte, Staku-Drähte, Aluminiumseile, Cupal-Klemmen, Messingplatten usw. einer praxisbezogenen Verschmutzung auszusetzen, waren dieselben vorwiegend im nächsten Bereich (mit stärkerer Flugstaubabscheidung) eines grossen Zementwerkes deponiert worden (in meist 180...500 m Schlotdistanz). Hiezu diente unter anderem auch ein A-Mast einer 25-kV-Freileitung (Fig. 4), auf dessen Mittelzange solche Leitungsbauteile einschliesslich zugehöriger Isolatoren montiert worden waren. Darüber hinaus wurden einzelne Versuchskörper im Bereich von etwas weiter entfernten Leitungsstützpunkten (Isolatorenträgern) von Niederspannungs-Freileitungen (Ortsnetzen) solcherart Verschmutzung ausgesetzt. Wegen der notwendigen genauen Lagebestimmung der Durchschlagpunkte am Seil oder Draht (im Prüffeld) wurden drei stark unterschiedliche Probenlängen gewählt, so dass ein bequemes Abwickeln der einzelnen Adern der obersten Lage möglich war; auf eine exakte kontinuierliche Rundummessung der Schichtdicken auf den langen Seilstücken wurde jedoch (wegen des grossen Zeitaufwandes) bewusst verzichtet. Der natürlichen Witterung und Verschmutzung genau ein Jahr lang ausgesetzt, kamen dann alle diese Prüflinge wieder zum Abbau und anschliessend in das Prüffeld zur Messung. Die Zementwerk-Flugstaubsschichten waren durchwegs steinhart, neigten aber dennoch zu keinerlei Abblätterung bei Biegeversuchen, obwohl die Drähte und Seile bei Wind sicherlich zahllose Schwingungen mitmachten.

Vor den Versuchen wurden zunächst genaue Messungen der Dicke der Fremdschichten durchgeführt, weil dieselbe –

für den Trockenzustand – in unmittelbarer Beziehung zur Durchschlagsspannung steht; dieselben schwankten (von Ausnahmen abgesehen) zwischen minimal 95 und maximal 390 µm. Bei den Prüflingen war deshalb meist auch die Einbaulage markiert worden, zumal für beide Faktoren (Fremdschichtdicke/Durchschlagsspannung) zwischen Ober- und Unterseite der Drähte und Seile ein grösserer Unterschied erwartet werden musste; auch die Beobachtung solcher Fremdschichtanhäufungen an Drahtgitterzäunen und Stahlgittermast-Fachwerken (auch andernorts) liessen dies

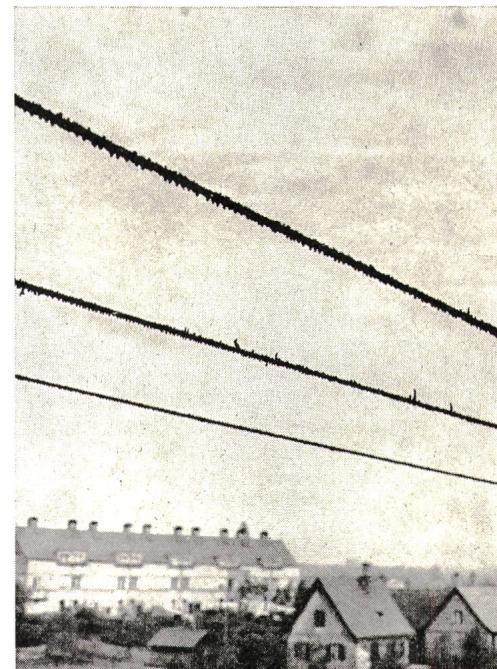


Fig. 8 Die drei Leiterseile einer früher mit 45 kV, jetzt jedoch mit 25 kV betriebenen Hochspannungs-Freileitung

Sie weisen nach etwa 15jähriger Einwirkung von Zementwerkflugstaub zahlreiche, der in Tropfsteinhöhlen üblichen zapfenförmigen Gebilde auf. Man beachte besonders auch die nach aufwärts wachsenden Zäpfchen, unter denen sich ausgerechnet die längsten befanden.

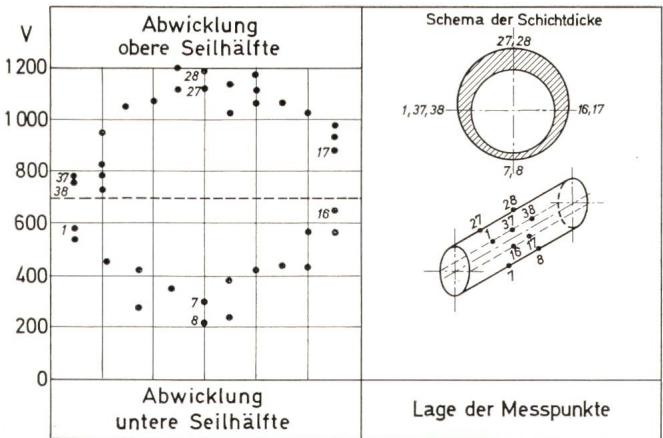


Fig. 9 Ergebnis einer Messreihe zur Ermittlung der Durchschlagsspannung an Seil-Prüflingen

ratsam erscheinen. Tatsächlich haben auch dann bei der Bestimmung der Durchschlagsspannung der Fremdschichten – wie später besprochen – die oberen Messpunkte durchschnittlich doppelt so grosse Werte aufgewiesen wie die für die Unterseite dieser Versuchskörper.

Diesbezüglich bemerkenswert waren die ebenfalls auch von anderer Seite gemachten Beobachtungen, dass bei gewissen Schlotdistanzen bei Zaunanlagen (aus Maschennetzdrahtgitter) die Fremdschichtanhäufungen vorwiegend auf der Oberseite der Drähte erfolgten, teils in einem Ausmass von mehrfachem Drahtdurchmesser, teils inf Form nach oben (also entgegen der Schwerkraft) wachsenden Zementbärten. Es lagen aber anderseits selbst in ein und demselben Zaun-Spannfeld umgekehrte Schichtlageverhältnisse vor. Andernorts wurden durchschnittlich 3 mm starke, winkelförmige Zementofenstaub-Beläge an der Innenseite eines Eckstieles eines 15-kV-Stahlgittermastes beobachtet.

Mit ein Grund war, gerade diesem Umstand ein besonderes Augenmerk zuzuwenden, da der Haken des Spannungsprüfers für Ortsnetzleitungen (Dachständernetze) ebenso wie die Prüflitze der Spannungsprüfharpe (Drahtschleudergewehr) für einsystemige Hochspannungsleitungen²⁾ ausge-

rechnet an der Oberseite des Leiterseiles der Starkstrom-Freileitung zum Einhängen beziehungsweise Überstreifen kommt; bei trockenem Wetter liegen aber dort für die Prüfung auf Spannungsfreiheit sowie Wurf-Prüferdung (an der Stelle mit der dicksten und dadurch am besten elektrisch isolierenden Fremdschicht) demnach die ungünstigsten Prüfbedingungen vor.

Leitungsbauteile mit vorzugsweise ebenen Aufnahmeflächen für die Fremdschichten (z. B. Abspannbügel), welche nach langjähriger Kaminstaubeinwirkung aussergewöhnlich starke Zementschichten (Fig. 5 und 6) aufwiesen, waren schon früher in die Messungen einbezogen worden. Für jeden Freileitungsmonteur oder Betriebswärter sind diese teils bis zu fingerdicken, zapfenförmigen (bisweilen kammartig gestalteten) Fremdschichten (Fig. 7) so augenscheinlich, dass sie bei der Prüfung auf Spannungsfreiheit oder bei der Erdung und Kurzschliessung keinesfalls übersehen werden können. Charakteristische, steinharte Zementschichten auf einem Leiterseil einer 45-kV-Leitung nach etwa 15jähriger Einwirkung des Staubauswurfs aus einem Schornstein einer grossen Zementfabrik zeigt Fig. 8; sie wiesen – elektrisch gesehen – mit $1,2 \cdot 10^9 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ einen ausgesprochen hohen spezifischen Trockenwiderstand auf.

Dennoch drängen aber zwei Erscheinungsformen den Vergleich mit den bekannten Tropfsteingebilden in Höhlenlabyrinthen auf: mit vorwiegend den Stalaktiten, die von oben herabhängen, sowie den hier nur vereinzelt zu beobachtenden Stalagmiten, die vom Boden in die Höhe wachsen. Besonders bemerkenswert ist aber, dass man beim Abbrechen solcher dicker Zementflugstaub-Fremdschichten bereits mit unbewaffnetem Auge regelrechte Wachstums-Schichtlinien erkennen kann, ähnlich den für die Kennzeichnung des Alters charakteristischen Jahresringen bei den Bäumen. Nebenbei bemerkt stellen die vorerwähnten kammartigen, starken Zementbeläge bereits eine nennenswerte mechanische Zusatzlast auf den Leiterseilen dar, obwohl daraus selbst nach einer mehrere Jahrzehnte währenden Betriebs-

²⁾ Bull. SEV/VSE 65(1974)3, S. 182.

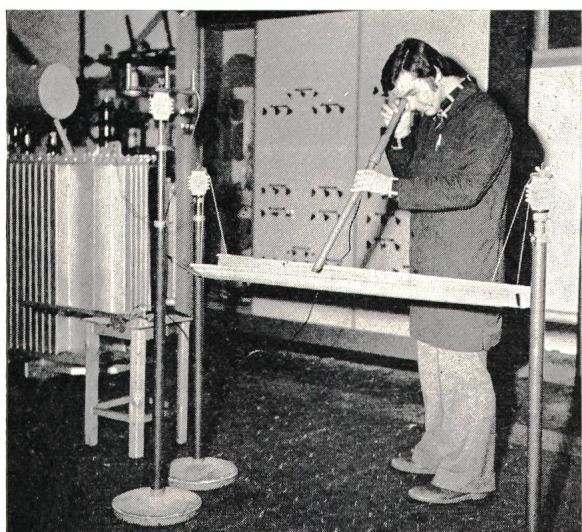


Fig. 10 Hänge-Dachrinne aus Metall

In grösserer Schlotdistanz als Regenschutz für hölzerne Anlegeleitern benutzt. Sie wies einen gleichmässigen, dünnen Belag aus Zementofenstaub auf, dessen Trocken-Durchschlagsspannung bei 2850 V lag.

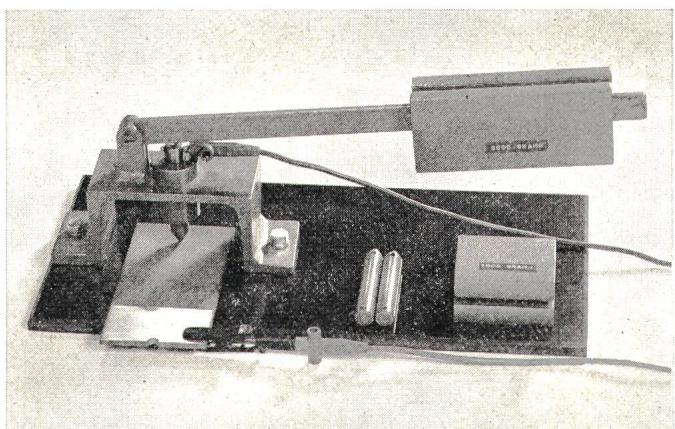


Fig. 11 Prüfvorrichtung für die Ermittlung der Abhängigkeit der Trocken-Durchschlagsspannung an zementierter, metallischer Leitungsbauteile vom Kontaktdruck

Die in Eigenregie hergestellte Kontaktwaage, bei der in einer Isolierbuchse nacheinander drei verschiedene Zapfen für definierte Flächenanpressdrücke eingesetzt und bei der zwei verschiedene Laufgewichte aufgeschoben werden können, ergab eine praktisch nicht zusammendrückbare Zementofenstaub-Fremdschicht.



Fig. 12 Durchführung der Prüfung auf Spannungsfreiheit in Mast- oder Dachständer-Ortsnetzen (380/220 V) durch den Ortsmonteur

Zementofenstaubschichten auf den Leiterseilen sind im trockenen Zustand (mit 3,4 kV/mm) dermassen isolierend, dass Fehlanzeigen bei den Spannungssuchern (der verschiedenen Systeme) sogar die Regel bilden.

erfahrung keinerlei Beanstandungen oder Seilrisse bekannt geworden sind (spezifisches Gewicht von Zement: 3,1 als Mittelwert von 20 PZ-Sorten).

Allgemein gilt, dass derartige Fremdschichtanhäufungen in ihrer Form (kreisförmig/elliptisch) recht unterschiedlich ausfallen, ähnlich wie dies bei den Formen der Aneisungen (Frostablagerungen) auf den Leiterseilen von Hochspannungs-Freileitungen durch die Vielzahl der meteorologischen Parameter (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Nebeldichte, Ablagerungszeit) bekannt ist, und wir dies auch bei dem Betrieb einer eigens erbauten Eislaststation in den dreissiger Jahren aus eigener Anschauung kennengelernt haben.

5. Ergebnis der Versuche

Das Ergebnis der Messungen im Messwandler-Prüfraum, Hochspannungs-Prüffeld sowie Niederspannungs-Laboratorium des eingangs erwähnten Unternehmens war dennoch etwas überraschend: Die Durchschlagsspannung lag bei einer zum Beispiel nur etwa 0,18 mm starken Zementofenstaubschicht im trockenen Zustand bei immerhin 525 V eff.! Annähernd doppelt so dicke Schichten hatten anderseits (bei 21 Messpunkten) nur Durchschlagsspannungen zwischen 605 und 1250 V (Fig. 9). Unter wiederum Einbeziehung der geringfügig natürlich oxydierten Oberfläche der Aluminiumseile [3] lag die Durchschlagsspannung von etwas stärkeren Zementofenstaubschichten (von etwa 1,2...2,3 mm Dicke) zwischen minimal 3750 V und maximal 7150 V. Unter Einbeziehung aller Prüflinge lag die Durchschlagfestigkeit bei maximal 3,4 kV/mm, während von anderer Seite als Maximum 4,1 kV/mm ermittelt worden waren. Eine zufällig ver-

fügbare halbrunde (waagrecht verlegte) Hängedachrinne aus Metall (ähnlich Normblatt DIN 18.461) wies einen Fremdschichtbelag auf, welcher im trockenen Zustand bei 2850 V durchschlug, entsprechend einer Durchschlagfestigkeit von 3,2 kV/mm (Fig. 10). Wie Messungen an Prüflingen der verschiedensten Art mittels einer eigens hiefür hergestellten Kontaktwaage für definierte Flächendrücke (Fig. 11) ergeben haben, besteht bei diesen Zementverkrustungen – ganz im Gegensatz zu anderen Fremdschichten [3] – praktisch keine Abhängigkeit der Durchschlagfestigkeit vom Kontaktdruck; damit wird indirekt die Praxis bestätigt, wonach selbst durch den Spaltenkontakt des Niederspannungssuchers (Fig. 12) derartige Zementofenstaubschichten auf den Leitungsbauarten weder ganz noch isolationsmindernd durchstossen werden. Tastet man (mittels der Spannungsprüfer-Abtastelektrode) eine reichlich starke Schicht auf Versuchs-Seilstücken ab, so kam (im trockenen Zustand) nicht einmal der Ansprechstrom für den Glimmlampentester (20 µA) für den Fall einer Anlagenspannung von 10 kV auf.

Die elektrisch isolierende Wirkung fest anbackender, trockener Zementwerk-Flugstaubschichten auf den Leitern von Starkstrom-Freileitungen zwingt daher, bei der Prüfung auf Spannungsfreiheit (gegenüber Betriebs- und Beeinflussungsspannungen) sowie bei Erdung und Kurzschliessung (und zwar sowohl bei der Definitiv- als auch der Wurfprüfung) diesem Zustand besondere Aufmerksamkeit (Schutzschlauchanbringung/Fremdschichtentfernung) zu widmen. Gerade bei Störungen in den Ortsnetzen, deren Behebungen meist nach Eile drängen, sowie bei fehlendem Tagessicht können dann bei den erwähnten Arbeitsschutzmaßnahmen (Fig. 12) derartige, meist relativ dünne Fremdschichten an den Leiterseilen (als lediglich verwittert angesehen) vom Betriebspersonal leicht übersehen werden.

Vorstehende Hinweise erscheinen angebracht, obwohl der Staubauswurf aller Zementöfen in Österreich von ursprünglich 1,9 % der Klinkerproduktion im Jahre 1950 auf den bereits unbedeutenden (analogen) Wert von 0,062 % im Jahr 1970 zurückgegangen ist (Verhältniszahlen für Deutschland: 3,5/0,15 % für 1950/1967).

Literatur

- [1] E. Homberger: Schutzmassnahmen in elektrischen Anlagen, Verlag «Der Elektromonteur», Aarau (1973), 271 S., 190 Fig.
- [2] 88 Schrifttumsquellen zum arbeitsschutzechnischen Thema «Spannungsprüfer-Fehlanzeigen bei fremdschichtbehafteten (anzementierten) Ortsnetz-Freileitungsseilen» (beim Verfasser erhältlich).
- [3] G. Irresberger: Zur Frage des Isolationswiderstandes von Oxyd-, Email- und Lackschichten (dargestellt am Beispiel des Feuerschutzhelmes), Berufsgenossenschaft 1961, Heft 5, S. 200...202.
- [4] G. Irresberger: Die Starkstrombeeinflussung bei Leitungsparallel läufen – in Sicht des Arbeitsschutzes, Praktisches Wissen 1971, Band 45, Heft 11, S. 8...12; Heft 12, S. 6...9.

Adresse des Autors

Ing. G. Irresberger, Direktionsassistent der OKA, Anton-Bruckner-Strasse 5, A-4810 Gmunden, Österreich.