

Neue Vorschriften für das Erden von Leitungsmasten

Autor(en): **Homberger, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **67 (1976)**

Heft 6

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915139>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Neue Vorschriften für das Erden von Leitungsmasten

Von E. Homberger

621.315.66 : 621.316.99

1. Zweck der Erdung von Leitungsmasten

Trotz namhafter Verbesserungen der elektrischen und mechanischen Eigenschaften von Leitungsisolatoren treten gelegentlich Erdschlüsse auf. Die dabei über leitende Masten nach Erde abfließenden Ströme verursachen Spannungsabfälle zwischen Mastfuß und neutraler Erde, die sich bei zufällig anwesenden Personen und Tieren als gefährliche Berührungs- und Schrittspannungen oder auf benachbarte Fernmelde- und Rohrleitungen als Beeinflussungsspannungen auswirken können. Auch bei Blitzeinschlägen in Masten treten Spannungsabfälle an der Masterdung auf. Durch eine niederohmige Erdung vermindert sich der gesamte Spannungsabfall, die Erdungsspannung, und damit auch die Gefährdungsspannung. Kann die zu erwartende Erdungsspannung mit vertretbaren Mitteln nicht genügend abgesenkt werden, so lässt sich durch zweckmässig verlegte Erder das an der Erdoberfläche auftretende Spannungsgefälle in unfallverhütender Weise steuern.

2. Die bisherige Regelung

Nach den Bestimmungen der bundesrätlichen Verordnung über Starkstromanlagen (StVO), Art. 107, sind die leitenden Tragwerke von Leitungen für eine Spannung von mehr als 250 V gegen Erde zu erden. Wo an begangenen Stellen eine zuverlässige Erdung nicht möglich ist, kann zur Verhütung von Unfällen bei Isolationschäden auch eine andere, den besonderen Verhältnissen angemessene Schutzmassnahme getroffen werden (Umzäunung oder Isolierung). Der Erdungswiderstand einzelner Maste darf in günstigem Boden 20 Ω nicht übersteigen. Liegen ungünstige Erdungsverhältnisse vor, so soll der Erdungswiderstand insbesondere durch Vergrösserung der Erder-Oberfläche möglichst klein gehalten werden.

In den gelöschten Hochspannungs-Verteilnetzen muss bei einpoligem Erdschluss mit Erdschlussströmen von 20...30 A, in den von Erde isolierten Netzen von etwa 50...300 A gerechnet werden. Unter Berücksichtigung der höchstzulässigen Erdungswiderstände treten somit gefährliche Erdungsspannungen von 400 bis 6000 V auf. Tatsächlich ereignen sich aber durch Berührungsspannungen an Masten nur äusserst selten Unfälle. Von den im Zehnjahresabschnitt 1965...1974 registrierten Unfällen wurde dem Starkstrominspektorat ein einziger, nichttödlicher Unfall gemeldet.

3. Begründung einer neuen Lösung

Da die geringe Zahl von Unfällen nicht auf zuverlässige Schutzmassnahmen zurückgeführt werden kann, ist anzunehmen, dass sehr wenig Erdschlüsse eintreten und zudem selten Mastberührungen stattfinden. Leider fehlen schweizerische Angaben über die Häufigkeit von Erdschlüssen, doch dürften die in Deutschland und in Österreich ermittelten Zahlen auch für schweizerische Verhältnisse einigermaßen zutreffen.

Nach den Störungsstatistiken des Verbandes deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) und des Verbandes der Elektrizitätswerke

Österreichs (VEÖ) [1]¹⁾ muss auf Hochspannungs-Freileitungen mit etwa 3 Erdschlüssen p.a. und pro 100 km Stranglänge gerechnet werden. Die gesamte Weitspannungs-Stranglänge des schweizerischen Hochspannungsnetzes beträgt gegenwärtig etwa 15 000 km. Daraus ergibt sich eine Gesamtzahl von etwa 450 Erdschlüssen p.a. Das Netz enthält etwa 63 000 Masten aus leitendem Material. Nimmt man an, dass sämtliche Erdschlüsse an den Masten auftreten, so entfallen im Mittel 0,0071 Erdschlüsse p.a. auf einen leitenden Masten, oder alle 140 Jahre ein Erdschluss. Da in den betrachteten Netzen die Erdschlüsse mehrheitlich in Bruchteilen einer s weggeschaltet werden, ergibt sich eine *äusserst geringe Vorfall-Wahrscheinlichkeit*. Bei einer Stördauer von 1 s pro Erdschluss errechnet sie sich zu $W_V \approx 2 \cdot 10^{-10}$. Sie ist auch dann noch sehr klein, wenn man annimmt, dass bei einem Erdschluss eine Fehlerspannung auf die benachbarten Masten übertragen wird. Allerdings werden mehr und mehr auch in den isoliert oder gelöscht betriebenen Hochspannungs-Verteilnetzen leitende Betonmasten eingebaut. Da hier die Erdschlüsse stundenlang bleiben können, erhöht sich die Vorfallwahrscheinlichkeit um einige Zehnerpotenzen.

Massgebend für ein Unfallgeschehen ist das Zusammentreffen eines Erdschlusses mit einer Mastberührung. Über die Zahl der Berührungen sind wohl nirgends Angaben erhältlich. Im Mittel dürften sie jedoch auf einige Minuten oder noch weniger pro Jahr und Mast beschränkt bleiben. Selbst wenn man eine Stunde in Rechnung setzt, bleibt die Berührungswahrscheinlichkeit gering, nämlich $W_B = 1,14 \cdot 10^{-4}$.

Die Unfallwahrscheinlichkeit ergibt sich aus dem Produkt von W_V und W_B [2, 3] und beträgt $W_U \approx 4 \cdot 10^{-14}$.

Diese Zahl veranschaulicht recht gut, wie selten es im Mittel zu einem Unfall kommen wird, auch wenn keinerlei Schutzmassnahmen gegen Berührungsspannungen getroffen werden. Es ist daraus auch erkennbar, weshalb bis anhin trotz ungenügender Erdung praktisch keine Unfälle eintraten. Man kann sich deshalb fragen, ob überhaupt Vorschriften über das Erden von Masten notwendig sind.

Es ist aber zu berücksichtigen, dass die Wahrscheinlichkeitsüberlegungen auf gleichartige Anlagen und gleichmässige Verteilung der sich bei den Anlagen aufhaltenden Personen beruhen. Diese Voraussetzungen sind jedoch nicht erfüllt. Vielmehr befinden sich die Masten teils an exponierten, teils an geschützten Orten, ihre Isolatoren werden unterschiedlich beschmutzt; es besteht ungleiche Beschädigungsgefahr. Durch Isolationsfehler verursachte Störungen führen jedoch zu örtlichen Verbesserungen, so dass allmählich ein Ausgleich entsteht. Auch eine gleichmässige Verteilung der sich bei den Masten aufhaltenden Personen liegt nicht vor. Die abseits im Gebirge stehenden Masten werden höchstens von Monteuren kurzzeitig berührt, jene auf einem Bahnhoftal hingegen direkt oder indirekt fast ständig.

Moderne Vorschriften sollten diesen Tatsachen Rechnung tragen.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

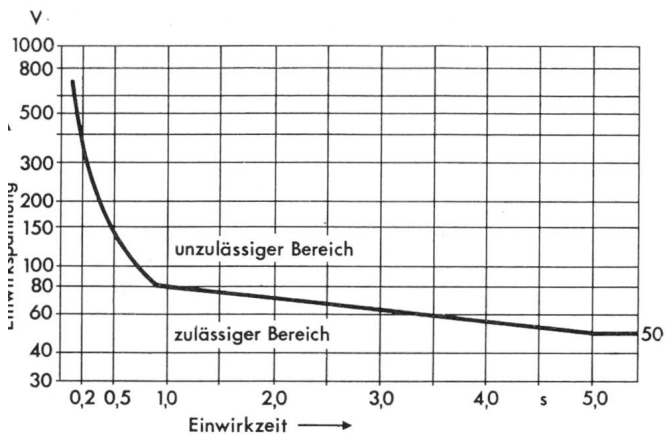


Fig. 1 Zulässige Berührungs- und Schrittspannungen

1. Ein neuer Vorschriftenentwurf

Die Erdungskommission des SEV, die die Erdungsartikel der StVO überarbeitet hat [4], ging davon aus, dass bei allen leitenden Masten mit gleicher Wahrscheinlichkeit ein Erdschluss eintreten kann. Sie unterscheidet hingegen zwischen drei Gebieten ungleicher Berührungswahrscheinlichkeit, nämlich:

Gebiet 1: Besiedeltes Gebiet, wo grössere Menschenansammlungen zu erwarten sind oder wo sich über längere Zeit Personen aufhalten. Darunter fallen z. B. Marktplätze, Sportplätze, Liegeplätzen von Strandbädern, Campingplätze.

Gebiet 2: Übriges besiedeltes Gebiet, wie die nähere Umgebung von Einzelbauten und Verkehrswegen. Dazu gehören Vorhöfen von Wohnhäusern, Fabrikhöfe, Rastplätze, ferner Wege und Strassen, die oft von Fussgängern benützt werden. Autostrassen und Autobahnen fallen ins Gebiet 3.

Gebiet 3: Nicht besiedeltes und nicht an Verkehrswegen liegendes Gebiet, also Wiesen, Äcker, Weiden, Wälder und unbebaubares Gebiet.

Tragwerke von Hochspannungsleitungen aus Metall oder Stahlbeton sollen nach den neuen Vorschlägen inskünftig so geerdet werden, dass die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

Im **Gebiet 1** dürfen bei einpoligen Erdschlüssen keine über den Kurvenwerten gemäss Fig. 1 liegende Berührungs- und Schrittspannungen (Einwirkspannungen) auftreten. Ist diese Bedingung allein durch die Erdung nicht zu erreichen, so sind weitere Massnahmen zu treffen, wie Isolierung der berührbaren Tragwerkteile oder der möglichen Standorte um das Tragwerk, Isolierung des Erdseiles vom Tragwerk, verbunden mit Überisolierung der Polleiter oder schliesslich Abschrankungen um berührbare und begehbare, elektrisch leitende Teile im Gefährdungsbereich.

Im **Gebiet 2** dürfen die Kurvenwerte gemäss Fig. 1 wohl überschritten werden, dürfen aber nicht länger als 2 s bestehen bleiben.

Im **Gebiet 3** werden in bezug auf die Berührungs- und Schrittspannungen keine Anforderungen gestellt, doch soll die Dauer eines Erdschlusses wenige h nicht überschreiten.

Die Kurve gemäss Fig. 1 stellt die für Menschen höchstzulässigen Berührungs- und Schrittspannungen in Abhängigkeit der Einwirkzeit dar. Sie basiert auf einem Körperwiderstand von 1000 Ω . Anstelle der «Einwirkspannung» liesse sich somit der Wert der zulässigen Durchströmung in mA setzen. Aufgrund von Tierversuchen nimmt man an, dass bis zu diesen Werten bei einem gesunden Menschen unter nor-

malen Umständen das gefürchtete Herzkammerflimmern nicht ausgelöst wird. Da jedoch die Flimmerbereitschaft des menschlichen Herzens von vielen Faktoren abhängt, darf die Kurve nicht als Trennlinie zwischen einem gefährlichen und ungefährlichen Bereich angesehen werden. Experimente mit den Kurvenwerten am menschlichen Körper sind jedenfalls unzulässig. Die bei Erdungskontrollen ermittelten Werte entsprechen ja meist nicht den effektiven Berührungsspannungen, weil die Übergangswiderstände der Haut und der Kleidungsstücke nicht erfassbar sind. Immerhin bleibt die Anwendbarkeit der Kurve auf Hochspannungsanlagen mit ihren typischen Gefährdungsbildern beschränkt.

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass die leitenden Masten von *Niederspannungsnetzen* inskünftig ausnahmslos geerdet werden sollen. Dabei sind die sog. Nullungsbedingungen, das heisst grundsätzlich die bereits heute gültigen Bestimmungen von Art. 26. Abschn. 4, der StVO einzuhalten. Diese Bestimmungen gelten inskünftig gleichermaßen für genullte und schutzgeerdete Niederspannungsnetze.

5. Sonderfall Mastschalter

Bei den in die Freileitungen eingebauten Schaltern mit offenen Trennstrecken kann in Anbetracht der sich ändernden Belastungsverhältnisse und Schaltzustände im Netz eine Überbeanspruchung beim Schalten nie ganz ausgeschlossen werden. Damit erhöht sich auch die Erdschlussgefahr. Die Wahrscheinlichkeit, einer Berührungsspannung ausgesetzt zu sein, ist also bei der Schalterbetätigung überdurchschnittlich gross (Fig. 2). Der einzige in den letzten zehn Jahren registrierte Unfall durch Berührungsspannungen an Masten hat sich denn auch bei einem solchen Manöver zugetragen.

Im Vergleich mit normalen Tragwerken sind deshalb am Bedienungsort von Mastschaltern sorgfältigere Schutzvorkehrungen gegen Berührungsspannungen zu treffen. Eine ein-

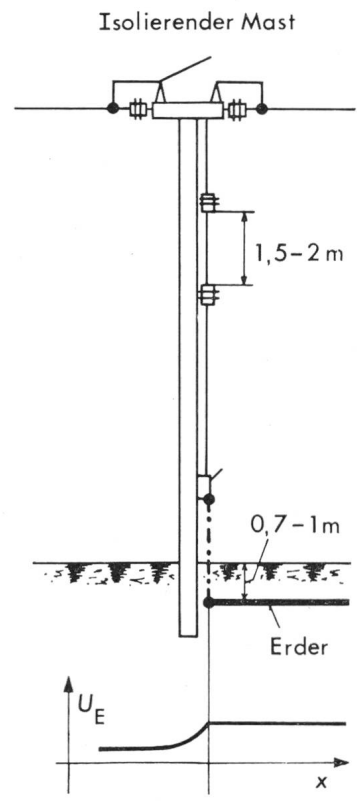


Fig. 2 Beispiel der Erdung von Mastschaltern (Freileitungsschalter) auf isolierenden Masten wie Holzmasten, Kunststoffmasten usw.

Unter dem Erder Verlauf der Erdungsspannung U_E in Abhängigkeit des Abstandes x

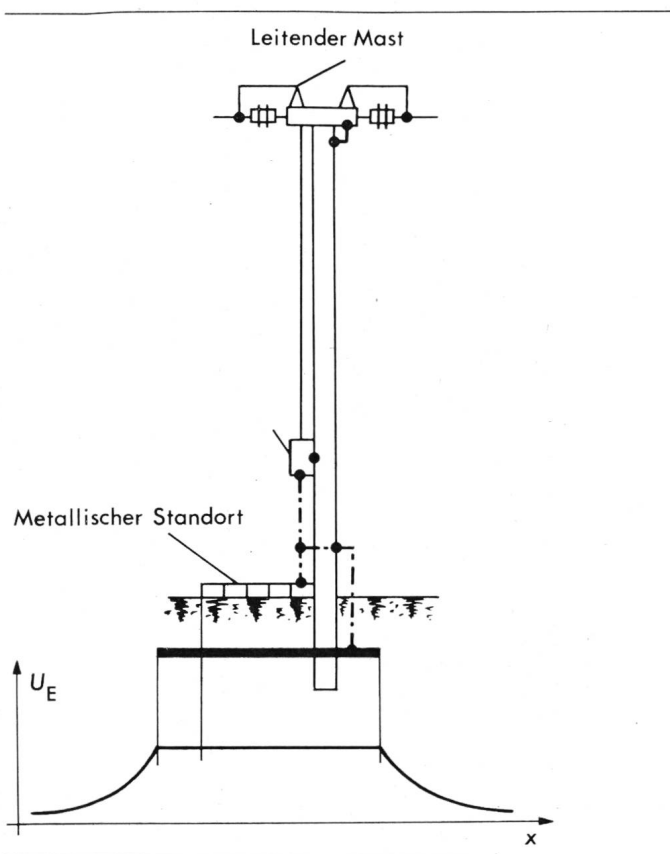


Fig. 3 Beispiel der Erdung von leitenden Schaltermasten wie Betonmasten, Eisenmasten usw.
Unter dem Erder Verlauf der Erdungsspannung U_E in Abhängigkeit des Abstandes x

fache und doch gute Lösung besteht darin, einen metallischen, mit dem Mast und dem Betätigungsorgan verbundenen Standort in Form eines Rostes oder einer Platte zu schaffen (Fig. 3). Es kann aber auch der isolierte Standort, beispielsweise ein asphaltiertes Schotterbrett gewählt werden. In beiden Fällen sind zusätzliche Steuererder einzulegen, die die Schrittspannungen auf die vorgeschriebenen Werte steuern und die im Erdschlussfall zwischen Mast und

Erde auftretende Spannung vermindern. Auf Äckern und Wiesen können leider weder Metallroste noch Isolierflächen in Frage kommen, weshalb dort mit der reinen Erdung vorlieb genommen werden muss. Eine Verbesserung lässt sich durch mobile Isolierschemel oder -teppiche, wie dies in einzelnen ausländischen Vorschriften verlangt wird, erzielen.

6. Schlussbemerkung

Es mag etwas sonderbar anmuten, einen Zustand, der über Jahre zu keinerlei Schwierigkeiten Anlass gegeben hat und kaum verbesserungsfähig erscheint, ändern zu wollen. Die durchgeführte Untersuchung hat aber deutlich gezeigt, dass mit bedeutend geringerem Aufwand ein ebensogutes Resultat erzielt werden kann. Wohl beschränkt sich die vor der Erdungskommission des SEV ausgearbeitete neue Regelung auf den Personen- und den Tierschutz, doch ist innerhalb dieses Bereiches ein einheitliches Schutzniveau angestrebt worden. Es ist zu hoffen, dass der den zuständiger Bundesbehörden unterbreitete Vorschlag möglichst bald in Kraft tritt.

Bei Sachwertschutz geht es in erster Linie darum, eine Gefährdung der an den Masten vorbeilaufenden Fernmeldeleitungen und isolierten Rohrleitungen zu vermeiden. Entsprechende Schutzmassnahmen sollen an anderer Stelle der StVO beschrieben werden.

Literatur

- [1] H. Stimmer und E. Schuh: Störungs- und Schadensstatistik 1966-1970. Wien, Verband der Elektrizitätswerke Österreichs, 1972.
- [2] E. Kuhnert: Die Betriebssicherheit elektrischer Anlagen und ihre Bedeutung für die Beeinflussungstechnik. ETZ-A 91(190)5, S. 279...283.
- [3] E. Homberger: Wahrscheinlichkeitsüberlegungen bei der Wahl von Sicherheitsvorkehrungen in elektrischen Verteilnetzen. Bull. SEV/VSE 65(1974)12, S. 892...895.
- [4] Schutz gegen gefährliche Berührungs- und Schrittspannung. Dok. Erd.-K. Nr. 75/30 vom 31. Oktober 1975. Herausgegeben von der Erdungskommission des SEV. Zürich, SEV, 1975.
- [5] G. Funk: Berechnung der Nullstromverteilung bei Erdschluss einer Freileitung. ETZ-A 92(1971)2, S. 74...80.

Adresse des Autors

E. Homberger, Oberingenieur des Eidg. Starkstrominspektorates, Seefeldstrasse 301, 8008 Zürich.

Spezialisten für Spezialkabel

RADOX

© vernetzte
Kabelisolation

ir flexible Steuer- und Anschlusskabel

Dank unserem Herstellungs- verfahren



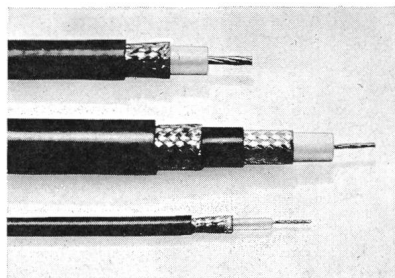
sehr gut abiso- lierbar.

uer- und Anschlusskabel
t RADOX-Eigenschaften
in den üblichen und vor-
schriebenen Aderfarben
ferbar. Gute Abisolier-
barkeit bleibt unserem
ziellen Verfahren vorbe-
halten.

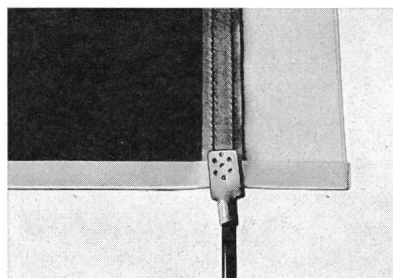
OX isolierte Adern haben
übrigens auch eine ausge-
zeichnete Lötbeständigkeit; ein
weiterer Pluspunkt für RADOX.

Verlangen Sie unsere
Dokumentation.

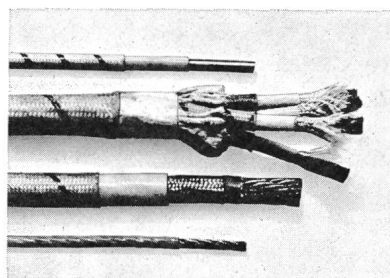
Weitere H+S Spezialitäten:



Hochfrequenz-Kabel und
-Verbinder nach internati-
onalen und eigenen Normen,
Spezialanfertigungen.



Sucotherm-Flächenheizleiter,
das elektrische Komfort-
Heizsystem ohne Heizkörper.



Hitze- und kältebeständige
Kabel KDJ mit FEP-Isolation.
Temperaturbereich -100 bis
+200° C.

© Von unserer Forschungsabteilung
getestet.



HUBER + SUHNER AG

8330 Pfäffikon Tel. 01 97 53 01
9100 Herisau Tel. 071 53 15 15

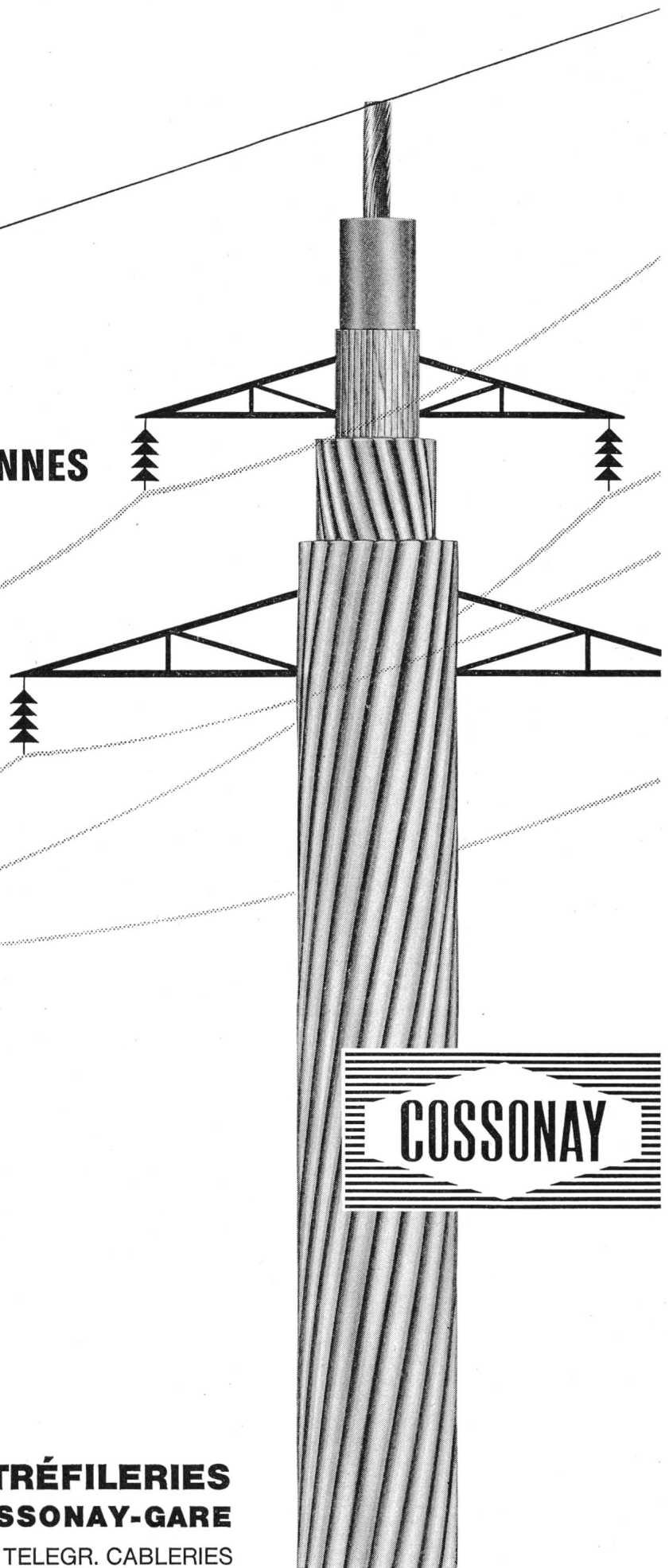
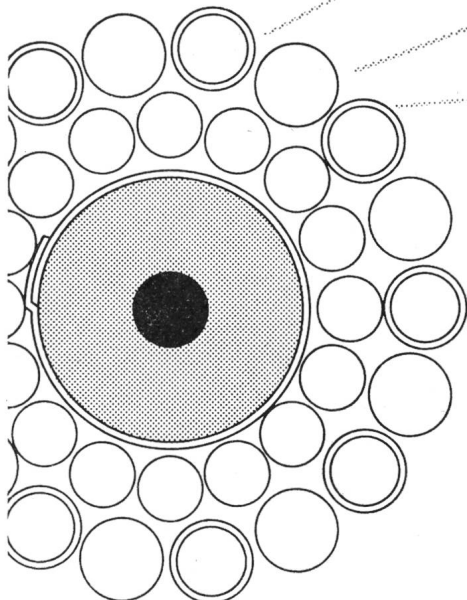


**LIGNES DE TERRE AÉRIENNES
AVEC CÂBLE COAXIAL**

ou avec quarte

**FREILUFTERDLEITUNGEN
MIT KOAXIALKABEL**

oder mit Sternvierer



**SA DES CÂBLERIES ET TRÉFILERIES
DE COSSONAY 1305 COSSONAY-GARE**

TEL. (021) 87 17 21 TELEX 24.199 TELEGR. CABLERIES