Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 63 (1972)

Heft: 25

Artikel: Kunstharz-Glasfaser-Schutzdach als Berührungsschutz bei 60 kV-Betonmast-Sanierungsarbeiten während des Betriebes

Autor: Irresberger, Georg

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915779

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: 11.12.2025

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

Kunstharz-Glasfaser-Schutzdach als Berührungsschutz bei 60 kV-Betonmast-Sanierungsarbeiten während des Betriebes

Von *Georg Irresberger*

Arbeiten in Spannungsnähe

Bei Arbeiten aller Art in oder an Starkstromanlagen bestehen bezüglich ihrer Ausführung grundsätzlich drei Möglichkeiten: Sie können im spannungslosen Zustand der Anlagen (Leitungen), unter Spannung oder in deren Nähe durchgeführt werden. Die meisten Arbeiten können und müssen in spannungslosem Zustand ausgeführt werden. Das Arbeiten unter Spannung beschränkt sich auf Niederspannung und seltene Ausnahmefälle.

Zahlreiche Arbeiten müssen allerdings im Hinblick auf die Aufrechterhaltung einer unterbrechungslosen Energieversorgung in der Nähe von Nieder- oder Hochspannung vorgenommen werden; wenn aber hiebei die Gefahr des zufälligen, unmittelbaren oder mittelbaren Berührens von benachbarten, unter Spannung stehenden Teilen besteht, sind geeignete und wirksame Schutzmassnahmen in Form von Abdeckungen die Voraussetzung dafür. Die Ungefährlichkeit der Abschirmung bezieht sich jedoch nicht nur auf den verwendeten Werkstoff sowie die endgültige stationäre Anordnung, sondern es muss auch eine gefahrlose Instellungbringung derselben gewährleistet sein, falls für diese Vorbereitungsarbeiten die Anlage selbst nicht abgeschaltet werden kann.

Studiert man nun das Unfallgeschehen eines grossen Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmens während eines mehrere Jahrzehnte umfassenden Zeitraumes [1], so zeigt sich, dass gerade Arbeiten in der Nähe von Spannung an der Gesamtunfallziffer einen wesentlichen Anteil haben. Es handelt sich hiebei vorwiegend um die Durchführung von Reinigungs-, Anstrich- und Ausbesserungsarbeiten aller Art im Bereich von Schaltanlagen und Freileitungen, die bewusst bei in Betrieb befindlichen Anlagen vorgenommen wurden, meist allerdings ohne vorher ausreichende Schutzmassnahmen getroffen zu haben. Es verdient aber festgehalten zu werden, dass gegenüber früherer Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg ein wesentlicher Wandel im positiven Sinne eingetreten ist und die Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmen in Zusammenarbeit mit den verschiedenen Arbeitsschutz-Institutionen und Elektro-Anlagenbau-Unternehmen redlich bemüht waren und weiterhin sind, da und dort sogar spezielle Schutzvorrichtungen für derlei Arbeiten zu schaffen. Dennoch hat es auch in frühester Zeit nicht an manchen originellen Lösungen eines Berührungsschutzes in Hochspannungs-Netzen gefehlt: Beispielsweise hatte man im Jahre 1917 in Amerika bei einem bestimmten, auf einem Feldbildvergleich beruhenden Verfahren zur Ermittlung schadhafter Isolatoren auf Hochspannungs-Freileitungen während des Betriebes derselben (System Crawford) als Berührungsschutz für den Beobachter auf den Stahlgittermasten einen «hölzernen Sicherheitskorb» verwendet, der einen Abstand von der Leitung von mindestens dem vierfachen Betrag der Überschlagsspannung gegen Erde gewährleistet.

Im Arbeitsschutz gilt der Grundsatz, dass einer technischen Schutzmassnahme (z. B. in Form einer Abschirmung) der unbedingte Vorzug gegenüber einer organisatorischen (psychologischen) Schutzmassnahme (zum Beispiel in Form einer Verhaltensregel) zu geben ist. Man muss immer damit rechnen, dass der Arbeitende in gewissem Umfang während der Arbeit unbeabsichtigte und unbewusste Bewegungen ausführen kann, die mehr oder minder mit der Arbeit, dem Werkzeug, dem Standort oder auch dem Arbeitenden selbst zusammenhängen. Andererseits ist es auch ausgesprochen nachteilig für den Fortgang von Arbeiten, wenn der Ausführende dauernd aufpassen muss, ob er sich nicht schon in unzulässiger Weise hochspannungsführenden Anlageteilen genähert hat; der Arbeitende muss sich in einem solchen Falle also zweierlei Aufgaben gleichzeitig widmen, so dass die erforderliche Konzentration für den Arbeitsvorgang selbst nicht mehr gegeben ist. Hinzu kommt noch, dass Abstände in Innenanlagen besser abzuschätzen und zu beurteilen sind als in Aussenanlagen. Es ging also im vorliegenden Fall im wesentlichen darum – in der Sprache des Arbeitsschutzfachmannes ausgedrückt –, hier ein «bewusstes, leicht auf- und abmontierbares, fugenloses sowie elektrisch-isolierendes Hindernis in Kopfhöhe von entsprechender Grösse» zu schaffen.

Art des Arbeitsvorganges

In der Folge soll nun ein typisches Beispiel einer Arbeit in der Nähe von Hochspannung aufgezeigt werden, das wegen der hiebei erstmals angewendeten Schutzvorrichtung verschiedene Elektro-Fachkreise interessieren dürfte: Die Durchführung von Sanierungsarbeiten an schadhaften Betonmasten (Fig. 1) in der Nähe der Leiterseile einer im Betrieb befindlichen 60 kV-Freileitung unter Benutzung eines Kunstharz-Glasfaser-Schutzdaches als Berührungsschutz.

Es handelt sich hiebei um eine zweckmässige arbeitsschutztechnische Lösung, die in Zusammenarbeit zwischen der federführenden Netzabteilung und dem zeitweise hinzugezogenen Sicherheitsingenieur des auftragvergebenden Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmens mit dem bauausführenden Elektro-Anlagenbau-Unternehmen entstanden ist.

Fig. 1
Typischer Schaden (Abbröckelung) im Bereich unterhalb der Gabel eines Betonmastes einer 7 km langen, einsystemigen 60 kV-Leitung (Baujahr 1937)

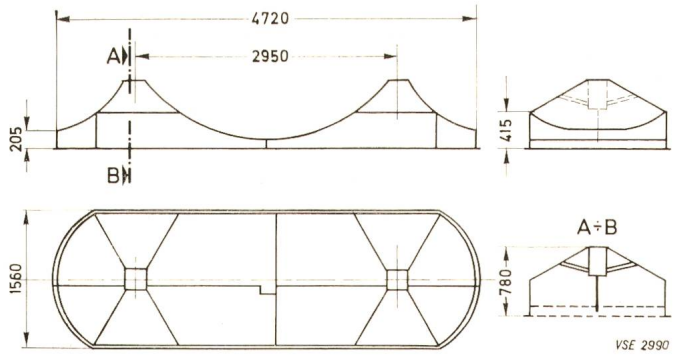

Fig. 2
Schutzdach (System Steiner) aus Kunstharz-Glasfaser von insgesamt 4 mm Stärke, mit den äusseren Abmessungen: 4800 × 1600 mm

Das Schutzdach (Fig. 2) wurde aus Kunstharz-Glasfaser von insgesamt etwa 4 mm Stärke hergestellt und hat die äusseren Abmessungen (von rund) 4800 × 1600 mm; seine Formgebung (Wölbung) ergab sich aus dem Ausschwingbild der drei Netzaussenleiter (Phasen). Die Herstellung des Schutzdaches erfolgte im Handauflegeverfahren (auch «Kontaktmethode» genannt) auf einer Negativform. Es kann in seiner Ausführung mit Schwimmbad-Überdachungselementen (aus Polyester-Kunststoff) oder Lichtkuppeln (aus Acrylglas) verglichen werden, wie man letztere (mit ähnlichen Abmessungen) neuerdings häufig bei Flachdächern von Industriebauten vorfindet.

Die in Rede stehende, etwa 7 km lange 60 kV-Hochspannungsleitung Plankenau-Arthurwerk (Baujahr 1937) gehört der Oberösterreichischen Kraftwerke Aktiengesellschaft (OKA), Linz/Donau, Landesgesellschaft für die Stromversorgung Oberösterreichs, die gegenständliche, zum Patent angemeldete Schutzvorrichtung – das Kunstharz-Glasfaser-Schutzdach (System Steiner) – wurde von der Siemens-Gesellschaft m. b. H. (Wien) entwickelt (und auch hergestellt), der diese Ausbesserungsarbeiten (ähnlich wie damals der Bau der Leitung selbst) übertragen worden waren.

Wahl des Werkstoffes

Bei der Diskussion um diese Schutzvorrichtung war man sich darüber im klaren, dass nur Vollmaterial ohne Durchbrechungen den notwendigen Berührungsschutz gewährleisten kann. Schutzgitter oder Begrenzungszeichen erschienen für die erforderliche Arbeitssicherheit entschieden unzureichend. Durch die Grundforderung, dass die Schutzvorrichtung bei in Betrieb befindlicher Leitung montiert werden kann, scheiden Metalle als Baustoffe überhaupt aus. Es kamen hiefür nur Isolierstoffe mit entsprechenden mechanischen und insbesondere elektrischen Gütewerten in Frage.

Gewählt wurde – wie bereits angedeutet – Kunstharz-Glasfaser (mehrlagig). Es musste sichergestellt sein, dass selbst im Falle einer Berührung des Schutzdaches mit einem Netzaussenleiter (Phase) der Hochspannungs-Freileitung (und zwar bei gesundem wie krankem Netzbetrieb) eine das Schutzdach anfassende Person keinen fühlbaren Berührungsstrom (Ableitstrom) abgreift, also nicht einmal eine Elektrisierung in der bekannten Form eines unangenehmen Stechens (in der Monteursprache «Biss» genannt) oder Kribbelns in der Haut verspürt. Als Reizschwelle (Wahrnehmbarkeitsgrenze) des Menschen bei technischem Wechselstrom und Industriefrequenz (50 Hz) gilt bekanntlich 750 µA für Männer und Stromweg: Hand-Fuss; hiebei ist ausserdem zu beachten, dass einerseits der intensive Entladungsstromstoss ganz kurzzeitig – überhaupt nur mehr oszillographisch messbar – wesentlich höhere Werte erreicht, ansonsten aber rasch auf den Dauerableitstrom abklingt, anderseits dass einzelne Menschen ausgesprochen stromempfindlich sind. Selbstverständlich ergeben sich grössere Streuungen bei allen derartigen Messwerten je nach örtlichen, zeitlichen und klimatischen Verhältnissen (Ableitungsgrad).

Der genannte Werkstoff ist praktisch unhygroskopisch, eine Eigenschaft, die man auch bei Polyester- und Epoxydharz-Fiberglas-Schaltstangen schätzt. Seine Wetterfestigkeit und Alterungsbeständigkeit ermöglicht es unter anderem auch, dieses Hochspannungs-Isoliermaterial bei Verteilerkästen im Freien, bei Verteilungskästen im Zuleitungssystem für die Landelichter von Flughafenanlagen und dergleichen zu benutzen. Ähnlich den am Markt befindlichen Fabrikaten besteht auch bei Eigenanfertigung die Möglichkeit, der Verwitterung (Erosion) durch Oberflächenvergütung (Laminat-Versiegelung) sowie der Vergilbung durch zusätzliche UV-Absorber zu begegnen.

Eine weitere Forderung bestand darin, dass die Schutzvorrichtung einfach in der Handhabung und gering von Gewicht (spezifisches Gewicht leichter als das von Aluminium) sein sollte, um die Anbringung und den Abbau von Mast zu Mast leicht durchführen zu können. Erwünscht war ferner, dass bei diesen Arbeiten der Lichteinfall (Fig. 3) weitgehend erhalten bleiben sollte, was Kunstharz-Glasfaser – im Gegensatz zu den sonst üblichen festen Isolierplatten aus Schichtpreßstofferzeugnissen (zum Beispiel Geax oder Pertinax) – ebenfalls erfüllte. Da ein Auffädeln des Kunstharz-Glasfaser-Schutzdaches am Schaft des Lyra-Mastes nicht möglich war, musste es für dessen Befestigung an der Mastgabel vierteilig (mit entsprechenden Aussparungen) ausgeführt werden.

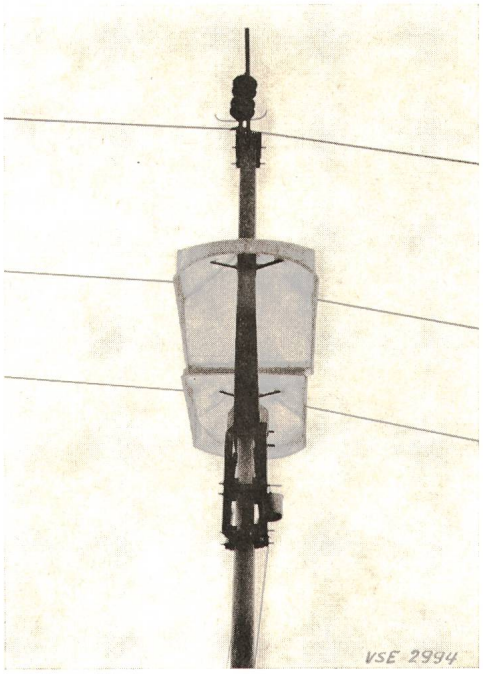

Fig. 3
Gesamtansicht des vierteiligen Schutzdaches, quer zur Leitungstrasse betrachtet; man erkennt gut die Transparenz des verwendeten Werkstoffes (GFK)

Bemerkungen zum Masttyp

Bezüglich der Ausführung der Schutzvorrichtung und des Umfangs der Sanierungsarbeiten an den Betonmasten sei folgendes festgehalten: Bei den Leitungsstützpunkten (Fig. 4)

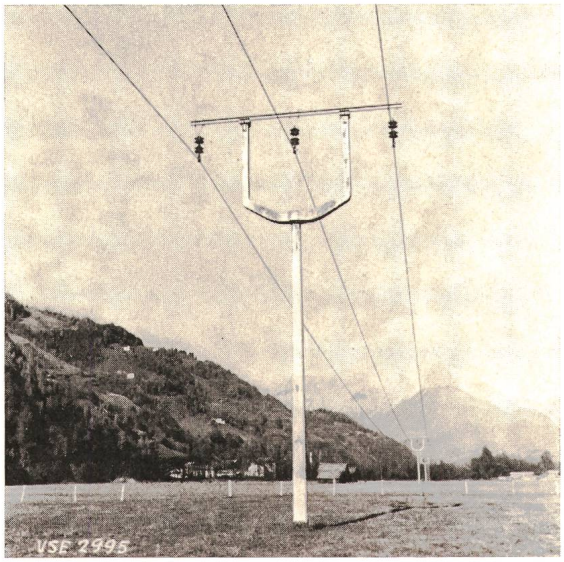

Fig. 4
Typische Mastform (Lyra-Mast) der in Rede stehenden 60 kV-Leitung (OKA); man findet sie auch bei 60 kV- und 45 kV-Leitungen zweier anderer Landesgesellschaften, sowie bei 35 kV- und 30 kV-Leitungen in Polen und Jugoslawien

handelt es sich um Stahlbetonmaste (ähnlich dem norwegischen System Meeg), deren Ausführung dem Betonwerk patentrechtlich geschützt ist. Sie haben einen säulenförmigen Schaft, der den Ausleger (Querjoch) tragende Mastkopf ist U-förmig gegabelt, so dass auch in Auslegermitte ein Hängeisolator für einen Netzaussenleiter (Phase) angeordnet werden kann (siehe hiezu auch Patent Ö.P.-Nr. 149.220/1937).

Die Betonmaste haben etwa 11,6 m Höhe über Erdboden (bis zur Oberkante der Auflage des etwa 5,3 m langen U-Eisen-Auslegers), während die Schafthöhe über Erdboden etwa 8,4 m beträgt; für die Gabel ergibt sich 3 m Mittelentfernung. Alle drei Netzaussenleiter sind in einer waagrechten Ebene (mittlerer Leiterabstand: 3 m) angeordnet. Als Isolatoren kamen (damals) einheitlich braun glasierte Kettenisolatoren der Vollkern-Type MK 5 (ohne Blechschirme), entsprechend Normblatt ÖNORM-E 4103/1931, in Anwendung; die Isolatorlänge (Stichmass: Aufhängepunkt–Leiterseil) beträgt rund 1000 mm.

Gemäss den Betriebsvorschriften VDE 0105/Teil 1/8.64, III, § 10g.1 (beziehungsweise ÖVE-E 5/1964/Teil 1, § 16,061) dürfen bei unter Spannung stehenden Freileitungen mit Nennspannungen über 45 kV bis 110 kV Anstrich- und Ausbesserungsarbeiten an Masten nur ausgeführt werden, wenn eine Annäherung von 2 m nicht unterschritten wird. Ähnlich ist gemäss den Vorschriften und Richtlinien für das Abspritzen von Hochspannungs-Anlageteilen unter Spannung (VDE 0143/7.57, IV, § 6) für eine Betriebsspannung von 60 kV der Mindest-Abstand der Sprühdüse einer ortsveränderlichen Spritzanlage von unter Spannung stehenden Teilen zu 2 m festgelegt. Zwischen Leiterseilen (Aldrey 3 × 150 mm²) und Schutzdach (Fig. 5) wurde daher 750 mm Abstand gewählt, das ist der geringste Sicherheitsabstand für eine Nennspannung von 60 kV, der einer Berührung gleichzusetzen ist (siehe Vorschrift VDE 0105/Teil 1/71, § 10.1.2.). Hätte man anderseits als Berührungsschutz den Handbereich gemäss Vorschrift VDE 0101/4.71 (II, § 3 d.4) angenommen, so hätte dies bedeutet, dass als Reichweite eines Menschen (und zwar ohne besondere Hilfsmittel) von der Standfläche aus gemessen nach oben 2,5 m gilt; dieser Abstand schied ebenfalls von vornherein aus, weil ohne Schutzvorrichtung nur mehr der Mastschaft hätte bearbeitet (saniert) werden können.

Demgegenüber ist gemäss den «Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannung über 1 kV: VDE 0101/4. 71» für Freiluftanlagen als Abstand unter Spannung stehender Teile eines Systems gegeneinander und gegen geerdete Teile als Mindestabstand für Reihe 60 N: 700 mm (für Reihe 60 S: 520 mm) festgelegt (siehe III, C, § 19 a.1). Zum Vergleich: Die Durchschlagsfestigkeit der Luft im gleichförmigen Feld liegt bei 29,7 kV/cm für die Scheitelspannung, bei 21,0 kV/cm für die Effektivspannung (bei 60 kV ergibt sich als Schlagweite für die Anordnung Kugelelektrode gegen Kugelelektrode: 3 cm, für die Anordnung Spitzenelektrode gegen Plattenelektrode: 16 cm). Da die gegenständliche Hochspannungsleitung nur über einen kleinen Höhenzug verläuft, brauchte die Abhängigkeit der Überschlagsspannung von der Höhe des Betriebsortes über dem Meeresspiegel nicht berücksichtigt zu werden.

Nebenbei bemerkt: Bei elektrischen Bahnen darf (gemäss der Vorschrift VDE 0115/3.65, IV, § 56 a und b 1), wenn aus betrieblichen Gründen ein benachbarter, unter Spannung stehender Teil einer Fahrleitung nicht ausgeschaltet werden kann, der für Spannungen über 1000 V (1500 V) festgelegte Mindestabstand von 1,5 m «höchstens bis auf Isolatorlänge»

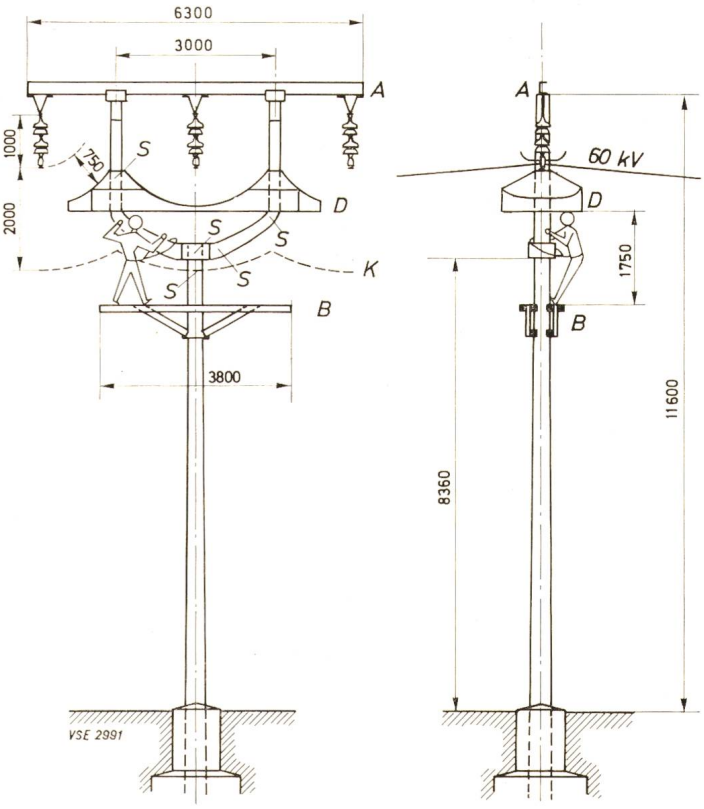

Fig. 5
Prinzipielle Anordnung des Schutzdaches am Leitungsmast; dasselbe ermöglicht die Durchführung der Arbeiten auf nur Anlagenbaudistanz (750 mm), gegenüber ohne Dach auf Arbeitsschutzdistanz (2000 mm), oder gar auf Abstand gemäss definiertem Handbereich (2500 mm)

unterschritten werden, wobei allerdings einige Bedingungen erfüllt sein müssen; während des Zweiten Weltkrieges konnte (damals gemäss Vorschrift VDE 0115/XI. 44, § 26) in besonderen Fällen die verantwortliche Dienststelle des Bahnbetriebes eine Verringerung des Sicherheitsabstandes allerdings nur bis 1 m zulassen. Als Isolatorlänge ist dabei (gemäss § 56 b.2) die Baulänge des Isolators einschliesslich seiner Kappen zu verstehen. Diese Regelung wurde unter anderem deshalb gewählt, weil der Isolator stets erheblich länger ist als der Überschlagsweg durch die Luft (zum Beispiel bei 15 kV etwa 5mal), so dass auch bei Einhalten des Mindestabstandes von Isolatorlänge bei vorsichtigem Arbeiten eine ausreichende Sicherheit gewährleistet ist. In den zugehörigen «Erläuterungen» wird jedoch ausdrücklich festgehalten, dass «niemand gegen seinen Willen zu Arbeiten in gefährlicher Nähe der Hochspannung bei Abständen unter 1,5 m gezwungen werden darf».

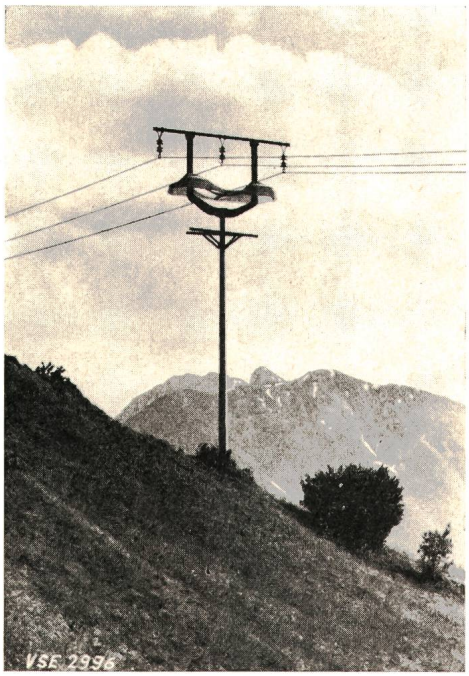

Fig. 6
Schutzdach mit Arbeitsbühne auf einem Tragmast der 60 kV-Leitung; die dunklen Flächen der Mastgabel und des Mastschaftes sind bereits tiefenkonserviert

Durch Anwendung des gegenständlichen Schutzdaches (Fig. 6) konnte jedenfalls ein Grösstmass an zu sanierenden Flächen während des Betriebes der Leitung bei den beiden Schenkeln des Gabelkopfes im nahen Bereich von Hochspannung erreicht werden. Der geringfügige Rest der Flächen in unmittelbarer Nähe von Hochspannung bei den Tragmasten mit Belastungsgewichten und bei den Abspannmasten wurden im spannungslosen Zustand der Leitung saniert. Die Anwendung der beschriebenen Schutzvorrichtung ermöglichte es jedenfalls, die Unterbrechung der Stromversorgung in dem betreffenden Energiebezirk (Leitungs-Übertragungsleistung: 20 MW) mit einem besonders wichtigen Grossabnehmer (Aluminiumwerk) auf ein Mindestmass zu beschränken. Da nur drei Tragmaste mit Belastungsgewichten in der gegenständlichen Leitungsstrecke vorhanden sind, war auf alle Fälle der weitaus überwiegende Teil aller 35 Leitungsstützpunkte erfasst.

Versuche im Werksprüffeld

Entsprechend der im eingangs genannten Unternehmen geübten Gepflogenheit, alle in elektrischen Anlagen (Leitungen) benutzten Körperschutzmittel sowie Arbeitsschutzbehelfe vor ihrer Ausgabe an das Bau- und Betriebspersonal grundsätzlich intern zu testen, erschien es zweckmässig, auch mit dem gegenständlichen Schutzdach vor seiner Verwendung mehrere orientierende Versuche in einem der beiden werkeigenen 260/300 kV-Prüffelder durchzuführen.

Vorgängig dieser Untersuchungen schien es nützlich, sich einmal gründlich mit der Frage zu befassen, in welchen Fällen bisher Dächer aller Art in einem elektrotechnischen Zusammenhang gestanden haben: hiezu zählen beispielsweise bei Vollbahnen die wesentliche Verminderung des Fahrdrahtabstandes von geerdeten Bauwerksteilen im Wege von ebenen und gewölbten, glasfaserverstärkten Polyester- oder Epoxydharzplatten, speziell im Bereich von Überführungsbauwerken aller Art, die Messung von Beeinflussungsspannungen (zufolge kapazitiver Aufladungen) an Blechdächern von Wohnhäusern und Eisenbahnwaggons in unmittelbarer Nähe von ein- oder zweisystemigen 220 kV-, 420 kV- und 735 kV-Freileitungen, die Schaffung eines blitzsicheren, dachförmigen Schutzzeltes (System Prinz-Wiesinger) und dergleichen mehr [2].

Zunächst wurde die Durchschlagsspannung des gegenständlichen Werkstoffes bestimmt; sie ergab sich für den 4 mm starken Kunstharz-Glasfaser-Kunststoff (unter Öl bestimmt) zu minimal 62 kV eff., womit die Durchschlagsfestigkeit bei minimal 15,5 kV/mm liegt (bezüglich Bestimmung der Durchschlagsspannung und Durchschlagsfestigkeit siehe auch Normblatt DIN 53481). Der Durchschlag an mehreren Werkstoffproben zeigt das für stärkere Isolationen charakteristische Bild eines Wärmedurchschlages. Wohl erwartete man eine etwas höhere Mindest-Durchschlagsfestigkeit, jedoch zeigte sich, dass das Handauflegeverfahren (im Gegensatz zu industriellen Fertigungen unter Vakuum und Druck) da und dort mit unbewaffnetem Auge gar nicht mehr feststellbare Lufteinschlüsse im Gefolge hat; demgegenüber wird beispielsweise beim Epoxydharz-Glasfaser-Kunststoff sowohl für den NEMA-Typ G 10 als auch für den US-Military-Typ 18177 GEE als Durchschlagsspannung (senkrecht zur Schicht) 20 kV/mm angegeben. Eine Bestätigung hiefür lieferten dann auch Schnitte durch sechs Werkstoffproben, welche unter dem Mikroskop bei 1600facher Vergrösserung betrachtet wurden; trotzdem der Schneidevorgang unweigerlich ein Verschmieren der Schnittfläche mit sich bringen musste, fand man bei der mikroskopischen Betrachtung den nicht ganz vollkommenen homogenen Werkstoff bestätigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass auch bei noch so gewissenhafter und rascher Arbeit im zweiten Arbeitsvorgang mit dem Metallschieberoller (Riffelwalze) sich nicht alle Luftblasen kleinster Form aus dem Kunstharz-Glasfaser-Lamit herauspressen lassen; zum Teil hängt dies mit dem schnelleren Aushärtungsprozess an der Oberfläche zusammen. Für die Praxis gilt aber dennoch dieser Werkstoff als genügend homogen und durch besonders sorgfältige Arbeit und ausgesprochen handwerklicher Geschicklichkeit konnte selbst bei dem angewandten drucklosen Verarbeitungsverfahren die Einbettung der Glasfaser im Kunstharz praktisch lückenlos erzielt werden, so dass eine Dochtwirkung zufolge aus der

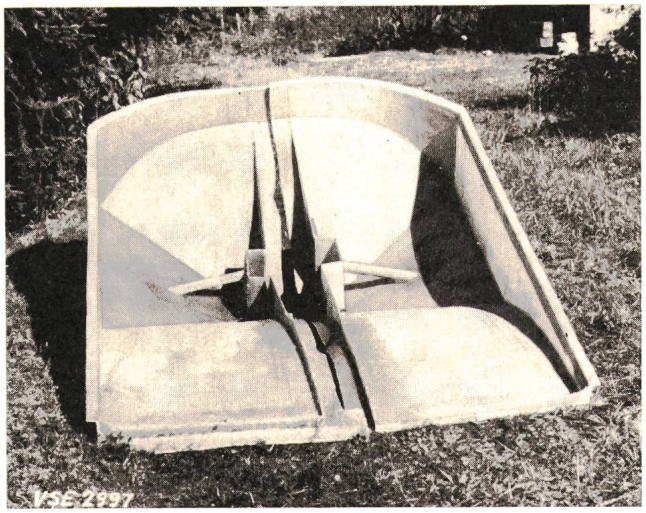

Fig. 7
Innenansicht zweier Dachviertel; die Formgebung (Wölbung) beim Dachviertel ergibt sich aus dem Ausschwingbild jedes der drei Leiter

Oberfläche herausragenden Glasfasern nicht zu befürchten ist.

Letzterer Gesichtspunkt hat gleiche Bedeutung für die Elektrotechnik wie für den Bootsbau, wie überhaupt die Anfertigung dieses gewölbten Schutzdaches mit der von Bootsschalen und Autokarosserien aus Glasfiber manche Analogien in sich schliesst. Die Isolationsverhältnisse können jedenfalls als völlig ausreichend bezeichnet werden, abgesehen davon, dass für das Schutzdach im Regelfall überhaupt keine elektrische Dauerbeanspruchung vorliegt.

Für eine Gefährdung des Menschen durch Einwirkung von Elektrizität bei Industriefrequenz (50 Hz) hat bekanntlich – neben der wirksamen Spannung und der wirksamen Zeit – bei gleichem Stromweg durch den Körper – insbesondere die dabei aufkommende Stromstärke eine entscheidende Bedeutung. Bei Arbeiten auf erhöhtem Standort (gleich welcher Art) muss aber darüber hinaus sogar jedwede Elektrisierung zufolge minimaler Ströme vermieden werden, weil in sekundärer Folge nach Schreckwirkungen (beispielsweise durch Sturz von einem Dach) folgenschwere Verletzungen anderer Art zustandekommen können. Es stand also in erster Linie die Frage zur Debatte, welche Ableitströme, ein das Schutzdach (Dachviertel oder Dachhälfte, Fig. 7) montierender Arbeiter abgreifen würde, wenn mit diesem Behelf eine Berührung mit einem hochspannungsführenden Netzaussenleiter (Phase) zustandekommen würde. Als Messbasis wurde dabei der ungünstigste Fall angesetzt, nämlich dass die Partiekräfte keine Arbeitsschutzhandschuhe (da aus Kunststoff, mit zufällig hohem elektrischen Widerstand) benützen, was allerdings im Hinblick auf den Arbeitsvorgang mit der stark klebrigen Substanz an sich ganz unwahrscheinlich ist, und ihr Arbeitsstandort dem praktisch Erde entspricht, was für die Holzbühne (mit gleichfalls zufällig hohem elektrischen Widerstand) auch nicht zutrifft.

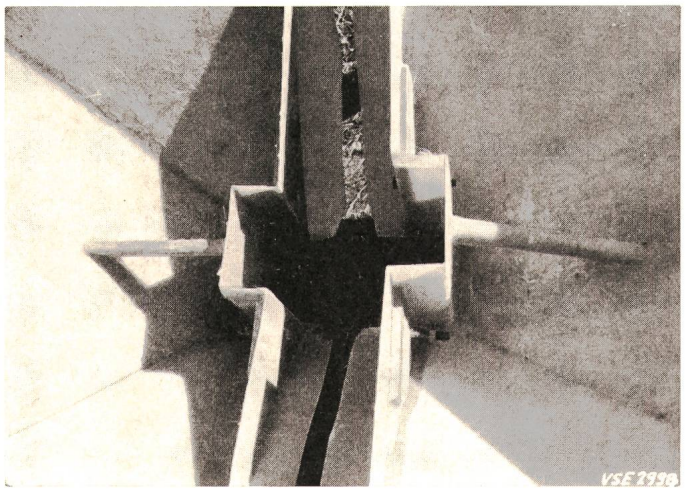

Fig. 8
Zwei aneinander gerückte Dachviertel; deutlich sind die Aussparungen für die Umklammerung der beiden Schenkel der Mastgabel und die Handhaben (Holz mit GFK-Überzug) erkennbar

Ähnlich wie bei dem für das Aufstellen von nichtarmierten Einfach-Holzmasten in oder neben der Trasse eingeschalteter Hochspannungs-Freileitungen verwendeten Mast-Isolier-Wickel wurden deshalb auch hier diese Messwerte für einerseits blosse Annäherung, anderseits direkte Berührung des Schutzdaches mit einer Leiter der 60 kV-Freileitung ermittelt. Derartige Messungen werden stets (leistungslos) mittels statischen Voltmeters oder Röhrenvoltmeter, aber auch mittels Präzisions-Mikroampèremeters durchgeführt; die Ermittlung des Ableitstromes (Spannungsabfall an einem 3 kΩ-Körper-Ersatzwiderstand) im Sinne der Vorschrift VDE 0141/2.64 (VII, § 36) darf als bekannt vorausgesetzt werden.

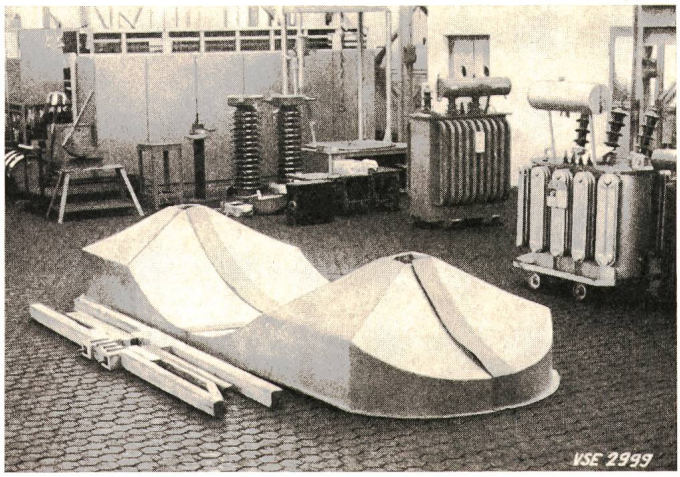

Fig. 9
Gesamtansicht des Schutzdaches (mit Arbeitsbühne), für die elektrischen Messungen in der grossen OKA-Transformatorenhalle (72 × 12 m) bereitgestellt

Bei den Versuchen war, wie bei zahlreichen anderen Berührungsstrom-Messungen (zum Beispiel an isolierstoffgekapselten Mittelspannungs-Schaltanlagen [3] die menschliche Hand durch einen Metallfolienbelag von rund 100 cm² Fläche nachgeahmt worden. Insgesamt wurden sieben Messelektroden dieser Art am Schutzdach angebracht, hievon drei an dessen Aussenseite und vier an dessen Innenseite; ihre Lage entsprach den Stellen, an denen der Arbeiter – ausser den eigentlichen Handgriffen (Fig. 8) – den Schutzschirm bei seiner Instellungbringung ungewollt berühren könnte. Um jede Beeinflussung des Messergebnisses durch eine noch so geringe Erdberührung auszuschliessen, wurde – obwohl der Boden im 260-kV-Prüffeld (Fig. 9) einen ausserordentlich hohen Isolationswiderstand aufweist – die ohnehin hölzerne Hilfskonstruktion für die Senkrechtmontage des

Schutzdaches zusätzlich noch durch einen 110-kV-Isolator vom Boden des Versuchslokales isoliert angeordnet.

Um experimentell betriebsnahe Verhältnisse nachzuahmen, wurde die tatsächliche, in der gegenständlichen Leitung verwendete MK-5-Isolatoren-Anordnung in das Prüffeld (Fig. 10) geschafft; damit die Extremwerte des Abstandes Isolatorenkette–Schutzdach (einerseits mit 750 mm, anderseits mit 0 mm) ohne grosse Mühe stetig (oder zumindest stufenweise) eingestellt werden konnten, wählte man eine Aufhängung der Isolatorenkette am Haken des 50-t-Kranes der Transformatoren-Reparaturhalle. Diese Anordnung wurde schon vor mehreren Jahrzehnten im 1000-kV-Versuchsfeld einer namhaften Isolatoren-Fabrik (an der Elektrohängebahn eines Windenwagens) praktiziert. Obwohl diese Isolation (MK 5) auch im tatsächlichen Leitungsbetrieb voll und ganz ausreicht, schuf man für die Versuche eine zusätzliche Sicherheit gegen Spannungsübertragungen auf die Krananlage durch Zwischenschaltung eines mehrsträngigen Perlon-Isolierseiles.

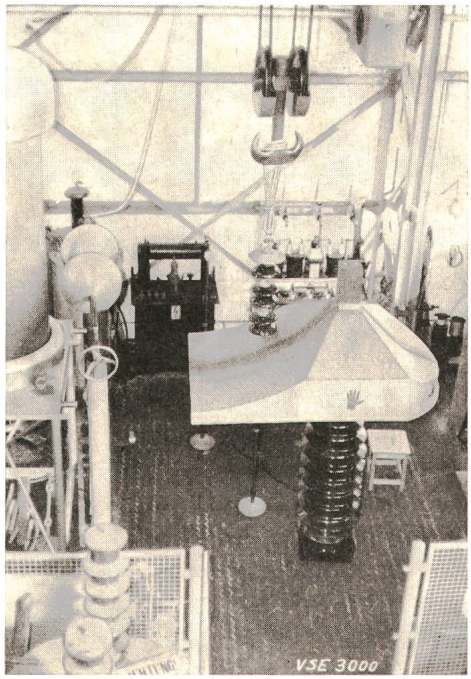

Fig. 10
Gesamtordnung einer Schutzdach-Hälfte im OKA-260 kV-Prüffeld (MK 5-Isolatorenkette über etwa Dachmitte angeordnet)

Die Messungen waren im wesentlichen auf den Trockenzustand des Schutzdaches abgestellt, weil auch die gegenständlichen Sanierungsarbeiten aus betontechnologischen Gründen – wie auch gehandhabt – nicht bei regnerischem Wetter ausgeführt werden sollen. Die Versuche bezogen sich ferner nur auf saubere Oberfläche des Schutzdaches; dies deshalb, weil auf der gegenständlichen Leitungsstrecke (das Salzachtal ist ein weithin bekanntes Erholungsgebiet) eine von Industriegebieten oder vom gemischt-dampfelektrischen Bahnbetrieb her gewohnte Luftverschmutzung überhaupt fehlt, abgesehen von der zeitlich engbegrenzten Benutzungsdauer des Schutzdaches. Die Bildung einer leitfähigen Fremdschicht auf dem Schutzdach könnte bedarfsweise allerdings durch Auftrag von zum Beispiel Silikonfett verhindert werden.

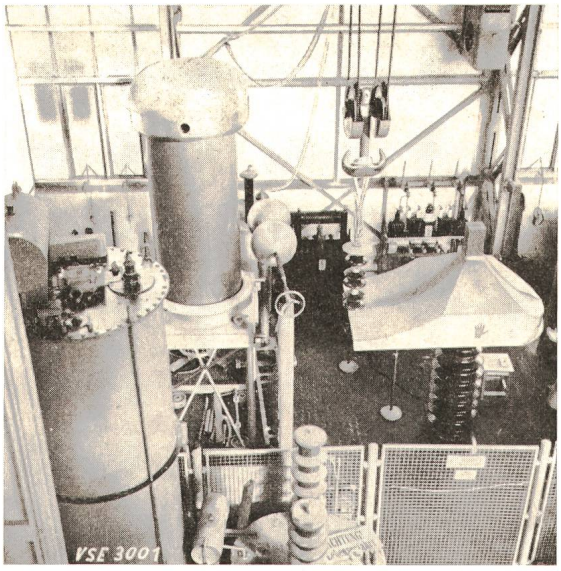

Fig. 11
Zwischenschaltung eines mehrstängigen Perlon-Isolierseiles bei der Isolatorenaufhängung zwecks zusätzlicher Sicherheit gegen Spannungsübertragungen auf die Krananlage

Zusammenfassend kann gesagt werden (ohne hier ins Detail zu gehen), dass für die meisten Berührungsfälle (Fig. 11) die Ableitströme (im wesentlichen solche kapazitiver Natur) weit unterhalb der Reizschwelle des Menschen (Wahrnehmbarkeitsgrenze) liegen, also für das Montagepersonal sogar jedwede Elektrisierung ausscheidet. Der denkbar ungünstigste Berührungsfall, dass die Isolatorenkette auf der Dachoberseite aufliegt und die menschliche Hand genau darunter auf der Dachinnenseite eine unmittelbare Berührung (Fig. 12) herbeiführt, scheidet durch die Art der Instellungbringung (mit der wohl vorgesehenen, tatsächlich aber gar nicht benötigten Schutzdach-Montagehöhe-Begrenzung durch Isolier-Begrenzungsleinen) überhaupt aus, hat also nur theoretischen Aussagewert. Es ergab sich bei der Montage am Mast auch keine Notwendigkeit, jemals das Schutzdach ausser an den Handgriffen anzufassen. Im Hinblick auf die genannte Durchschlagsspannung schien es aber tunlich, diese Messungen nur bis zu einer Spannung von 28 kV eff. zu ermitteln; es ergaben sich hiebei, wie aus Fig. 13 (Kurve B) ersichtlich, verständlicherweise die grössten Ableitströme. Für den gesunden (erdschlussfreien) Netzbetrieb (Leiter-Erde-Span-

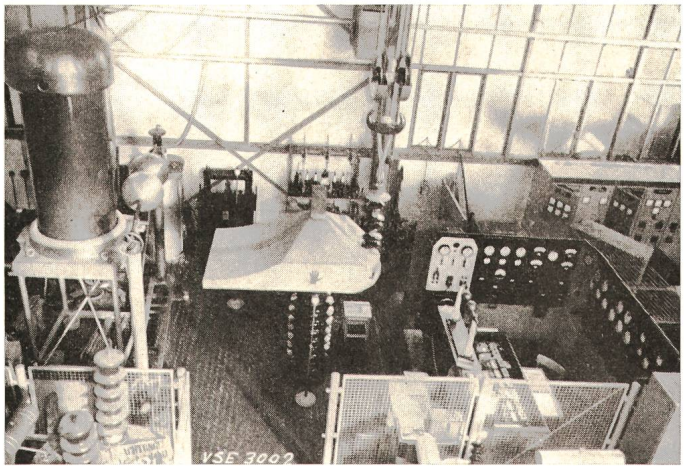

Fig. 12
MK 5-Isolatorenkette am rechten Schutzdachende aufliegend; man erkennt (links davon) deutlich die Messpunkte (Phantomhand)

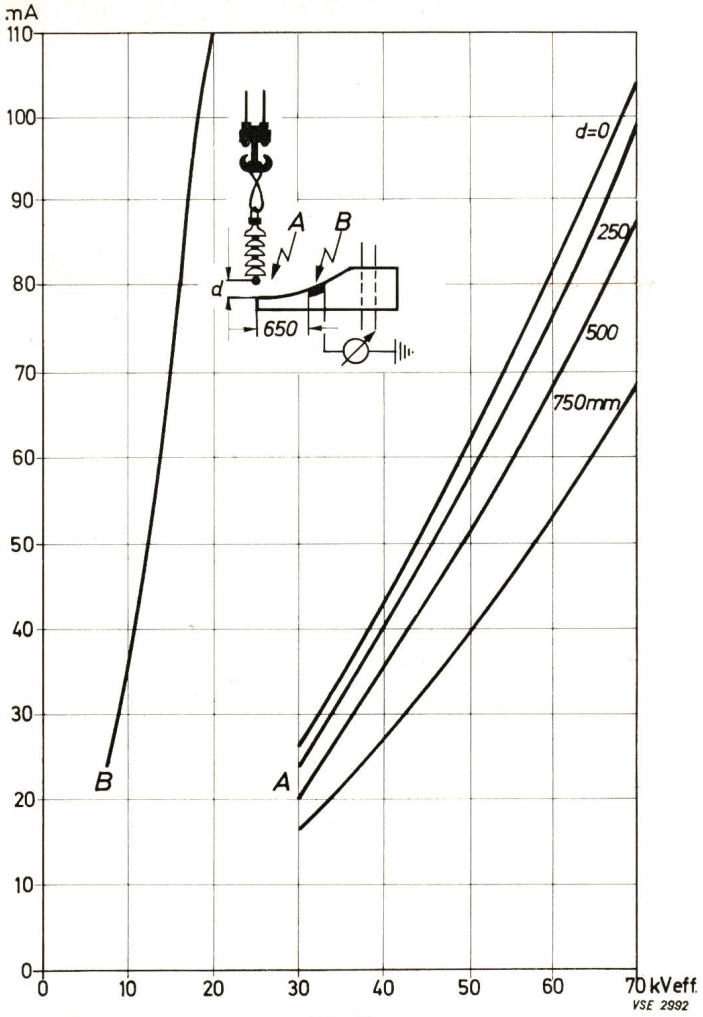

Fig. 13
Gemessene Ableitströme beim blossen Annähern sowie direkten Aufliegen des hochspannungsführenden Leiterseiles am Schutzdach (OKA-260 kV-Prüffeld)

nung: 34,7 kV eff.) würde sich für den Fall einer nur augenblicklichen Berührung (durch Extrapolation) ein Ableitstrom von 280 µA ergeben, ein Wert also, der gleichfalls noch unter dem erwähnten Reizschwellenwert liegt.

Durchführung der Arbeiten

Die Arbeiten wurden durch eine in der Arbeit unterwiesene und mit den Gefahren vertraute Arbeitsgruppe durchgeführt, wobei von Zeit zu Zeit noch eine zusätzliche Belehrung des Personals seitens der Bauleitung des Elektro-Anlagenbau-Unternehmens erfolgte. Die Arbeitsgruppe hat sich seit Jahren mit ähnlichen Aufgaben befasst, so dass keine ausgesprochenen Gefahrenmomente wie beim Einsatz von Neulingen bestanden.

Vom arbeitsschutztechnischen Standpunkt aus wäre noch anzuführen, dass die Sanierungsarbeiten selbst von einer aus Kanthölzern gebildeten (etwa 3,8 m langen) Arbeitsbühne (Fig. 5 und 6) aus vorgenommen wurden; der Arbeitende war hiebei durch ein, ihm genügend Bewegungsfreiheit vermittelndes Halteseil (von 3 m Länge) gegen Absturz gesichert. Die verwendeten Sicherheitsgürtel mit Karabinerhaken sind baumustergeprüft und entsprechen damit den rechtsverbindlichen Normen. Die Montage und Demontage der vierteiligen, insgesamt 120 kg schweren Schutzvorrichtung für einen Betonmast dauerte etwa 90 Minuten, demgegenüber betrug die gestoppte Zeit bei der erstmaligen Erprobung im Oktober 1971 etwa 2 Stunden. Diese Frage wurde insbesondere auch im Zusammenhang mit der Abwicklung des Arbeitsablaufes (Anfertigung einer zweiten Schutzvorrichtung aus Polyesterharz-Glasfaser) ventiliert.

Das Prinzip der Konservierung von Betonmasten besteht im wesentlichen im Reinigen der Maste mittels Drahtbürste von Hand aus sowie in der Aufbringung eines den Pflanzenbefall hemmenden (fungiziden) Fluats mittels Malerbürsten; nach einem erneuten Reinigen der Maste (mittels Drahtbürste) wird das Kunstharz-Konservierungsmittel in mehreren Anstrichen aufgebracht. Die Sanierung der schadhaften Betonmaste selbst erfolgt nach Abschlagen des Altbetons durch Aufbringen einer Haftbrücke und Mörtel aus Kunstharz. Schliesslich erfolgt noch ein Versiegelungsanstrich.

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich das gegenständliche Kunstharz-Glasfaser-Schutzdach (System Steiner), das bei den in Rede stehenden Sanierungsarbeiten an Betonmasten einer 60-kV-Freileitung erstmalig angewendet wurde, den beschäftigten Monteuren im Arbeitsfeld am Mast, nahe hochspannungsführenden Anlagenteilen, den notwendigen Berührungsschutz bot; es hat sich bestens bewährt und konnten diese während eines Zeitraumes von acht Wochen durchgeführten Arbeiten ohne jeden Zwischenfall durchgeführt werden. Da derartige Sanierungsarbeiten nur einige wenige Exemplare eines Schutzdaches (im vorliegenden Fall zwei Stück) erfordern, bedingt das für deren Herstellung angewendete Handauflegeverfahren grosse Freizügigkeit bei der Formgebung der Einzelteile (Anpassung an das jeweils vorherrschende Mastkopfbild).

Literatur

[1] *G. Irresberger:* Elektriker-Sicherheitsregeln, Verlag Hallwag, Bern—Stuttgart (1968), 84 Seiten, 127 Fig.

[2] *G. Irresberger:* Dächer — in elektrotechnischem Zusammenhang, Praktisches Wissen 1972, Band 46, Heft 3, Seite 8...9.

[3] *G. Irresberger:* Zur Frage des Berührens elektrischer Betriebsmittel, Sichere Arbeit 1968, Band 21, Heft 1, Seite 3...7, 5 Fig.

[4] *G. Irresberger:* 34 Schrifttumsquellen zum sicherheitstechnischen Thema «Kunstharz-Glasfaser-Schutzdach als Berührungsschutz bei 60 kV-Betonmast-Sanierungsarbeiten während des Betriebes» (über Redaktion beim Verfasser erhältlich).

Adresse des Autors:
Ing. *G. Irresberger,* Direktionsassistent der OKA, Anton-Bruckner-Str. 5, A-4810 Gmunden, Österreich.