

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: 68 (1977)

Heft: 11

Artikel: Ausführung, Anwendung und Prüfung von teil- und vollisolierten Leitern zur Standortisolierung

Autor: Irresberger, G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915032>

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: 15.03.2026

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

Ausführung, Anwendung und Prüfung von teil- und vollisolierten Leitern zur Standortisolierung

Von G. Irresberger

Bei teil- und vollisolierten Leitern liegt die Überschlagspannung zwischen zwei Sprossen bei minimal 105 kV_{eff}, der Ableitstrom für eine Meßstrecke von 2,5 m und einer Prüfwechselspannung von 75 kV_{eff} bei etwa 22 µA. Da die Reizschwelle des Menschen für technischen Wechselstrom (50 Hz), für Stromweg: Hand-Fuss und für Männer, bei etwa 750 µA liegt, können beide Leiterntypen im trockenen Zustand selbst für den Mittelspannungsbereich (5...30 kV) als hochisolierend bezeichnet werden.

In elektrotechnischen Betrieben nimmt bekanntlich die Standortisolierung für die Belange des Arbeitsschutzes einen breiten Raum ein. In elektrisch-isolierender Ausführung gegen technische Gleich- und Wechselströme kennt man hauptsächlich die speziellen Fussbodenbeläge, Matten, Schemel, Klapp-Podeste, Leitern, Hebebühnen, Turmwägen sowie Isolierluftkörbe. Im Zusammenhang mit elektrostatischen Vorgängen kommen ferner antistatische sowie leitfähige Matten, für einige weitere Sonderfälle schliesslich magnetische sowie amagnetische Matten zur Anwendung. Die folgenden Darlegungen beziehen sich indessen nur auf die Ausführung, Anwendung sowie Prüfung von (ortsveränderlichen) teil- und vollisolierten Leitern, wie sie zur Standortisolierung in elektrischen Anlagen und auf Leitungen in letzter Zeit immer mehr in Verwendung kommen.

Vorschriftenlage über Standortisolierung

Gemäss den Allgemeinen Bestimmungen für den Betrieb von Starkstromanlagen: VDE 0105/Teil 1/5.75 ist (entsprechend § 9.1) das Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen bis 500 V in Ausnahmefällen und unter Bedingungen erlaubt¹⁾; unter die vielfältigen Arbeitsbehelfe fallen hiebei unter anderem auch (entsprechend § 11.1 h) die Mittel für das Isolieren des Standortes. Grundsätzlich müssen dabei alle derartigen, dem Arbeitsschutz dienenden Einrichtungen eine ausreichende elektrische und mechanische Festigkeit besitzen. Die analogen österreichischen Vorschriften: ÖVE-E 5/Teil 1/1964 besagen (in § 15 und 17,01) sinngemäss dasselbe.

Trend zur Kunststoffleiter

In den beiden letzten Jahrzehnten setzten sich in den Betrieben – wohl ganz allgemein – immer mehr die Metallleitern durch; vorzugsweise handelt es sich hiebei um Ausziehleitern (auch Schiebeleitern genannt), die teilweise auch an Montagetage-Kombiwägen befestigt sind. Dabei gibt es keinen Zweifel darüber, dass nicht nur die höhere Unfallsicherheit, sondern auch die grössere Lebensdauer gegenüber Holzleitern die Mehrkosten der Anschaffung solcher ambulanter Metallleitern rechtfertigen. Dazu kommt, dass es für den Letztverwender (Monteur) bis heute keine einfachen, zugleich objektiven wie praktikablen Prüfmethode gibt, den Gesundheitszustand von Holz festzustellen, und dass kleinere Länder zum Teil nicht über das erforderliche Trockenholz für Leitern verfügen und es somit importieren müssen. Dennoch gibt es Betriebe, die Kunststoffleitern anstelle von Metall-

En ce qui concerne les conducteurs munis d'une isolation partielle ou totale, la tension de contournement entre deux échelons est au minimum de 105 kV_{eff}, compte tenu d'une distance de mesure de 2,5 m et d'une tension alternative d'épreuve de 75 kV_{eff}, le courant de décharge est d'environ 22 µA. Etant donné que la limite inférieure de sensibilité de l'homme au courant alternatif technique (50 Hz) – sens de courant main-pied, pour un homme – se situe à environ 750 µA, on peut considérer que les deux types de conducteurs, lorsqu'ils sont en état sec, présentent une isolation élevée même dans le cas de tensions moyennes (5...30 kV).

tern haben wollen; meist handelt es sich um Chemiebetriebe, in denen Leitern mit chemischen Gasen, Dämpfen oder Flüssigkeiten in Berührung kommen können und bei denen dann naturgemäss mit Werkstoffabtragungen (Korrosionen) gerechnet werden muss.

Da in Elektrizitätsversorgungsunternehmen, Elektroinstallationsbetrieben und Elektroversuchsanstalten der Schutz gegen Einwirkungen technischer Gleich- und Wechselströme vorrangige Bedeutung gegenüber Gefahren anderer Natur hat, scheinen selbstverständlich diese Betriebe unter den Hauptbedarfsträgern solcher Kunststoffleitern auf. Und bezüglich der Voraussetzungen hierfür wäre festzustellen: Die Entwicklung der Kunststoffe und deren ständige Vervollkommenung machte es möglich, dass heute bereits ausgereifte und bewährte Konstruktionen solcher Kunststoffleitern (Fig. 1) vorliegen.

Werkstoffe für Kunststoffleitern

Da Leitern zu der Gruppe der tragenden, also hochbeanspruchten Bauteile zählen, scheidet die Verwendung von thermoplastischen Kunststoffen aus; für den Bau solcher Leitern kommen vielmehr duroplastische Kunststoffe in Frage. Eine Untersuchung, unter Einbeziehung aller wesentlichen Gesichtspunkte (wie etwa spezifisches Gewicht, erzielbare Druck-, Biege- und Zugfestigkeit, gute Verarbeitungsmöglichkeit sowie vertretbarer Preis) ergab eindeutig, dass für den Bau solcher Leitern glasfaserverstärktes Polyester am geeignetsten ist. Polyester ist bekanntlich ein Kunststoff-Giessharz, das durch die Einbettung von Geweben, Matten oder Strängen aus Glasfasern die für hochbeanspruchte Teile²⁾ erforderliche Festigkeit erhält. Der Aufbau dieses Werkstoffes ist dabei mit dem Einlegen von Stahlarmierungen in Beton vergleichbar. Durch entsprechende Festigkeitsversuche wurde der günstigste, mehrschichtige Glasfaseraufbau für die Leiterholme (Fig. 2) ermittelt. Durch geeignete Massnahmen wird eine besonders glatte Oberfläche der Profile erzielt und die Feuchtigkeitsaufnahme des Werkstoffes, selbst bei Lagerung im Wasser, so weit herabgesetzt, dass sie kaum messbar ist. Im Gegensatz zu Holzleitern ist dadurch ein praktisch immer gleichbleibender elektrischer Widerstand, also ständig eine einwandfreie elektrisch-isolierende Wirkung gewährleistet.

¹⁾ Für die Schweiz: Starkstromverordnung Art. 7, Abs. 3.

²⁾ Bull. SEV 63(1972)25, S. 1515.



Fig. 1 Vollisolierte, sechssprossige Stehleiter aus Kunststoff (Polyester), von konischer Form, beidseitig besteigbar
(Werkbild: Zarges-Leichtbau, Weilheim)

Ansonst haben aber Holzleitern in der Regel einen beachtlich hohen (im Megohm-Bereich liegenden) Isolationswiderstand, der sogar bei Feucht- oder Nasslagerung noch erstaunlich hoch sein kann. Beispielsweise hatte eine 13sprossige Anlegeleiter, deren Holme aus Fichte und deren Sprossen aus Eiche gefertigt waren, nach einer 12tägigen Lagerung unter Wasser in einem Flusslauf nahe des Einlaufbauwerkes des 202-MW-Wärmeleistungswerkes Timelkam (OKA) einen Isolationswiderstand von immerhin noch 285 000 Ohm, bezogen auf eine Messlänge von 3570 mm, eine Wassertemperatur von im Mittel 12,3 °C und eine Wasserleitfähigkeit von im Mittel $292 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$. Dabei blieb der Widerstand bereits unverändert, wenn als Prüfelektroden anstelle von Stanniol-Aussenbelägen achsenmittig Eisennägel 25 bis 100 mm tief ins Holmholz eingeschlagen worden waren (Fig. 3). Analoge Messungen mit 220 V und 500 V Wechselspannung bestätigten (mit praktisch gleichen Werten) für diesen Fall den rein ohmschen Widerstandscharakter.

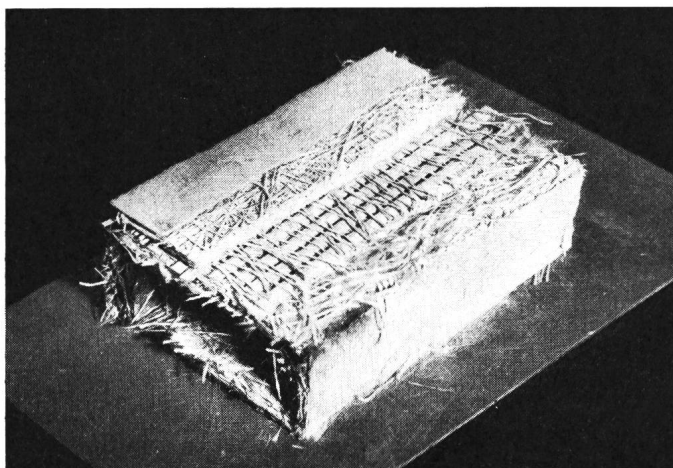


Fig. 2 Mehrschichtiger Glasfaseraufbau für die Leiterholme einer Leiter gemäss Fig. 1
(Werkbild: Zarges)

Festigkeitsversuche an Kunststoffleitern

Unbeschadet bestimmter Anforderungen an Kunststoffleitern in elektrischer Hinsicht erscheint selbstverständlich auch eine ausreichende mechanische Festigkeit (einschliesslich ihres Nachweises) unabdingbar. Da Leitern in der Praxis im ständigen Wechsel be- und entlastet werden, wurden solche Kunststoffleitern nicht nur nach der im einschlägigen Normblatt DIN 4566 vorgeschriebenen statischen Belastung (Fig. 4) geprüft, sondern darüber hinaus auch einer Reihe der in der Praxis vorkommenden Beanspruchung möglichst nahekommender Biege- und Verwindungsdauerversuche unterworfen. Dabei ergab sich auch bei Einwirkung von Temperaturen bis 120 °C oder mehrmonatiger Lagerung der Leitern in 15prozentiger Salzsäure keine messbare Verringerung der ursprünglichen Festigkeit.

Stehleitern aus Kunststoff

Im Betrieb der Oberösterreichischen Kraftwerke Aktiengesellschaft (OKA), Linz/Donau, Landesgesellschaft für die Stromversorgung Oberösterreichs, sind nun seit mehr als zehn Jahren vollisolierte Kunststoffleitern mit bestem Erfolg in Gebrauch. Es handelt sich vorzugsweise um achtsprossige Stehleitern von 2,5 m Länge, von konischer Form, welche beidseitig besteigbar sind; die äussere Breite beträgt oben 355 mm, unten 620 mm. Wegen der besseren Erkennbarkeit sind die rechteckigen Kunststoff-Hohlprofile der Holme (mit den Abmessungen: $65 \times 30 \text{ mm}$) hellgrau, die quadratischen Kunststoff-Hohlprofile der (überdies zum Zwecke der Gleitsicherheit kräftig geriffelten) Sprossen (mit den Abmessungen: $30 \times 30 \text{ mm}$) gelb gefärbt (Fig. 5). Die Spanngurte (als Spreizsicherung gegen Auseinandergleiten der Leiter) bestehen aus Nylon, die Scharniere und Scharnierbolzen sind aus Metall gefertigt. Von aussen nicht erkennbar, sind in die Holmenden besondere Füllstücke eingearbeitet, die einerseits einen zusätzlichen Schutz der Holmenden gegen mechanische Beanspruchung darstellen und andererseits zur Befestigung der gummibewehrten Kopf- und Fussbeschläge dienen.

Schaffung von «teilisolierten Leitern»

Bei den Leitern wird ganz allgemein die Sprosse als schwaches Glied angesehen; gedacht wird dabei naturgemäss an Holzleitern (Ausführung von Holzleitern gemäss z. B.

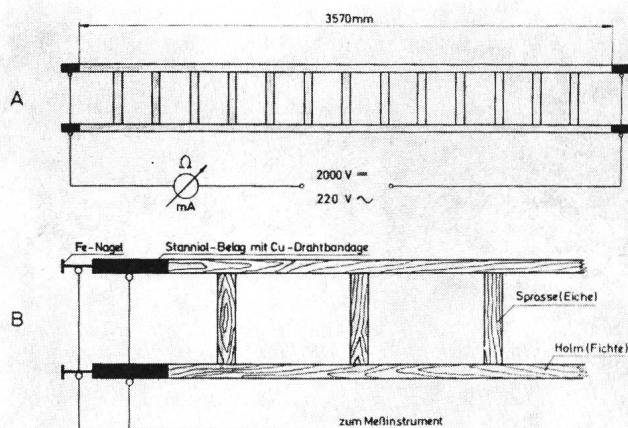


Fig. 3 Schema für die Bestimmung des Gesamtisolationswiderstandes einer hölzernen Anlegeleiter
(mittels verschiedener Prüfelektroden und Prüfspannungen)

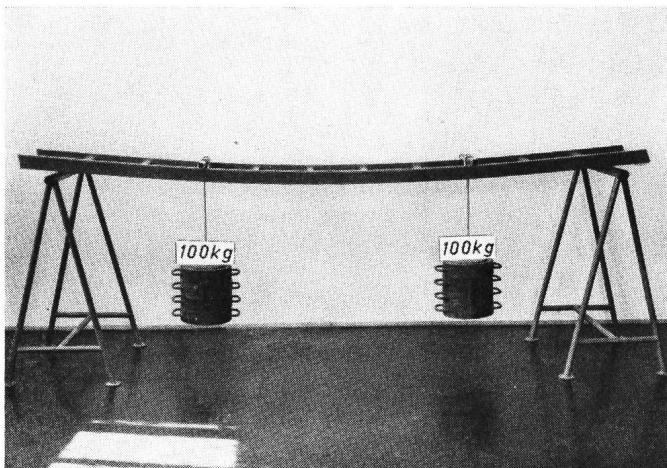


Fig. 4 Statische Belastungsprobe einer Anlegeleiter aus Kunststoff gemäss Normblatt DIN 4566
(Werkbild: Zarges)

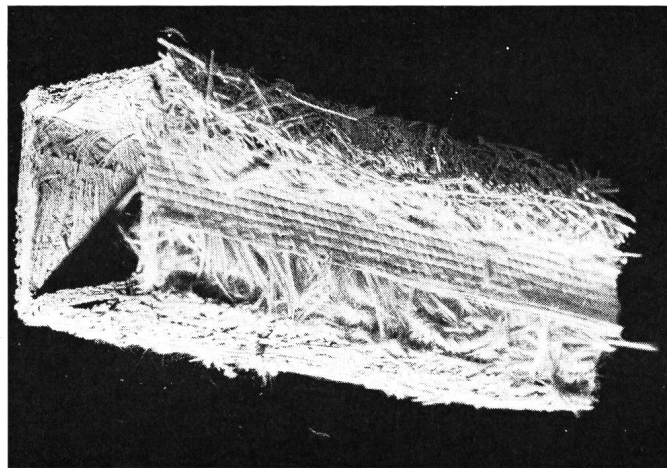


Fig. 5 Mehrschichtiger Glasfaseraufbau für die Sprossen einer Leiter gemäss Fig. 1
(Werkbild: Zarges)

DDR-Standard TGL 3940/4111, Gütevorschriften für Holz für Leitern gemäss z. B. Normblatt DIN 68.362). Der Schaffung eines neuzeitlichen Leiterntyps lagen daher zwei entscheidende Gesichtspunkte zugrunde: Die Technik der glasfaserverstärkten Kunststoffe (GFK) ermöglicht es bereits, einerseits Holme von hoher mechanischer Festigkeit bei zugleich bestisolierenden Eigenschaften herzustellen und damit eine spürbare oder gar gefährliche Stromableitung gegen Erde zu verhindern, andererseits die Sprossen trotzdem in Leichtmetall auszuführen, welches annähernd Stahlqualität besitzt und die bei Holz besonders gefürchtete Bruchgefahr praktisch ausschliesst. Die Verwirklichung beider Ziele findet sich nun in den «teilisolierten Leitern», deren Holme also aus (reinorangefarbigem) Kunststoff und deren Sprossen aus Leichtmetall gefertigt sind.

Bei den teilisolierten Leitern verdienen aber noch zwei andere Ausführungsformen erwähnt zu werden: Zweirad-fahrleitern (Maschinenleitern), deren Stahlverspannungen – auch Metallgalerien (Fig. 6) genannt – mehrere elektrisch aufgetrennte Zonen besitzen; derartige galvanische Längsunterbrechungen erzielt man bekanntlich durch den Einbau von Schnallenisolatoren (Fig. 7). Denselben Effekt kann man erzielen, wenn man bei den gewöhnlichen Metalleitern in beiden Holmen mehrere elektrisch-isolierende Zwischenstücke einbaut; ein solcher Leiternprototyp ist an der Mitte März 1976 durchgeführten Wiener Internationalen Messe zuständigen Interessengruppen vorgestellt worden.

Wenn auch ein elektrischer Unfall von letzthin die Problematik von Schnallenisolatoren mit aller Deutlichkeit aufgezeigt hat, darf nicht vergessen werden, dass der jeweils gewünschte elektrische Sicherheitsgrad einer Isolierleiter vom Bedarfsträger her (Verwendungszweck) wesentlich beeinflusst wird (z. B. geringere Anforderungen an die Leiterisolation für einzelne Betriebssparten der öffentlichen Post-, Telefon- und Telegrafenerwartungen). Bei Leichtmetall-Klappleitern, die sowohl als Steh- als auch als Anlegeleiter verwendbar sind, wird daher für die kunststoffsichtüberzogenen Metallholme sowie die mit Isolierschrumpfschläuchen überzogenen Metallsprossen oft nur eine Prüfspannung von 2000 V vorgeschrieben. Demgegenüber liegt daher zum Beispiel die mittlere Durchschlagfestigkeit von Schrumpfschläuchen im ungealterten Zustand bei etwa 20 kV/mm, nach vier-

tägiger Lagerung bei 98 % relativer Luftfeuchte immerhin noch bei 17 kV/mm. Für PVC-Band liegt der Kleinstwert der Durchschlagfestigkeit hingegen bei etwa 38 kV/mm. Neuerdings werden derartige Sprossenisolierungen durch Umspritzen (auf einer Spritzgussmaschine) vorgenommen; diese Ausführung hat gegenüber Schrumpfschläuchen den Vorteil, dass auch bei höheren Temperaturen der Belag einwandfrei hält.

Bekanntlich stellen bei arbeitsschutztechnischen Beurteilungen von Hilfsmitteln aller Art für die Elektrotechnik einerseits der Ableitstrom, andererseits die Durchschlag- und Überschlagnspannung die massgeblichen sicherheitstechnischen Kriterien dar. Obwohl für den Werkstoff (GFK) selbst die elektrischen Gütewerte, wie spezifischer Durchgangswiderstand (gemäss Normblatt DIN 53.482), Oberflächenwiderstand (gemäss Normblatt DIN 53.482), Kriechstromfestigkeit (gemäss Normblatt DIN 53.480) sowie Durchschlagfestigkeit (gemäss Normblatt DIN 53.481), vom Herstellerwerk angegeben worden waren, schien die Durchführung verschiedener eigener Messungen unerlässlich.

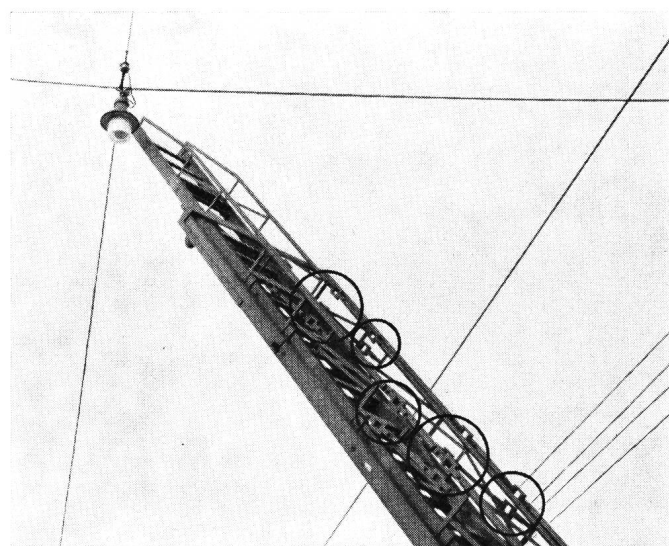


Fig. 6 Zweiradfahrleiter (Maschinenleiter) mit Stahlverspannung (Galerie)

Durch den Einbau (Hintereinanderschaltung) von Schnallenisolatoren werden mehrere elektrisch aufgetrennte Leiterlängszonen erreicht.

Durchführung der Messungen

Für die elektrischen Messungen an voll- und teilisolierten Leitern standen zunächst eine vollständige Kunststoff-Stehleiter sowie ein solches Leiternteil (mit zwei Sprossen) zur Verfügung. Diese Zweiteilung beim Prüfgut erwies sich als zweckmässig, einerseits weil man bei der Ableitstrommessung mit Hochspannung mit ziemlicher Sicherheit nicht mit irgendwelchen Beschädigungen an der Leiter zu rechnen brauchte, andererseits weil man aber bei einem Überschlagsversuch zwischen zwei Sprossen (insbesondere bei der unter anderem auch erfolgten Anordnung der Prüfelektroden nahe der beiden Holme) gewisse Lichtbogeneinbrände und Kriechstromspuren von vornherein nicht ganz auszuschliessen vermochte.

Die beiden Prüflinge waren vor den Messungen lediglich mittels eines trockenen (nichtfasernden) Putzlappens, ohne Zuhilfenahme von flüssigen Reinigungsmitteln, saubergewischt worden. Die Oberflächen der Holme und Sprossen waren demnach unbefeuchtet und unbehandelt, entsprachen also praktisch einem fabrikneuen Zustand. Einzlig und allein: Der zweisprossige Leiternteil war lediglich mehrere Jahre vor diesen Versuchen in einem Raum mit Zentralheizung gelagert gewesen. Die Prüfelektroden wurden durch 100 mm breite Stanniolbeläge gebildet; sie entsprachen damit der Nachahmung einer Berührung der Leiterholme mit der blossen Hand, wie sie auch bei unseren Messungen an feststoffisolierten Mittelspannungs-Kleinschaltanlagen (Typ Magnefix) verwendet worden sind und bei der Ermittlung des Isolationswiderstandes einzelner Ständerstäbe der grossen Turbogeneratoren (bezogen auf z. B. etwa die gleiche Messlänge von 2480 mm und eine Isolationsstärke von 4,5 mm) verwendet werden.

Das Ergebnis der Messungen an der vollisolierten Kunststoff-Stehleiter: Zunächst wäre dabei festzuhalten, dass alle hier beschriebenen Versuche bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65 %, einer Lufttemperatur von 19 °C und einem Luftdruck von 752 Torr durchgeführt worden waren (alle Werte sind Mittelwerte). Die Gleichstrommessung von 1000/2500/5000 V Prüfspannung ergab bei einer Meßstrecke von 2,25 m einen praktisch unendlich grossen Widerstand ($> 500\,000$ Megohm). Der Ableitstrom betrug bei einer Prüfspannung von 75 kV nur etwa 17 μA ; er war bei einer Prüfdauer von ein und fünf Minuten praktisch gleich. Die genannte, nicht mit der Leiterlänge identische Prüflänge war nämlich gewählt worden, um diese Messwerte mit denen aus unseren zahlreichen anderen Messungen an stangenförmigen Hochspannungs-Isolierbedienelementen, Hochspannungs-Teleskopmeßstangen, Hochspannungs-Rettungshaken, Hochspannungs-Leistungsschilderableschiffen usw., die – je nach Art des Werkstoffes (wie z. B. Hartpapier, Plexiglas usw.) – zwischen minimal 13 μA und maximal 140 μA lagen, vergleichen zu können. Für den Sprossenabstand von 280 mm lag die Überschlagsspannung zwischen 132 und 108 kV (Fig. 8) je nachdem, ob der Überschlag bewusst in Sprossenmitte oder am Sprossenende, also längs eines Holmes, herbeigeführt wurde.

Ein lackiertes und zugleich eloxiertes Firmenschild aus Aluminium (mit den Abmessungen: $31 \times 42 \times 0,5$ mm), welches an der Holm-Aussenseite angebracht war und welches sich bei Gebrauchsspannungen (von 380/220 V) bei Abtastung seiner Oberfläche als praktisch isolierend erwies,

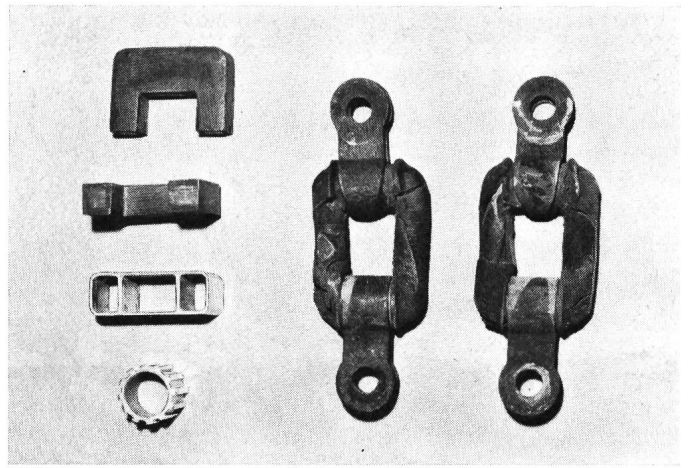


Fig. 7 Schnallenisolatoren, ausgebaut aus Strassenbahn-Fahrleitungsanlage

Bei Messungen an neuen, sauberen Prüflingen wurde deren Durchschlagsspannung (unter Isolieröl) zu 54 kV_{eff}, die Überschlagsspannung zwischen beiden Umklammerungen zu 26,2 kV_{eff} ermittelt.

setzte hingegen die Überschlagsspannung zwischen zwei Sprossen von normal 105 kV_{eff} auf bereits 95 kV_{eff} herab; ein Grund also, in Zukunft dessen Anbringung (anstatt oben im Schubteil) unten im Standteil der Ausziehleiter zu empfehlen. In diesem Zusammenhang verdient erwähnt zu werden, dass im Jahre 1956 in der Schweiz ein Monteur in einer Werkanlage verunfallte, weil bei einem ambulanten Hochspannungsanzeiger am Vorderteil des Sondenschaftes ein solches leitendes Schriftband angebracht war, welches im Augenblick des Prüfvorganges einen Sammelschienenkurzschluss (mit Flammenbogenbildung) einleitete.

Die Versuchsergebnisse decken sich praktisch mit den Messungen an einer Isolierleiter der A.B. Chance Company, Missouri (USA), die bekanntlich der älteste und grösste Lieferant für Hot-line-Werkzeugausrüstungen (Isolierfernwerkzeuge) in der Welt ist und von der übrigens auch das vor-

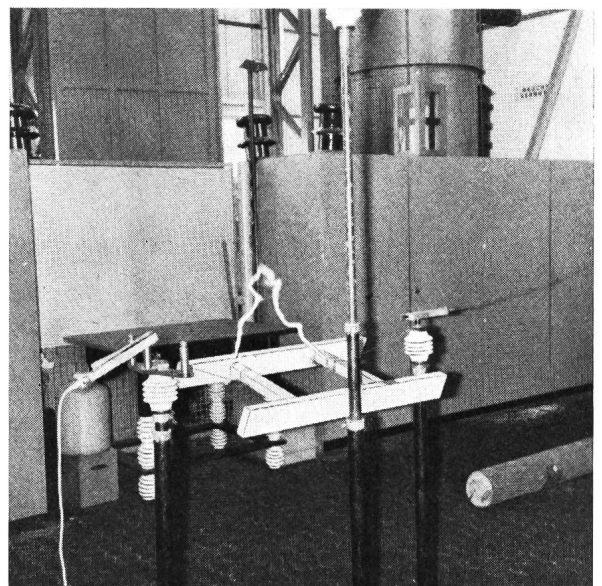


Fig. 8 Überschlag zwischen zwei Leitersprossen einer vollisolierten Leiter

In Sprossenmitte erfolgte derselbe bei einer Prüf-Wechselspannung von 132 kV_{eff} (am Sprossenende bei 108 kV_{eff}).

erwähnte Unternehmen seine Werkzeugsätze für das Arbeiten unter Spannung im 25-kV-Freileitungsnetz bezogen hat. Der Ableitstrom einer 10 m langen Isolierausziehleiter (aus Epoxyglas), die auch in einem englischen Elektrizitätsversorgungsunternehmen für Arbeiten unter Spannung an 11-kV-Freileitungen nach der Methode «Arbeiten mit der blossen Hand» verwendet wird, hatte nämlich im trockenen Zustand $7 \mu\text{A}$ betragen und stieg selbst bei Beregnung nur auf $70 \mu\text{A}$ an.

Um nun die Brauchbarkeit des neuen Leiterntyps (Isolierholme/Metallsprossen) auch für elektrotechnische Betriebe beurteilen zu können, wurden – analog den Versuchen mit der vollisolierten Kunststoffleiter – auch mit der teilisolierten Leiter gegenständliche Isolationswiderstands-, Ableitstrom- sowie Überschlagnungsspannungsmessungen (Fig. 9 und 10) durchgeführt. Das Ergebnis der Messungen an der teilisolierten Ausziehleiter: Die Gleichstrommessung bei der teilisolierten Leiter ergab wiederum (selbst bei 5000 V Prüfspannung) einen praktisch unendlich grossen Isolationswiderstand. Der Ableitstrom betrug bei einer Prüfspannung von 75 kV etwa $22 \mu\text{A}$ (Fig. 11). Die Metallsprossen hatten demnach keinen signifikanten Einfluss auf die Isolationsgüte der Leiter, ein Ergebnis, welches wohl vermutet, aber nicht mit Bestimmtheit vorausgesagt werden konnte.

In einem späteren Bericht soll darüber berichtet werden, welche Gütewerte eine teilisolierte Leiter (aus UV-stabilisiertem GFK-Werkstoff) nach einem längeren praktischen Gebrauch, insbesondere nach einer niemals ganz auszuschliessenden, länger dauernden Lagerung in freier Aussenatmosphäre mit hierorts mässiger industrieller Luftverschmutzung (durch ein grosses Industriewerk), aufweist. Ein Prüfling (Leiternteil von etwa 60 cm Länge mit zwei Sprossen) ist diesbezüglich ab sofort bereits entsprechend deponiert worden, wobei vorgesehen ist, während einer einjährigen Lagerung in freier Atmosphäre auch das Ausmass der hierbei auftretenden Witterungsunbilden, wie Nebel, Regen, Schnee und Eis, zeitmässig einigermaßen genau festzuhalten. Die erwartungsgemäss sicherlich aufschlussreichen Messergebnisse müssen verständlicherweise einer folgenden Darstellung vorbehalten bleiben.

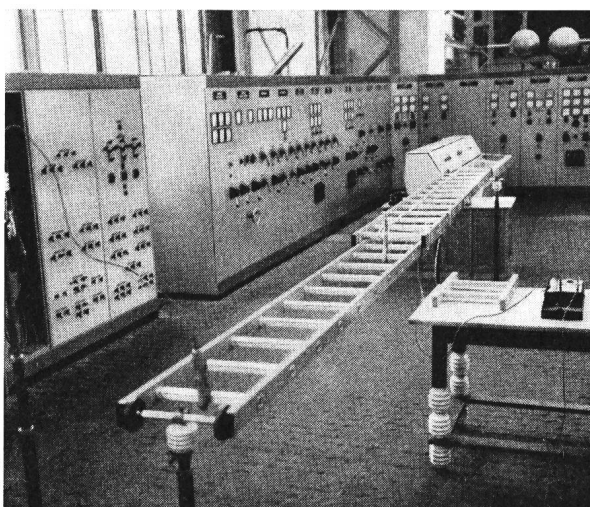


Fig. 9 Teilisolierte Ausziehleiter
Im OKA-260-kV-Prüffeld aufgebaut
zwecks Durchführung von Isolations-, Ableitstrom-
und Überschlagnungsspannungsmessungen.

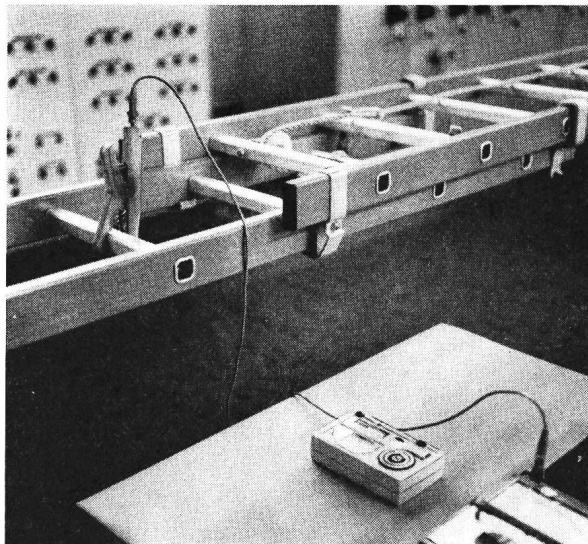


Fig. 10 Detail vom Überlappungsbereich zwischen Schub- und Standteil der teilisolierten Leiter
(Fabrikat Zarges)

Kurzschlussgefahr bei teilisolierten Leitern

Grundsätzlich ist auch bei teilisolierten Leitern zunächst die Gefahr eines Kurzschlusses durch die Metallsprossen gegeben. Diese Kurzschlussgefahr, die unter widrigen Umständen beim Anlegen einer solchen Leiter, zum Beispiel im Bereich einer Niederspannungs-Hausfassadenleitung (380/220 V) oder Kran-Schleifleitung (500 V), gegeben ist, kann man aber durch das Aufbringen elektrisch-isolierender Überzüge (Ummantelungen) auf den zumindest oberen Sprossen und oberen Holmenden (auf etwa 500 mm Länge) ohne weiteres auch nachträglich ausschalten, was (bei Niederspannung) bekanntermassen im Ausland auch schon mit Erfolg praktiziert worden ist (Prüfspannung meist 2 kV). Auch in den «Leitsätzen für das Arbeiten an Niederspannungsverteilanlagen unter Spannung» (SEV 0146.1939), welche der Schweizerische Elektrotechnische Verein (SEV) im Jahre 1939 herausgegeben hat, wird (unter § C.7) darauf hingewiesen, dass «bei Auszugsleitern zum Beispiel ein Umwickeln der Beschläge im Arbeitsbereich mit einem Isoliermaterial erforderlich ist». Da aber nicht nur ein Kurzschluss im Wege der zum Beispiel oben 355 mm breiten Sprosse selbst, sondern auch von der Holmaussenseite her (über die umgebördelten Sprossenenden) möglich ist, könnte letzterer Gefahr durch das Aufbringen von jeweils zwei Isolierabdeckkappen, für zumindest die oberste und die nächste Sprosse, begegnet werden.

Die gegenständliche Kurzschlussgefahr kann jedoch nicht nur bei Ortsnetzfreileitungen, sondern insbesondere auch im Zusammenhang mit der Verwendung solcher Leitern in grossen Akkumulatorenräumen von zum Beispiel Dampfkraftwerken oder Fernmeldeämtern gegeben sein; die Folgen können bei grossen Batteriekapazitäten und damit ausserordentlich hohen Kurzschlußströmen geradezu verheerend sein (bekanntlich ist die Kurzschlußstromstärke einer Batterie in Ampere ziemlich genau der 10fachen Ah-Zahl gleichzusetzen, also z. B. bei 500-Ah-Batterie gleich 5 kA!, die grössten Kurzschlußstromstärken mit bis zu 200 kA treten bei U-Boot-Batterien auf).

Erdpotential bei Metalleitern

Metalleitern erdpotentialfrei zu halten ist in der Praxis meist ausserordentlich schwierig (beispielsweise in Fabrikationsstätten). Die am unteren Ende der Leiter häufig vorhandenen Gummischuhe (Kunststofffüsse) bieten nämlich – auch wenn sie unbeschädigt sind – insbesondere auf Bau- und Montagestellen im Freien keine ausreichende Isolation gegen Stromübergänge zur Erde; sinken – um nur ein Beispiel zu nennen – die Leiternfüsse in aufgeweichtes, feuchtes Erdreich ein, wird die (an sich sonst erfahrungsgemäss hohe) Isolation durch ihre Überbrückung praktisch unwirksam. Dazu kommt, dass diese Schuhe aus Gummi oder (nicht abfärbendem) Kunststoff – je nach Ausführung – teils nur 8...25 mm Bauhöhe haben. Die Begründung: Als wir nämlich im Jahre 1953 im Zuge der Einführung von Schutzmassnahmen beim Aufstellen von nichtarmierten Einfachholzmasten in der Trasse eingeschalteter Hochspannungsfreileitungen unter anderem auch eingehende experimentelle Untersuchungen über den Stromdurchgang durch dünne Schichten trockenen bzw. feuchten Erdreiches auf Gummibahnen durchführten, zeigte es sich, dass bei einer Prüfwechselspannung von 30 kV über solche Fremdschichten – ehe der äusserst rasch fortschreitende Austrocknungsprozess einsetzt – Stromstärken zwischen minimal 48 μ A und maximal 136 mA übertragen werden können. Bei einer im selben Jahr durchgeführten anderen Messreihe an gummi-isolierten Bedienungsgriffen für ortsveränderliche Bodenseilzugwinden, welche bewusst mit jauchedurchtränktem Erdreich verschmutzt worden waren, betrug der anfängliche Momentanstrom (trotz der Lamellierung der Griffe) sogar 285 mA!

Es gibt aber auch noch andere Unfallsituationen mit Metalleitern: Das Erdpotential kann dabei im ganzen Leiternbereich an die Metalleiter herangetragen werden, obwohl diese (zufällig) elektrisch isolierende Gummifüsse besitzt und überdies (zufällig) auf einem elektrisch isolierenden Bodenbelag (Linoleum) steht; auch die am oberen Leiternende teils vorhandenen Aufsetzvorrichtungen können elektrisch isolierend wirken. Die Metalleiter kann nämlich beispielsweise mit ihrem oberen Ende an einem geerdeten Gebäudeteil (Stahlträger) anliegen, mit ihrem mittleren Teil ein genulltes Betriebsmittel (Hängeleuchte) oder mit ihrem unteren Ende eine genullte oder geerdete Maschine (Elektromotor) berühren. In einem konkreten Fall ist den Dienstnehmern eines Grossbetriebes im benachbarten Ausland die Sicherung der Metalleiter gegen Verrutschen durch das Anhängen der Leiter (mittels Kette und Karabinerhaken) an eine Rohrleitung sogar zwingend vorgeschrieben. Voraufgezeigte Überlegungen führten dazu, dass verschiedene Betriebe nunmehr Kunststoffleitern den Metalleitern vorziehen, obwohl von ihnen gar nicht beabsichtigt ist, etwa in den elektrischen Verteilanlagen selbst unter Spannung (im Rahmen der gesetzlichen Möglichkeiten) zu arbeiten. Allein schon das Arbeiten in der Nähe von in Betrieb befindlichen elektrischen Anlagen kann mit Kunststoffleitern mit weniger Risiko erfolgen.

Es gibt aber auch manchmal geradezu kuriose (umgekehrte) Wege von Spannungsübertragungen und in deren Folge Stromunfälle, wobei allerdings meist das Fehlen von erforderlichen Schutzmassnahmen gegen die Annahme gefährlicher Berührungsspannungen [1] hiefür mitursächlich ist: Ein Monteur erlitt einen elektrischen Unfall bei Leitungsverlegungsarbeiten in der Eisenkonstruktion der Dachbinder

einer Werkhalle. Eine mit isolierenden Gummipuffern versehene Aluminium-Ausziehleiter geriet nämlich unter Spannung, weil sie mit ihrem unteren Ende an einen Schweisstransformator angelehnt war, welcher zufällig auf einer Phase Körperschluss hatte. Als der Monteur dann die Metalleiter bestieg und von ihrem oberen Ende aus an die Eisenkonstruktion fasste, stellte er ungewollt die Verbindung zur Erde (Körperdurchströmung) her.

Es soll aber ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass Metalleitern in elektrischen Anlagen grundsätzlich ohnehin nicht verboten sind; mehr theoretisch als praktisch könnte auch das Arbeiten unter Spannung in Verteilanlagen unter Zuhilfenahme von Metalleitern durchgeführt werden, wenn zum Beispiel der Monteur sich eines elektrisch-isolierenden Kopf-, Körper-, Hand- und Fußschutzes³⁾ bedient. Andererseits hat beispielsweise ein Betrieb nach einem Stromunfall eines 19jährigen Elektrikers ein werksinternes Verbot der Benützung von Metalleitern für elektrische Montagen erlassen.

Dennoch ist es erfreulich, dass es bereits vor Jahren nicht an Versuchen gefehlt hat, durch organisch mit der Hochspannungs-Innenraum-Schaltanlage verbundene fahrbare (einschenkelige) Metalleitern die üblichen ambulanten Metalleitern zu ersetzen. Der Umgang in elektrischen Anlagen (bei Kontaktierung mit in Betrieb befindlichen Anlageteilen) hat nämlich schon zahllose folgenschwere Stromunfälle (Fig. 12), beispielsweise in einem Fall mit gleichzeitig vier Toten, in einem anderen Fall mit gleichzeitig drei Toten, verursacht. Eine solche besonders mustergültige, den Regalleitern ähnliche Leichtmetall-Fahrleitern-Anlage mit Kunststoffrollen-Fahrwerk (System Zarges), die in Höhe der Schaltzellen-Leuchtschriften (mit etwa 3200 mm Abstand über Fussboden) eine ortsfeste Fahrschiene (mit Abstellweiche) längs aller Zellen besitzt, konnte der Autor im Juni 1973 in dankenswerter Weise in den 110-kV-Innenraum-Schaltanlagen der Abspannwerke Stuttgart-Bludenzerstrasse und Stuttgart-Reuterstrasse der Technischen Werke der Stadt Stuttgart Aktiengesellschaft (TWS), Stuttgart, besichtigen.

Metalleiter – auch lebensrettend

Es können manchmal bei geradezu unglaublichen Situationen im praktischen Betrieb die Metalleitern einerseits Lebensretter, andererseits Unfallobjekte sein; dafür nur zwei Beispiele:

In dem einen Fall berührte ein Schlosser – trotz vorhergehender Warnung des Vorarbeiters – eine in 1,3 m Höhe über dem Dach einer Werkstätte entlang geführte Niederspannungsfreileitung und geriet so in den Stromkreis. Ein herbeigeeilter Mitarbeiter erkannte sofort die gefährliche Situation und warf geistesgegenwärtig eine Aluminiumleiter in die Freileitung. Dadurch verursachte er einen Kurzschluss und das Ansprechen der Sicherungen, so dass der Verunglückte von der Freileitung gelöst werden konnte.

In dem anderen Fall durchstiess in einer Prüfhalle einer der beiden der Gleitsicherheit der Aluminiumleiter dienenden metallenen Leiterfussdorne (mit Erdteller) ein am Fussboden ausgelegtes (unter Spannung stehendes) 220-V-Leuchtenkabel, wobei der Arbeiter durch Einwirkung von Elektrizität verletzt wurde.

³⁾ Bull. SEV 46(1955), S. 159, 50(1959), S. 800, 52(1961), S. 40.

Problematik von Isolierleitern

Dass auch mit Isolierleitern nicht alle möglichen Unfallsituationen in elektrischer Hinsicht aus der Welt geschafft werden können, zeigte (ohne hier wiederum auf die Frage etwa notwendiger Schutzmassnahmen gegen die Annahme einer gefährlichen Berührungsspannung [1] eingehen zu wollen) folgender interessanter Stromunfall:

In einem Gaststättenbetrieb hatten zwei Putzerinnen mehrere Metall-Luster im Saalvorplatz zu reinigen; dieser ebenerdige Platz hatte einen Belag aus Mettlacher Platten (Steinboden). Die auf der Holzleiter stehende Putzerin hielt sich nun am Luster, welcher zufällig körperschlussbehaftet war, fest, ohne auch nur die geringste Elektrisierung zu verspüren; dann liess sie sich von der am Boden stehenden Helferin einen feuchten Putzlappen zureichen. Im Augenblick der gegenseitigen indirekten Kontaktierung erhielten beide einen elektrischen Schlag, wobei die auf der Leiter Stehende infolge Schockwirkung den Halt verlor und rücklings herunterfiel. Die Putzerin blieb mit einer Gehirnerschütterung am Boden bewusstlos liegen und war mehrere (!) Monate arbeitsunfähig.

Bei Isolierleitern sind zudem drei wesentliche Momente zu beachten: Werden bei einem elektrischen Unfall zwei Leiter verschiedenen Potentials berührt (oder auch ein Aussenleiter und der Nulleiter), so ist der isolierende Standort praktisch bedeutungslos. Wird längs der Isolierleiter ein Draht, Band oder Seil aus Metall hochgezogen, so wird in diesem Fall die Leiter-Längsisolation überbrückt bzw. unwirksam gemacht, zudem aber meist auch Erdpotential zu dem auf der Isolierleiter stehenden Monteur herangebracht. Aus konkretem Anlass (Lieferung einer Kunststoff-Isolierausziehleiter mit Stahlseil!) muss daher darauf hingewiesen werden, dass das Seil für das Ausziehen der Leiter auch nicht aus Hanf, sondern gleichfalls nur aus Kunststoff sein darf. Werden schliesslich Arbeiten in der Nähe einer 110/220/380-kV-Freiluft-Schaltanlage durchgeführt, so ist mit einer elektrischen Aufladung des auf der Isolierleiter stehenden Monteurs zufolge Feldeinwirkung zu rechnen; berührt derselbe dann zum Beispiel den (geerdeten) Kandelaber-Beleuchtungsmast, kommt der mit einer Schockwirkung verbundene Ladungsausgleich zustande, was (im Augenblick eines unsicheren Standes) zum Sturz des Monteurs von der Leiter führen kann [2].

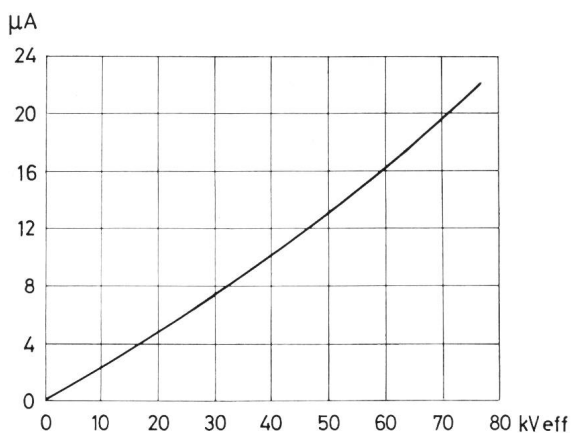


Fig. 11 Ableitstrom einer teilisolierten Leiter in Abhängigkeit von der angelegten Prüfspannung (gemäss Fig. 9 und 10)



Fig. 12 Schwere elektrische Verbrennungen am rechten Arm eines Hochspannungsverletzten, die eine Amputation desselben erforderlich machten (Stromunfall mit Zweiradfahrer mit Metallgalerie an 60-kV-Leitung)

Isolierleitern für Hot-line-Technik

Im technisch-wissenschaftlichen Schrifttum der Elektrotechnik und des Arbeitsschutzes finden sich nur ganz vereinzelt Hinweise über Ausführung und Anwendung von Isolierleitern. Auch unter den insgesamt 853 Patentschriften über Leitern (der DBP-Klasse 37g2) betraf – wie deren Durchsicht ergab – nur das Patent DBP 2,160.329 die Standortisolierung, alle übrigen behandeln, sicherheitstechnisch gesehen, hauptsächlich nur die Stand-, Kipp-, Anstoss- und Absturzsicherheit bei Leitern. Über Turmwägen mit isolierten Arbeitsbühnen ist an anderer Stelle [2] bereits das Wesentliche gesagt und die Patentschriften genannt worden (siehe auch [3]).

Mit der stetigen Verbreitung der verschiedenen Methoden des Arbeitens unter Spannung an vorwiegend Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen, die dem Bedürfnis nach Unterbrechungslosigkeit der Stromversorgung und nach Vervollkommen der Versorgungszuverlässigkeit besonders Rechnung tragen⁴⁾, gewinnen jedoch die Isolierleitern immer mehr an Bedeutung, wenn man von den noch besser isolierenden Isolierluftkörben aus Fiberglas (Modell OHIO-BRASS/HOLAN) absieht, welche von grossen Fahrzeugen aus (ölhydraulisch) hochgefahren werden (Fig. 13) und welche bereits bei Höchstspannungsversuchsleitungen mit Nennspannungen bis zu 775 kV eingesetzt wurden. Da diese Techniken ihren Ursprung in den USA haben, sind daher früher zumeist nur Angaben über amerikanische Anlege-, Steh- und Ausziehleiter aus Kunststoff (z. B. der Putnam Rolling Ladder Company, Hopfield Manufacturing Company) bekanntgeworden.

Die Isolierleitern für die Hot-line-Technik (z. B. der A. B. Chance, Centralia/Missouri) kennzeichnen sich dabei gegenüber den üblichen Leitertypen durch drei Momente besonders aus: Diese Leitern werden für Arbeiten unter Spannung nach der Methode «Arbeiten auf Potential» auch waagrecht benützt und besitzen für den gleichzeitigen Stand (oder Sitz) zweier Monteure einschliesslich Material die entsprechende mechanische Festigkeit. Zwecks Fernhaltung des Erdpotentials (Masttraverse) vom Zweimann-Spezialtrupp fehlt bei diesen Leitern eine grössere Anzahl der oberen Leiterspros-

sen gänzlich. Bei den Isolierleitern, die für Arbeiten unter Spannung nach der Methode «Arbeiten mit der blossen Hand» verwendet werden, sind die oberen Sprossen der Leiter metallisiert ausgeführt; sie werden mit dem Leiter der Freileitung, an dem gearbeitet werden soll, verbunden. Schliesslich ist auch einiges über die in der UdSSR verwendete Isolierleiter vom Typ AG-20 bekanntgeworden, die das Auswechseln von schadhaften Isolatoren und Klemmen an 110-kV-Leitungen während des Betriebes derselben ermöglichen.

Im Hinblick auf die grosse Verantwortung bei gegenständlichen Arbeitstechnologien (Personenrisiko) hat man aber ausserordentlich strenge Maßstäbe bei Auswahl und Gütewerten solcher Isolierleitern sich angelegen sein lassen. Ein grosses amerikanisches Elektrizitätsversorgungsunternehmen hat sich beispielsweise erst nach einem 18 Monate langen Studium, welches Versuche mit über 75 Leitern verschiedener Materialien und Konstruktionen einschloss, zur Einführung einer bestimmten Epoxyglasleiter entschlossen. Ein anderes amerikanisches Unternehmen hat für Arbeiten an Hochspannungsfreileitungen sowie in Hochspannungs-Freiluftschaltanlagen zwei Typen leichtgewichtige Isolierleitern aus Fiberglas (Fabrikat American Allsafe Company) eingeführt, die ansonst den Anforderungen gemäss Code Nr. A-14.2/1974 des American National Standards Institute entsprechen; beide Modelle, die die vorgeschriebene Prüfung mit 100 kV Wechselspannung bestanden haben, besitzen am oberen Ende kräftige Einhängehaken aus Metall. Die 3 m lange Isolierleiter wiegt etwa 16,5 kg, die 6 m lange etwa 24 kg.

4) Bull. SEV 63(1972)16, S. 947.

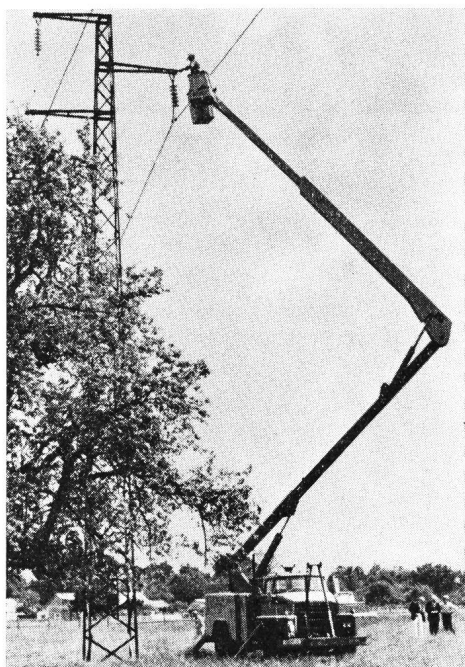


Fig. 13 Spezialfahrzeug mit Isolierluftkorb (Fabrikat Holan)

Für Arbeiten unter Spannung an 90-kV-Leitungen der Electricité de France (EdF), Paris, nach der Methode «Arbeiten auf Potential» (Werkbild: EdF-Instruktionszentrum Ile du Rhin, Ottmarsheim).

Technik der Schwingleitermethode

Bekanntlich werden in der Deutschen Demokratischen Republik – wie erst einige Jahre später bekanntgegeben wurde – seit dem Jahre 1971 an Hochspannungsfreileitungen mit Nennspannungen von 25...380 kV regelmässig Arbeiten unter Spannung durchgeführt. Für den Spannungsbereich 110...380 kV lassen sich dabei fast alle Arbeiten an der Isolation, an den Armaturen und auch am Leiterseil (durch die Anwendung von Seilfahrstühlen) nach der «Methode der pendelnden Hängeleitern» (Schwingleitermethode) ausführen. Sie hat den Vorteil, dass die Arbeiten mit wenigen und leichten Arbeitsmitteln, unabhängig von den topographischen Bedingungen und ohne Einsatz der schweren und teuren mobilen Montagelifte «Skyworker» vorgenommen werden können.

Bei dem Mastkopfbild mit mehreren in einer Ebene liegenden Leiterseilen wird neben jeder Isolatorenauflängung eine über Kreuzgelenke pendelnd aufgehängte Hängeleiter angebracht. Durch Heranziehen der ersten Leiter an den Mastschaft über ein am unteren Leiterende angebrachtes Zugseil kann diese Leiter bestiegen und anschliessend wieder in die vertikale Lage zurückgeführt werden. Bei notwendigen Arbeiten am zweiten oder dritten Leiterseil gelangt der Monteur durch Übersteigen von der ersten Leiter auf die herangezogene zweite Leiter und von der zweiten zur dritten Leiter an den jeweils erforderlichen Arbeitsort. Das Verfahren der Schwingleitermethode ist unter anderem in den (22 Druckseiten umfassenden DDR-Patentschriften Nr. 104.007/106.237/111.760 ausführlich behandelt worden, so dass hier auf weitere Angaben verzichtet werden kann.

Die isolierenden Hängeleitern werden dabei im Baukastensystem für die Nennspannung 110, 220 und 380 kV nach einer bewährten Klebtechnologie hergestellt. Der Vorteil liegt in der beliebigen Zusammenstellbarkeit der jeweils erforderlichen Leiterlänge und im einfachen Transport der kurzen Einzelteile. In den einschlägigen DDR-Vorschriften über Isolierhängeleitern sind die Bedingungen zur Herstellung, Prüfung, Wartung und Reparatur sowie zur Lagerung und zum Transport enthalten; damit wird erreicht, dass das Montagepersonal absolutes Vertrauen in die Funktionstüchtigkeit und Isolationsfestigkeit dieses Leitertyps hat.

Die zahlreichen Untersuchungen an solchen Isolierhängeleitern sind aber keineswegs nur elektrischer Natur gewesen. An mechanischen Untersuchungen wurden zum Beispiel Biegeversuche an Leitersprossen durchgeführt. Die Sprossen wurden dabei in der Mitte belastet; erst bei einer Last von 660 kp rissen die Sprossen von den Holmen ab; zum Vergleich: Bei gewöhnlichen Leitern müssen die Sprossen einer Mindestbruchlast von 400 kg standhalten. Die elektrische Überprüfung wird mit Wechselspannung (50 Hz) vorgenommen; das 4 m lange Oberteil einer isolierenden Hängeleiter wird bei der Typenprüfung selbst mit 680 kV während 5 Minuten geprüft, was einer spezifischen Prüfspannung von 1,7 kV/cm entspricht. Die elektrischen Überprüfungen gelten als bestanden, wenn hierbei kein Überschlag auftritt, an der Isolierstoffoberfläche keine Entladespuren feststellbar sind, keine Erwärmung nachweisbar ist und – als besonders entscheidend – der gemessene Ableitstrom 100 μ A nicht übersteigt.

Vom konstruktiven Standpunkt wäre noch folgendes zu erwähnen: Um die für den Hoch- und Höchstspannungsbe-

reich benötigten beträchtlichen Pendelleiterlängen transportieren zu können, werden die Pendelleiterteile und Verbindungsstücke zusammengeschraubt, wozu an den Leiterholmenden Schraubmuffenteile vorgesehen sind. Dieselben werden mittels Überwurfringmutter zusammengehalten und weisen aus Gründen der Vermeidung ausgeprägter Knickpunkte an den Leiterholmverbindungen einen konischen Übergang zum Holmquerschnitt auf. Grundsätzlich ist der Arbeitsbereich des Monteurs nach oben hin durch Fehlen einer Reihe von Sprossen im Pendelleiteroberteil begrenzt, so dass für ihn keine Möglichkeit der teilweisen Überbrückung der Isolatorreihe oder des Aufsteigens in eine Gefahrenzone des Erdpotentials besteht. In diesem Bereich sind deshalb in grossen Abständen lediglich einige Distanzstücke vorgesehen. Dabei ist wesentlich, dass ganz allgemein derartige Arbeiten unter Hochspannung ⁵⁾ nicht bei allen Witterungs-

lagen vorgenommen werden können, wie zum Beispiel bei relativen Luftfeuchtigkeiten grösser als 80 % sowie bei Nebel, Regen und Schneefall.

⁵⁾ In der Schweiz ist das Arbeiten unter Hochspannung noch nicht gestattet (St.VD Art. 7, Abs. 2).

Literatur

- [1] E. Homberger: Schutzmassnahmen in elektrischen Anlagen, Verlag «Der Elektromonteur», Aarau (1973), 271 S., 190 Fig.
- [2] G. Irresberger: Isolierstangen und Isolierleitern, Technische Rundschau 1963, Band 55, Heft 32, Seiten 17, 19, 21; Heft 34, Seiten 19, 21, 23; 26 Fig.
- [3] G. Irresberger: 161 Schriftumsquellen zum sicherheitstechnischen Thema «Ausführung, Anwendung und Prüfung von teil- und vollisolierten Leitern zur Standortisolierung» (beim Verfasser erhältlich)

Adresse des Autors

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

Les câbles d'énergie à l'époque actuelle et leurs perspectives d'avenir

Par G. Wanser ¹⁾

Die in Ballungsgebieten steigende Bevölkerungsdichte und die wachsenden Ansprüche der einzelnen Menschen beeinflussen bei der zunehmenden Nutzung der elektrischen Energie unmittelbar die Entwicklungsrichtungen auf dem Gebiet der Energiekabel. Die zunehmenden Leistungen bei der Energieübertragung führen zum Einsatz höherer Spannungen und zur Anwendung besonderer Kühlmassnahmen bei den klassischen Ölkabeln. Wenn die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der gegenwärtigen Kabeltechnik erschöpft sind, ist mit der Einführung von gasisolierten Kabeln und von Kabeln mit Supraleitern zu rechnen. Die Probleme der Energieverteilung werden durch Verwendung grösserer Leiterquerschnitte und durch Anheben der Spannungsebenen zu lösen sein. Über zu erwartende Probleme wird berichtet, Lösungsmöglichkeiten werden aufgezeichnet.

1. Technique des câbles et économie de l'énergie

Notre monde actuel se trouve dans une période de mutation technologique principalement déterminée par deux facteurs:

- Le nombre des humains vivant sur terre s'accroît de manière démesurée.
- Les besoins de chacun pris séparément augmentent au delà des limites normales.

Les relations esquissées par la fig. 1, permettent d'entrevoir que les deux facteurs cités ne demeurent pas uniquement sans influence sur les besoins estimés d'énergie, mais qu'ils ont aussi une incidence sur la technique des câbles.

Les problèmes d'alimentation en énergie électrique des grandes zones urbanisées sont posés dès à présent.

C'est précisément au cours de ces derniers temps que des échanges très amples d'expériences et d'idées ont eu lieu au cours de conférences à Paris, Berlin et à Atlantic-City.

Pour commencer, je donne une vue générale sur les problèmes de l'avenir qui vont se poser en vue d'assurer l'alimentation en courant par voie souterraine des grandes agglomérations et montre, en même temps, les apports que l'on peut espérer de la technique des câbles dans la résolution de ces problèmes.

La densité croissante de la population dans les zones urbanisées et les exigences croissantes de l'homme contribuent à faire augmenter la consommation d'énergie électrique et elles influent de ce fait directement sur les tendances de développement dans le domaine des câbles électriques. Les puissances toujours plus élevées à transporter conduisent à utiliser des tensions supérieures et des systèmes de refroidissement spéciaux pour les câbles à huile classiques. Lorsque seront épuisées les possibilités techniques et économiques de l'actuelle technologie des câbles, il faudra s'attendre à l'introduction de câbles isolés au gaz et de câbles à supra-conducteurs. Pour résoudre les problèmes du domaine de la distribution de l'énergie, il faudra utiliser des câbles de section supérieure et relever les niveaux des tensions. L'exposé ci-après traite des problèmes qui surviendront et en montre des solutions.

Suivant les estimations du VDEW (Association des producteurs allemands d'énergie électrique) l'accroissement annuel de consommation en courant en Allemagne se situera entre 2 et 3 % du produit national brut.

Personnellement, je pense que nous serions bien avisés, en situant nos investissements futurs plus près de la limite supérieure en escomptant plutôt un taux d'accroissement de l'ordre de 7 %. Il n'est pas douteux, que les problèmes liés à l'utilisation croissante de l'énergie électrique trouvent leur répercussion sur la technique des câbles.

Nos exigences relatives aux câbles d'énergie des points de vue du transport de la production comme des possibilités de montages simplifiés et d'une fiabilité de service, conjuguées à la rentabilité doivent être plus élevées, si nous voulons pouvoir assurer de la manière habituelle notre alimentation en courant pour l'avenir.

Le mode de transport de l'énergie électrique dépendra largement de la distance existant entre les centrales et les points importants d'utilisation. On peut estimer qu'à l'avenir, sur base de nos récentes considérations, il y aura entre 15 et 20 % de l'ensemble des centrales de production installées à

¹⁾ Extrait d'une conférence présentée à la 59^e Assemblée générale du VDE à Munich (traduction).