

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 52 (1961)
Heft: 18

Artikel: Die Fabrikation von Hochfrequenz-Koaxialkabeln
Autor: Hahne, K.H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059077>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.01.2025

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

Dans les exemples décrits les caractères du code ont été lus simultanément. Pour certaines applications il peut être cependant plus favorable de lire ceux-ci successivement. Dans ce cas, les caractères du code devront, en prenant en considération l'inertie des photorésistances dont on dispose aujourd'hui et en tenant compte de la vitesse de passage de 5 m/s, avoir un espacement minimum d'environ 5 mm pour permettre la détection des caractères particuliers. La fréquence correspondante des signaux produits par les caractères est de l'ordre de 1 kHz.

Le succès de la lecture des traits, indiquée plus haut, traits au crayon de couleur, au stylo à bille, à

la plume et au crayon, laisse supposer qu'un dispositif de lecture du genre décrit pourrait lire et trier de manière sûre aussi des lettres codées à la main de la poste courante.

L'occasion est saisie ici pour remercier sincèrement M. le Prof. *H. Weber*, sous la direction duquel ce travail a été exécuté à l'Institut pour la Technique des Télécommunications de l'EPF à Zurich, de son intérêt et de ses précieux conseils; de même à l'égard de Standard Téléphon et Radio S. A. Zurich, à la demande de laquelle le travail fut entrepris.

Adresse de l'auteur:

G. Moschytz, ingénieur diplômé, Mainaustrasse 31, Zurich 8.

Die Fabrikation von Hochfrequenz-Koaxialkabeln

Von *K. H. Hahne*, Köln

621.315.212.029.5.002.2

Die Anforderungen an Kabel zur Übertragung elektrischer Hochfrequenzleistung werden in einem grossen Frequenzgebiet durch den Koaxialtyp erfüllt. Je nach den vorliegenden Erfordernissen ergibt sich eine Vielzahl von Ausführungsformen, die sich in den 3 Aufbauelementen Innenleiter, Dielektrikum und Aussenleiter unterscheiden und verschiedene Fabrikationsmethoden erfordern. Z. T. können dazu übliche Kabelmaschinen verwendet werden. Weiterhin sind Sondermethoden und Sondermaschinen entwickelt, die beschrieben und in typischen Beispielen gezeigt werden.

Les exigences posées aux câbles destinés à la transmission d'une puissance électrique à haute fréquence sont satisfaites, pour une gamme de fréquences étendue, par le type coaxial. Selon les cas particuliers on a recours à différentes formes et méthodes d'exécution des trois éléments constitutifs: conducteur intérieur, diélectrique et conducteur extérieur. Les machines de câblage usuelles sont en partie utilisables, sinon il faut se servir de méthodes et de machines spéciales, que l'auteur décrit en indiquant des exemples typiques.

1. Das Hochfrequenz-Koaxialkabel

Für die Übertragung elektrischer Hochfrequenzleistung wird in einem Frequenzbereich, der sich von etwa 50 kHz bis zu einigen GHz erstreckt, bevorzugt das Koaxialkabel verwendet. Unterhalb dieses Bereiches sind die bekannten Zweileiter-, Dreileiter- und Vierleiterkonstruktionen meist vorteilhafter. Oberhalb des erwähnten Bereiches beginnt entsprechend der kurzen Wellenlänge das Anwendungsgebiet der Hohlleiter.

Die Ausführungsformen des Hochfrequenz-Koaxialkabels sind vielfältig und unterscheiden sich voneinander nach Herstellung, Form, Material und Anwendung in den drei Aufbauelementen: Innenleiter, Dielektrikum und Aussenleiter.

Erzielung besserer Leitfähigkeit auch Silber verwendet, ferner versilbertes Kupfer. In selteneren Fällen findet man Aluminium oder versilbertes Aluminium.

2. Ausführungsformen von Hochfrequenz-Koaxialkabeln

2.1 Innenleiter

Infolge des Skineffekts nimmt beim Innenleiter praktisch nur eine Oberflächenschicht bestimmter Tiefe an der Stromleitung teil. Um den vollen Querschnitt des Innenleiters ausnützen zu können, kann man ihn daher in voneinander isolierte Einzeldrähte aufteilen, deren Durchmesser dieser Tiefe entspricht. Diese, kabeltechnisch auf Hochfrequenz-Litzenverseilmaschinen hergestellte Form ist kostspielig und wird im allgemeinen nur verwendet, wenn gleichzeitig von einem Kabel eine hohe mechanische Biegefähigkeit gefordert wird.

Im allgemeinen reicht die Oberfläche des Innenleiters zur Erzielung einer genügenden Leitfähigkeit aus, wenn er als massiver Draht oder, da er ohnehin nur in der Oberfläche leitet, als Rohr ausgeführt wird.

Das für den Innenleiter benützte Metall ist vorwiegend Kupfer. Bei kleineren Durchmessern wird zur

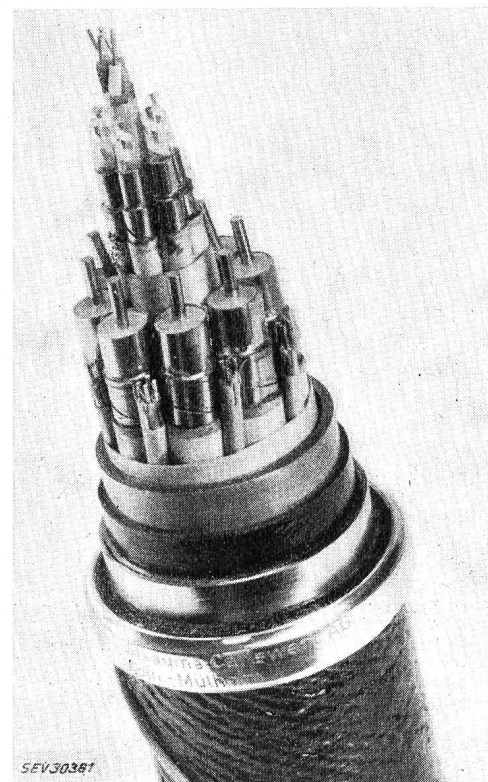


Fig. 1

Fernkabel mit 8 grossen und 6 kleinen Koaxialtuben

2.2 Dielektrikum

Im einfachsten Falle besteht das Dielektrikum aus einem massiven Hohlzylinder, der beispielsweise durch Extrudieren thermoplastischen Materials auf den be-

kannten Schneckenpressen auf den Innenleiter aufgebracht und nach dem Erstarren mit dem Aussenleiter umhüllt wird. Diese Technik wurde für das heutige Telephon-Seekabel zu hoher Präzision entwickelt [1]¹⁾.

Im Bereich nicht zu hoher Spannungen ist jedoch wegen ihrer Verlustfreiheit trockene Luft oder ein ähnliches Gas der beste Isolator. Das Dielektrikum muss aber im Kabelaufbau auch mechanisch für die konzentrische Halterung des Aussenleiters gegenüber dem Innenleiter sorgen. Daher muss es wenigstens zum Teil aus einem festen Körper bestehen. Ausreichende mechanische Festigkeit bei möglichst hohem Anteil an trockener Luft oder Gas hat eine Isolation aus einer thermoplastischen Masse, die mittels eines vor dem Extrudieren zugesetzten Schaumbildners aufgeschäumt ist [2].

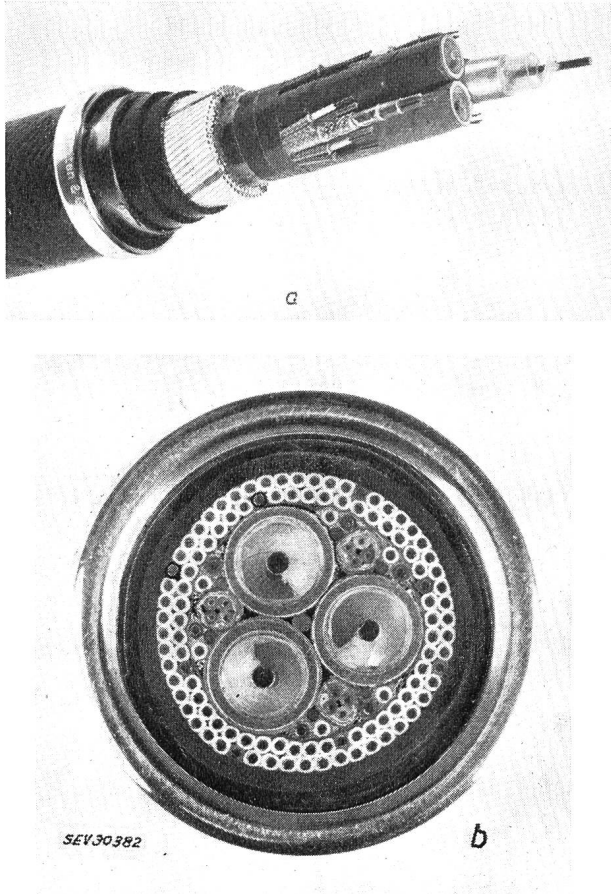


Fig. 2

Fernkabel mit 3 bandwendelisierten Koaxialelementen und kleineren Koaxialelementen mit Flechtleitern
a geöffnetes Kabel; b Querschnitt

Auch beim aufgeschäumten Dielektrikum ist der Anteil des festen Materials noch verhältnismässig hoch. Es wird weiter verringert, wenn die Isolation in Form eines wendelförmigen Abstandhalters zwischen Innen- und Aussenleiter hergestellt wird. In den ersten Ausführungsformen koaxialer Hochfrequenzkabel wurde diese Wendel durch ihrerseits wendelförmig miteinander verseilte Bänder kreisförmigen Querschnitts gebildet [3]. Gleichmässiger Wendel ergibt ein Aufbau aus in vielen Schichten übereinandergelegten Isolierstoffbändern [4]. Schliesslich ist es auch möglich, die Abstandwendel in Form eines rechteckigen Bandes aus thermoplastischem Material zu extrudieren und später auf den Innenleiter aufzuwickeln [5].

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Eine weitere Erhöhung des Luftanteils am Dielektrikum wird schliesslich erzielt, wenn an Stelle der kontinuierlichen Isolierung diskontinuierlich in gleichmässigem Abstand zwischen Innenleiter und Aussenleiter angeordnete konzentrische Isolierscheiben verwendet werden [6].

Das Material des Dielektrikums muss niedrige und möglichst frequenzunabhängige dielektrische Verluste aufweisen. Der gewissermassen klassische Isolierstoff für konzentrische Hochfrequenzkabel, der diese Bedingungen erfüllt, ist das Polyvinylbenzol oder Polystyrol. Es kann in direktem Spritzguss in Scheibenform auf den Innenleiter aufgebracht werden. Die Isolierscheibe kann aber auch als geschlitzte Scheibe für sich im Spritzguss hergestellt und sodann in besonderen Vorrichtungen auf den Leiter aufgesteckt werden. Das im Spritzguss verarbeitete Polystyrol ist glasartig hart.

Wird das Polystyrol in Form von Fäden, Bändern oder Folien extrudiert und hiebei in warmem Zustand einem mechanischen Streckprozess unterworfen, so orientieren sich seine Kettenmoleküle in der Streckrichtung [3]. Derartige Fäden oder Bänder aus verrecktem Polystyrol sind sodann elastisch und biegefähig. Sie werden zur Herstellung von Bandwendelisolierungen benützt [4].

Polystyrol lässt sich auch aufschäumen und ergibt ein äusserst lufthaltiges und daher gutes Dielektrikum. Die mechanischen Eigenschaften des Schaumpolystyrols sind aber so gering, dass seine praktische Anwendung sehr beschränkt geblieben ist.

Anders ist es beim Polyäthylen, einem anderen Thermoplasten mit geringen, wenig frequenzabhängigen Verlusten. Schaumpolyäthylen besitzt gute mechanische, bei in vielen Fällen ausreichenden elektrischen Eigenschaften. Massives Polyäthylen wird für Vollisolationen [1], für Bandwendelisolierungen [5] und für Scheibenisolationen verwendet [6].

Da bei der Scheibenkonstruktion der Anteil des festen Dielektrikums an der Isolation gegenüber dem Anteil an Luft besonders gering ist, wird es möglich, hier auch thermoplastische Werkstoffe zu verwenden, deren elektrische Eigenschaften an sich etwas geringer sind als die des Polystyrols und des Polyäthylens. Dies gilt besonders für das Polyvinylkarbazol, das in Form aufgesteckter Scheiben benützt wird. Es hat gegenüber den beiden anderen Stoffen den Vorteil einer höheren Wärmebeständigkeit [7].

Eine weitere Erhöhung der Wärmebeständigkeit wird durch die Verwendung von Fluoräthylen [8] in Form von Fäden, Bändern oder Scheiben erzielt. Sein hoher Preis hat seine Anwendung bisher beschränkt.

Noch höhere Wärmebeständigkeit liefern schliesslich Isolationen aus keramischen Stoffen, meist auf der Basis des Magnesiumoxyds. Sie werden entweder als auf Seile aus Glasfäden aufgereichte Perlen zur Herstellung von Bandwendeln oder als aufgesteckte Isolierscheiben eingesetzt.

Wird die Hochfrequenzleistung bei höheren Spannungen übertragen, so ist die Anwesenheit von Luft oder ähnlichen Gasen im Dielektrikum wegen ihrer Ionisationsneigung unerwünscht. Es wird dann Polyäthylen als Vollisolation verwendet. Wird von einem solchen Kabel eine höhere Biegefähigkeit gefordert, so wird die Isolation aus Polyisobutyl, einem Thermoplasten mit gummielastischen Eigenschaften, aufgebaut [9].

2.3 Aussenleiter

Muss der Aussenleiter sehr flexibel sein, so wird er auf den bekannten Flechtmaschinen als Geflecht aufgebracht oder auf Verseilmaschinen durch Verseilen von Drähten oder Bändern oder von Kombinationen solcher Elemente aufgebaut. Im allgemeinen jedoch wird der Aussenleiter als Hohlrohr ausgebildet, das den Innenleiter und das Dielektrikum umschliesst. Solche Hohlrohre können aus einem Metallband geformt werden, das mit den Kanten in einer Längsnaht aneinanderstösst. Durch Bewickeln mit einem weiteren Metallband wird das Rohrgebilde mechanisch zusammengehalten. Besteht dieses äussere Metallband aus Weich-eisen, so hat es gleichzeitig eine magnetische Schirmwirkung.

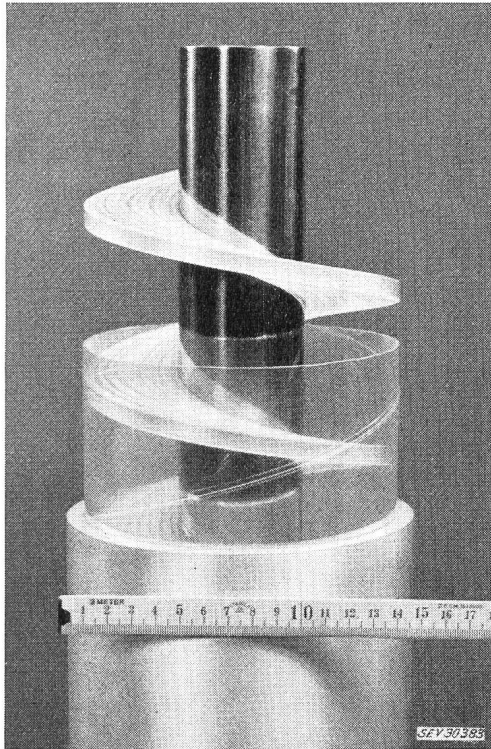


Fig. 3

Starkes Antennenspeisekabel mit Bandwendelisolierung

Wird der aus einem Metallband gebildete Aussenleiter in der Längsnaht verschweisst, so ergibt sich ein geschlossener Hohlzylinder. Ein solcher wird meistens zur Erzielung besserer Biegefähigkeit gewellt. Die Schweissung geschieht mittels Widerstandserhitzung, Hochfrequenzerhitzung oder durch Lichtbogenerhitzung unter Schutzgasatmosphäre [5].

Der Aussenleiter wird ferner auch aus Einzelelementen, beispielsweise Halbschalen, zu einem geschlossenen Rohr zusammengesetzt. Zur Erhöhung der Biegefähigkeit wird auch hier eine Wellung vorgesehen [7].

Neben diesen Ausführungsformen steht der nahtlose Aussenleiter. Er wird entweder auf die isolierte Kabelseele aufgepresst oder in einem gesonderten Arbeitsgang als Rohr hergestellt. In dieses Rohr wird der isolierte Innenleiter eingezogen, worauf es durch Längsziehen oder mittels eines Wellwerkzeugs bis zum Umschliessen der Kabelseele verengt wird [4].

Als Material für verseilte, geflochtene und aus Bändern oder Bandlelementen geformte Aussenleiter wird durchweg Kupfer, in Ausnahmefällen Aluminium, verwendet. Geschweisste Mäntel werden aus Kupfer oder

aus kupferplattiertem Stahlblech hergestellt. Nahtlose Aussenleiter von Hochfrequenz-Koaxialkabeln bestehen aus Reinaluminium, das in beliebigen Längen stranggepresst werden kann.

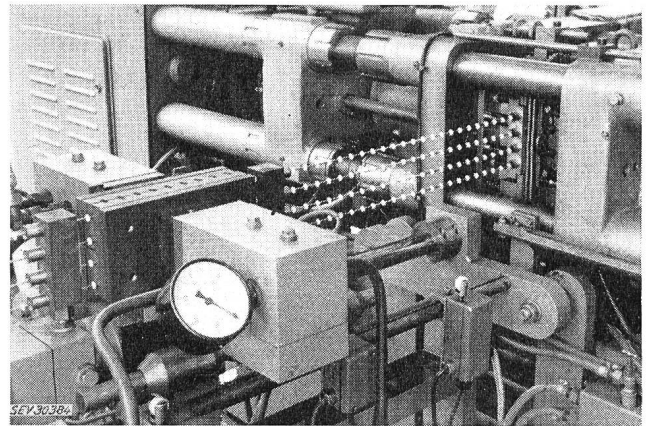


Fig. 4

Fabrikation einer Scheibenisolation für Koaxialtuben

3. Anwendung der verschiedenen Ausführungsformen

Das koaxiale Hochfrequenzkabel kleineren Durchmessers zur Übertragung kleiner Leistungen wird vornehmlich mit gelitztem oder massivem Innenleiter ausgeführt. Es hat Voll- oder Schaumisolation und einen verseilten oder, da es im allgemeinen sehr flexibel sein muss, geflochtenen Aussenleiter.

Fernmeldekabel zur Überbrückung weiter Entfernungen enthalten heute meist neben anderen Verseilelementen ein oder mehrere koaxiale Elemente. Verwendet wird hier die international genormte Koaxialtube [10] mit massivem Innenleiter, Scheibenisolation und gefaltetem Aussenleiter sowie die kleinere sog. Zwergtube [11]. Fig. 1 zeigt ein solches Kabel mit 6 Zwerg- und 8 weiteren Koaxialtuben.

Fig. 2 zeigt dagegen ein reines Hochfrequenzkabel für Radarzwecke, das 3 Polystyrol-bandwendelisierte Koaxialtuben mit nahtlosem Aluminiummantel enthält. Unter den übrigen Verseilelementen befinden sich kleine Koaxialleiter mit geflochtenem Aussenleiter.

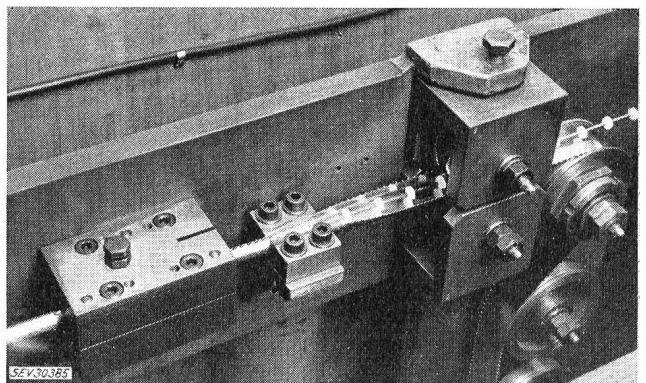


Fig. 5

Fabrikation des Aussenleiters einer Koaxialtube aus Kupferband

Zwischen Sender und Antenne von Hochfrequenz-Sendestationen müssen Leistungen bis über 100 kW übertragen werden. Hiezu dienen Hochleistungskabel grosser Querschnitte. Der Innenleiter dieser Kabel ist ein massiver Draht oder ein Rohr aus Kupfer, in einer

anderen Konstruktion ein aus Einzelementen zusammengesetztes oder geschweisstes Kupferrohr. Die Isolation ist eine Wendel aus massivem Polyäthylen oder eine solche aus Bändern von verstrecktem Polystyrol oder sie besteht aus Scheiben, beispielsweise aus Polyvinylkarbazol. Der Aussenleiter wird aus einzelnen Kupferelementen aufgebaut oder aus einem Band aus Kupfer oder verkupferten Stahlblech geschweisst und sodann gewellt. Grosse Verbreitung hat der nahtlose Aluminiummantel in glatter oder gewellter Form. Ein Bandwendelkabel grossen Durchmessers mit glattem Aluminiummantel zeigt Fig. 3.

Als Sonderkabel sind die wärmebeständigen Koaxialkabel mit Keramikisolation sowie die Hochspannungskabel mit Vollisolation zu betrachten, die bereits erwähnt wurden.

4. Fabrikation von Hochfrequenz-Koaxialkabeln

Aus der Fülle der beschriebenen Formen seien zwei besonders kennzeichnende ausgewählt, um an ihnen die Eigenheiten der Fabrikation von koaxialen Hochfrequenzkabeln zu zeigen, welche andere Verfahren und andere Maschinen erfordert, als sie sonst in der Kabeltechnik üblich sind.

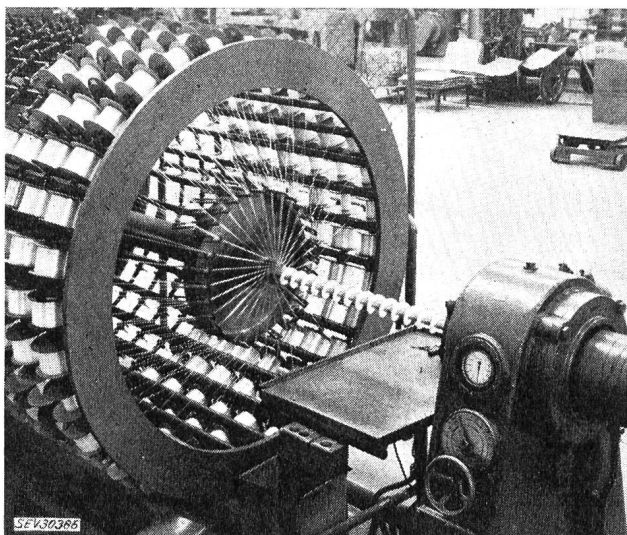


Fig. 6

Fabrikation der Bandwendelisolierung eines Antennenspeisekabels

Fig. 4 zeigt eine Spritzgussmaschine zum direkten Aufbringen von Isolierscheiben aus Polyäthylen auf den Innenleiterdraht der in Fig. 1 gezeigten Koaxialtube. Diese Maschine arbeitet diskontinuierlich und spritzt bei jedem Schuss gleichzeitig auf 4 Drähte je 10 Scheiben. Schliessen der Spritzgussform, Einspritzvorgang, Öffnen der Form und Weitertransport des umspritzten Drahtes um die Länge des mit 10 Scheiben besetzten Stückes erfolgen vollautomatisch. Der Aussenleiter wird in einem folgenden Arbeitsgang aus einem Kupferband in Längsrichtung um den isolierten Innenleiter gefaltet (Fig. 5). Das Kupferband ist zur Erzielung eines sicheren Verschlusses der Längsnaht mit gestanzten Zähnen versehen. In der gleichen Maschine wird die Koaxialtube mit Metallband umwickelt und mit einer äusseren Hülle aus Papier oder thermoplastischer Folie versehen.

Die Fabrikation einer Isolationswendel aus Bändern von verstrecktem Polystyrol für das Kabel in Fig. 3 erfolgt in einer Spezialmaschine (Fig. 6). Der Innen-

leiter besteht aus einem Kupferrohr. Die Isolationswendel wird durch Umwickeln mit mehreren breiten Bändern aus verstrecktem Polystyrol abgedeckt. Der isolierte Innenleiter wird sodann in ein nahtloses Aluminiumrohr eingezogen (Fig. 7). Der Durchmesser dieses Rohres wird schliesslich durch Längsziehen oder Wellen soweit verengt, dass es die Kabelseele fest umhüllt.

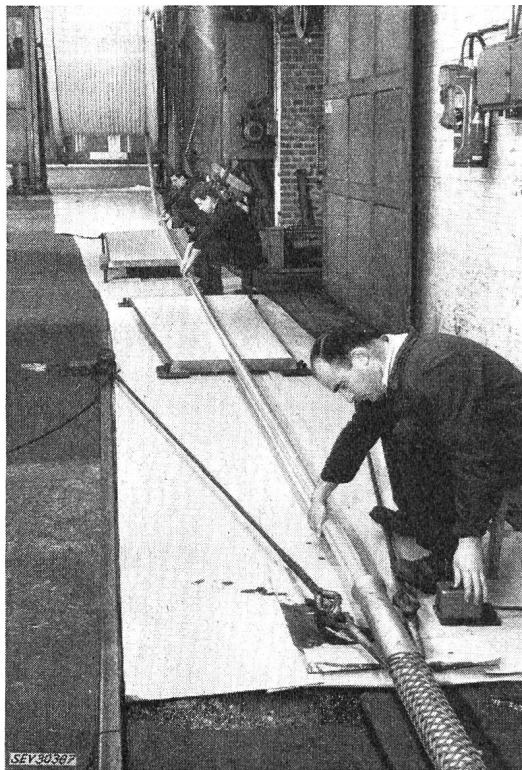


Fig. 7

Einziehen des Innenleiters eines Antennenspeisekabels

Die Benützung hochfrequenter elektrischer Leistung zur Nachrichten- und Energieübermittlung ist noch verhältnismässig jung. Daher ist auch die Fabrikationstechnik koaxialer Hochfrequenzkabel nach Form und verwendetem Material in steter Weiterbildung begriffen. Schon jetzt aber sind die Methoden und Maschinen zu ihrer Herstellung so entwickelt, dass sie dem Verbraucher ein gleichmässiges, zuverlässiges Bauelement garantieren.

Literatur

- [1] Lebert, A. W., H. B. Fischer und M. C. Biskeborn: Cable Design and Manufacture for the Transatlantic Submarine Cable System. Bell Syst. techn. J. 36(1957), S. 189...216.
- [2] Anonym: Schaumpolyäthylen-Innenisolierung in koaxialen Kabeln für Gemeinde-Fernsehsysteme. Elektro-Anz. 12(1959)23, S. 229.
- [3] Horn, H.: Herstellung und Anwendung des elektrischen Isolierstoffes Styroflex. Kunststoffe 30(1940)3, S. 53...57.
- [4] Schmidt, K.: Die Herstellung des Styroflex-Bandwendelkabels. F & G Rdsch. —(1952)36, S. 125...134.
- [5] Brown, J. S.: Flexible Air Dielectric Coaxial Cable. Tele-Tech 14(1955)5, S. 78...79, 126, 128...129.
- [6] Belus, R.: La fabrication des paires coaxiales normalisées. Câbles & Transm.. 9(1955)1, S. 40...59.
- [7] Becker, H.: Ein neues HF-Sendekabel grössten Durchmessers. Siemens Z. 35(1961)3, S. 188...190.
- [8] Lovett, R. S. und R. E. Stabler: Wire Insulation of «Teflon» FEP-Fluorocarbon Resin. Properties and Fabrication. Wire & Prod. 33(1958)10, S. 1192...1195, 1283.
- [9] Peters, H.: Das neue Langwellen-Sendekabel 28/100 für den Sender Luxemburg. F & G Rdsch. —(1955)40, S. 384...386.
- [10] Comité Consultatif International Téléphonique (CCIF). 18^e assemblée plénière, Genève 1956, Bd. 3^{bis}. Genève: Union internat. des télécommunications 1958. S. 113 ff.
- [11] Leitenberger, W. und W. Salzmann: Kabel mit Zwergtuben im Fernmeldenetz der Deutschen Bundesbahn. Signal u. Draht 53(1961)1, S. 6...13.

Adresse des Autors:

Dr.-Ing. K. H. Hahne, Felten & Guillaume Carlswerk AG, Köln-Mülheim (Deutschland).