

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 18 (1927)

Heft: 7

Artikel: Einlagenhohlleiter ohne Innenkonstruktion für höchste Spannungen

Autor: Dahl, M.F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058629>

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>

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke	REDAKTION Zürich 8, Seefeldstr. 301	Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union de Centrales Suisses d'électricité
Verlag und Administration	Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G. Zürich 4, Stauffacherquai 36/38	Editeur et Administration
Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet		Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XVIII. Jahrgang
XVIII^e Année

Bulletin No. 7

Juli
Juillet 1927

Einlagenhohlleiter ohne Innenkonstruktion für höchste Spannungen.

Von *M. F. Dahl*, Obering. der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Mannheim.

621.319.32

Der Autor führt aus, dass der Einlagenhohlleiter ohne jede Innentragkonstruktion für die Hochspannungs-Leitungen von 220/380 kV den bisher bekannten Konstruktionen der Doppel-lagenhohlleiter mit Innentragkonstruktion überlegen ist, da seine Konstruktion eine höhere mechanische Festigkeit, glattere Oberfläche, geringeren Materialaufwand, geringere Verarbeitungskosten, bedeutend leichtere und deshalb billigere Montage ermöglicht.

L'auteur démontre que le conducteur creux utilisé dans les réseaux à très haute tensions (220/380 kV), composé d'une couche unique sans support intérieur, est préférable au conducteur creux à double couche avec support central. Il présente une résistance plus grande, exige moins de matière et offre une surface plus lisse; sa pose est plus facile et plus économique.

Allgemeines zur Einführung.

Vorstehende Ausführungen sollen nicht die Probleme der Grosskraftübertragung an sich behandeln, sondern in der Hauptsache die Eigenschaften des Einlagenhohlleiters ohne Innenkonstruktion darlegen.

Zum Verständnis der Hohlleiterfrage schien es notwendig, gleichzeitig anzuzeigen, wo die Grenzen der Verwendungsmöglichkeit von 110 kV-Leitungen liegen und wo die zweckmässige Anwendung von 220 kV-Leitungen beginnt.

Die Fernkraftübertragung hat sich bis vor kurzem in Deutschland auf die Belieferung geschlossener Versorgungsgebiete beschränkt, wie z. B. Bayern, Rheinisch-Westfälisches Industriegebiet, Freistaat Sachsen, Baden, Württemberg etc. Die hierbei in Frage kommenden Aktionsradien der Kraftübertragungsleitungen betragen etwa 120 bis 150 km, vereinzelt auch mehr. Für die Uebertragung der bisher in Frage kommenden Leistungen und der zu überwindenden Entfernung war die gewählte Betriebsspannung von 110 kV vollkommen ausreichend.

Die Uebertragungsfähigkeit einer 110 kV-Doppelleitung zeigt Fig. 1. Bei einer Doppelleitung, bestehend aus 6 Kupferteilen von 185 mm² Querschnitt und einer Uebertragungsentfernung von 150 km, liegt die Grenzleistung, wenn man 10 % Spannungsverlust zulässt, bei ca. 50 000 kVA. Bei Annahme eines höheren Spannungsverlustes sowie bei Anwendung von Zusatzmaschinen für die Spannungsregulierung lässt sich die Uebertragungsleistung einer 110 kV-Leitung noch etwas erhöhen. Man kann sagen, dass die Grenze des Verwendungsbereiches von 110 kV-Anlagen bei Entfernungen zwischen Kraftwerk und Konsumgebiet von 200 km bei einer Leistung pro Leitungsstromkreis von ca. 20–25 000 kVA liegt. Sind

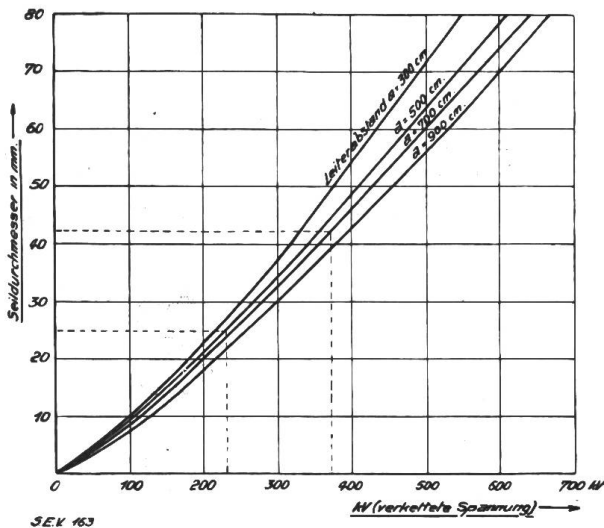


Fig. 1.

Übertragungsfähigkeit einer 110 kV-Doppelleitung
 $6 \times 185 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$, bei $\cos \varphi_c = 0,8$ am Ende der Leitung.

grössere Entfernungen zu überwinden, bzw. grössere Leistungen zu übertragen, so wird man zweckmässig auf höhere Spannungen übergehen. Dies wird der Fall sein bei der kommenden Verbindung der einzelnen Versorgungs- bzw. Energiezentren, wie z. B. die Verbindung zwischen dem Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet und den Bayerischen Wasserkraften oder zwischen den Bayerischen Wasserkraften und den Mitteldeutschen Braunkohlenfeldern oder auch bei Verbindung der einzelnen Staaten unter sich (Deutschland - Schweiz, Schweiz - Italien etc.), also überall da, wo Leitungsentfernungen bis zu 400 km und mehr ohne Anzapfstellen zu überbrücken wären.

Auch mit Rücksicht auf die Kosten wird man zu diesen Massnahmen greifen

müssen; denn bei Ueberschreitung der Grenzleistung für 110 kV-Leistungen ist man gezwungen, mehrere 110 kV-Leitungen nebeneinander zu bauen, die teurer werden als eine 220 kV-Leitung. Als Beispiel diene eine Uebertragung von 60 000 kVA auf eine Entfernung von 400 km. Unter Voraussetzung ungefähr gleicher Spannungsverluste ergibt sich folgende Gegenüberstellung:

110 kV-Leitung	220 kV-Leitung
3 Doppelleitungen: je $6 \times 185 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ $28\,000 \text{ M} \times 3 = 84\,000 \text{ M/km}$ = rd. 34 Millionen	1 Einfachleitung: $3 \times 25 \text{ } \varnothing \text{ Hohlseil} = 37\,000 \text{ M/km}$ = rd. 15 Millionen

Demnach ergibt sich bei Verwendung einer 220 kV-Leitung in diesem Falle eine Ersparnis von 19 Millionen Mark. Berücksichtigt man ferner, dass die anteiligen Mehrkosten für 220 kV-Stationen etwa 4 Millionen Mark betragen, so ergibt sich immerhin noch eine Ersparnis von 15 Millionen Mark. Hierbei ist angenommen, dass die Stationen als Freiluftanlagen ausgeführt sind.

Mit der Höhe der Betriebsspannung wächst bekanntlich auch die Betriebssicherheit der Leitung, und es erscheint deshalb vertretbar, wenn man für eine 220 kV-Fernkraftübertragung eine Einfachleitung wählt, um von vornherein eine Wirtschaftlichkeit zu erhalten. Will man die Betriebssicherheit der Leitung noch weiter erhöhen, so kann man einen vierten Reserveleiter nach dem System Oberbaurat Kyser verlegen oder nach dem Patent von BBC eine Phase des Drehstromsystems in zwei Leiter von je halbem Wirkquerschnitt aufteilen und hierbei, da der erforderliche Aussendurchmesser gegeben ist, ein anderes Leitermaterial verwenden.

Die Anordnung des Reserveleiters nach Kyser ist bereits bei den 110 kV-Anlagen des Thüringenwerkes, sowie für die Grosskraftleitungen in Finnland und Schweden zur Ausführung gekommen.

Die Ausbildung der Stationen als Freiluftstationen ermöglicht einen wesentlich geringeren Kapitalaufwand. Auch in Deutschland ist man in letzter Zeit dazu übergegangen, bei 110 kV-Betriebsspannung die Stationen mit Vorliebe als Freiluftanlagen zu bauen.

Doppellagenhohlleiter.

Bei Betriebsspannung von 220 bzw. 380 kV können nun mit Rücksicht auf die Strahlungsverluste keine Volleiter mehr verwendet werden, sondern nur Hohlleiter mit entsprechend grösserem Aussendurchmesser. Wie aus Fig. 2 hervorgeht, ist bei einer Betriebsspannung von 220 kV ein Aussendurchmesser von ca. 25 mm und bei 380 kV ein solcher von 42 mm erforderlich, um Koronaverluste zu vermeiden.

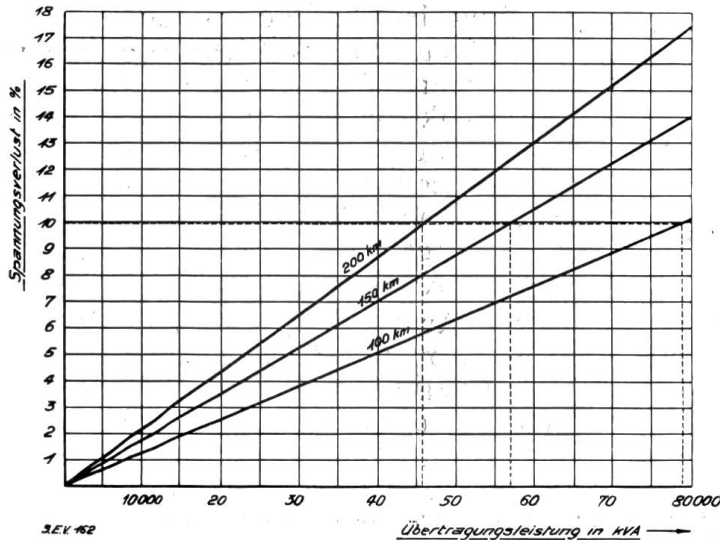


Fig. 2.
Kritische Spannungen für die Korona-Verluste nach Peek.

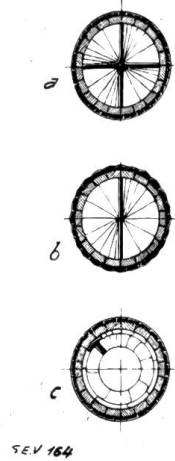


Fig. 3.
Kupferhohlleiter
Aussendurchmesser 42 mm;
Querschnitt 400 mm².

Die ersten Hohlleiter tauchten in den Vereinigten Staaten von Nordamerika auf und waren Doppellagenhohlleiter mit Innenkonstruktionen, wovon die eine Lage in Linksdrall, die andere in Rechtsdrall geschlagen war. Das Querschnittsverhältnis der beiden Lagen wurde so gewählt, dass der Querschnitt der äusseren Lage bedeutend kleiner war, als der der inneren Lage (siehe Fig. 3).

Die Innenkonstruktion der Ausführung nach Fig. 3a besteht aus Metallbändern, die um die Seilachse tordiert sind und im Querschnitt Kreuzform aufweisen.

Mit besonderem Erfolg dürften sich in Amerika die dort vorhandenen Konstruktionen nicht eingeführt haben, da man von dem Bau grösserer Hohlleiteranlagen nichts hörte. In Europa ging man ähnliche Wege. So bauten die Siemens-Schuckertwerke den in Fig. 3b dargestellten Hohlleiter. Als Innenkonstruktion wird ein gewelltes Kupferband verwendet, welches ebenfalls um die Seilachse tordiert ist. Um dieses Band werden dann die beiden Lagen der Drähte von verschiedenem Querschnitt in Links- und Rechtsdrall geschlagen. Fig. 4 erläutert die Ausführung noch deutlicher.

Eine andere Konstruktion ist die der Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerke in Essen. Der Aufbau der Lagen ist derselbe, nur wird als Innenkonstruktion eine Flachkupferspirale von T-Profil verwendet (Fig. 3 und 5). Die

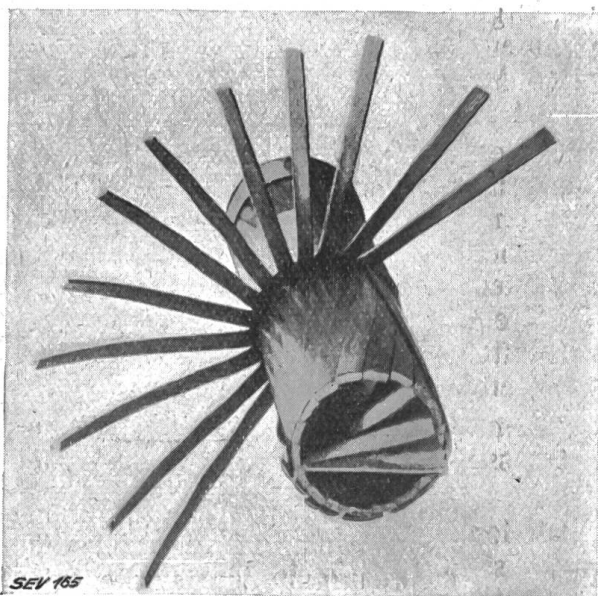


Fig. 4.
Doppellagenhohlleiter der Siemens-Schuckertwerke.

Drähte dieser 3 beschriebenen Konstruktionen sowohl der Innen- wie der Aussenlage weisen sektorähnliche Profile auf.

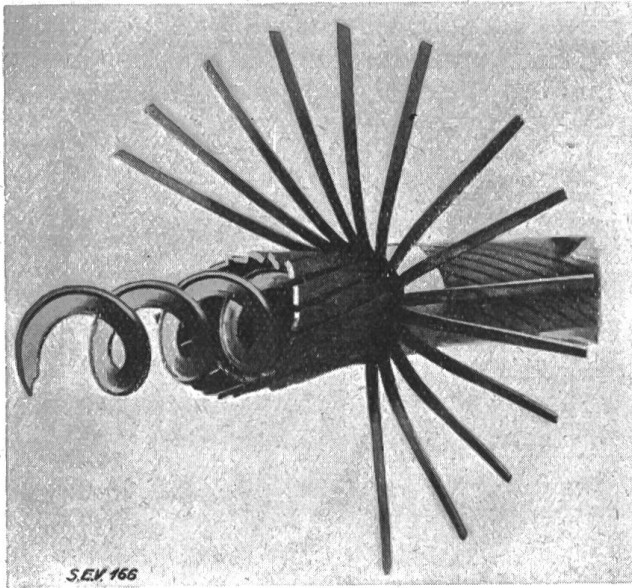


Fig. 5.

Doppellagenhohlleiter der Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerke.

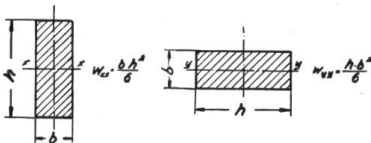
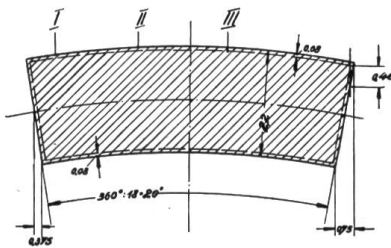
Zu dem Doppellagenhohlleiter mit Innenkonstruktion, dessen Drähte sektorähnlich ausgebildet sind, wäre folgendes zu sagen:

Die Drähte werden stets auf die Innenkonstruktion einen Druck ausüben und dieselbe beanspruchen, da nur bei mathematisch genauer Ausführung der sektorähnlichen Profildrähte die Konstruktion entlastet würde.

In einem Doppellagenhohlleiter, welcher genau untersucht wurde, ergaben sich Unterschiede in der Fabrikation der Drähte, wie sie aus den Fig. 6 und 7 zu entnehmen sind. Sämtliche Drähte waren unter dem normalen Querschnitt gezogen. Dies bewirkt ferner, dass ein derartiger Hohlleiter im Querschnitt nicht kreisrund, sondern immer nur oval sein wird und die Oberfläche entsprechend uneben (siehe Fig. 7).

wird und die Oberfläche entsprechend uneben (siehe Fig. 7).

Die Innenkonstruktion wird daher niemals entlastet, wie oft in der Praxis angenommen wird, sondern stets beansprucht sein und ist somit allen Wechselbeanspruchungen, welche sich durch Schwingungen einstellen, ausgesetzt. Da die Drähte lose nebeneinanderliegen, so wird es schwer um nicht zu sagen, unmöglich sein, die beiden Lagen mit gleicher Spannung zu schlagen.

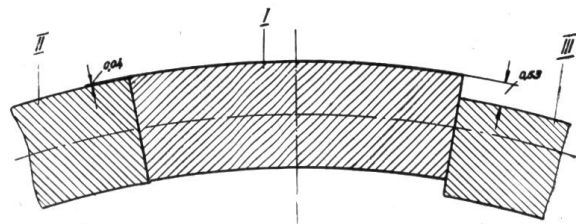


S.E.V. 167

Fig. 6.

Widerstandsmoment W_{xx} ist 24 mal grösser als Widerstandsmoment W_{yy} .

Profil	Querschnitt mm ²	Toleranz mm ²
I	14,37	—
II	14,26	0,11
III	12,96	1,41



Profil II und III wurden aus fertigen Hohlseilstück ermittelt

S.E.V. 168

Fig. 7.

Profil	Querschnitt mm ²	Toleranz mm ²
I	14,37	—
II	14,26	0,11
III	12,96	1,41

Dies dürfte auch schon wegen der elastischen Formänderung der Innenkonstruktion unmöglich sein. Eine weitere Ursache, die desgleichen zu Spannungsdifferenzen in den Drähten beiträgt, hängt von dem Krümmungsradius der Abziehscheibe der Verseilmaschine ab. Je kleiner derselbe ist, desto ungünstiger wirkt er auf die Bruchfestigkeit des Hohlleiters. Ideal wäre daher eine Abziehscheibe mit unendlichem Radius. Diese Verschiedenheiten der Zugspannungen in beiden Lagen

können unter Umständen auch Torsionswirkungen beim Spannen des Leiters auslösen.

Eine Differenz der Spannungen in den Drähten wird sich bei Zerreißversuchen derart auswirken, dass die Bruchsicherheit (Maximum 100 %)

$$= \frac{\text{erreichte Bruchfestigkeit des Leiters}}{\text{Summe der Festigkeit der Einzeldrähte}}$$

einen geringeren Wert ergeben wird. Es werden somit durch die Differenzen der Zugspannungen in den einzelnen Drähten und Lagen ebenso grosse Differenzen in den Radialbeanspruchungen des Leiters entstehen, welche mit der ungenauen Herstellung der Profildrähte eine ungleichmässige Beanspruchung der Innenkonstruktion herbeiführen. Selbst vorausgesetzt, dass die Profile mathematisch genau gezogen werden könnten, so wird der Leiter nur dann nicht die Innenkonstruktion nicht beanspruchen, wenn sämtliche Drähte in den beiden Lagen mit absolut gleicher Spannung geschlagen werden, was jedoch kaum möglich ist. Nur dann, wenn diese beiden Bedingungen erfüllt sind, stützen sich die Profildrähte unter Zugbeanspruchung gegenseitig ab und entlasten die Innenkonstruktion.

Da dies bei den geringen Wandstärken mit Rücksicht auf die Fertigung der Drähte praktisch nicht möglich ist, so sind die Amerikaner dazu übergegangen, den leitenden Querschnitt bedeutend stärker zu wählen, um auf diese Weise die Fertigungsfehler der Profildrähte soweit wie möglich unschädlich zu machen. Dies ist auch ein ganz richtiger Grundsatz, der jedoch den Hohlleiter sehr verteuert, da es auf Kosten des Gewichtes geht.

Ferner ist die Fertigungsweise bei Doppellagenhohlleiter mit Innenkonstruktion sehr schwierig, daher teuer. Nicht nur, dass die Herstellung der schwachen Profile es fast unmöglich erscheinen lässt, vorgeschriebene Toleranzen auf grössere Längen einzuhalten, so ist auch das ganze Herstellungsverfahren kompliziert schon mit Rücksicht auf die Innenkonstruktion und möge sie noch so einfach gewählt werden. Auch erfordert der zu einer solchen Herstellung von Hohlleitern notwendige Maschinenpark einen beträchtlichen Kostenaufwand.

Einlagenhohlleiter.

Aus diesen Ueberlegungen heraus wurden von der Metallbank Frankfurt a. M. Hohlleiter ausgearbeitet, die die erwähnten Uebelstände, soweit es überhaupt möglich ist, ausschalten sollten.

Als Vorbild eines idealen Hohlleiters kann ein glatt gezogenes Rohr betrachtet werden. Wäre es möglich, Rohre in Längen bis zu 1 km und darüber herzustellen und entsprechend gut zu verlegen, so könnte man dieselben als die besten Hohlleiter ansprechen. An die Eigenschaften eines derartigen Rohres soweit wie möglich heranzukommen, lag den Bestrebungen zugrunde.

Fig. 8a zeigt einen Doppellagenhohlleiter mit Innenkonstruktion. Als Innenkonstruktion ist eine Spirale gewählt, deren Profil rechtwinklig ist und deren radialer Schenkel länger ist. Darüber ist eine Lage Profildrähte, welche sich überlappen, in Links- oder Rechtsdrall geschlagen, während am Umfang Flachdrähte in entgegengesetzter Drallrichtung verseilt sind. Durch das Ueberlappen der Drähte der untersten Lage wird erreicht, dass die Differenz von Radialspannungen sich auf die Profildrähte übertragen und die Innenkonstruktion somit entlasten. Die Stützkonstruktion in diesem Hohlleiter kann in bezug auf Radial- und Zugbeanspruchungen der Drähte als vollkommen entlastet angesprochen werden.

Fig. 8b zeigt einen Doppellagenhohlleiter ohne Innenkonstruktion. Die erste Lage besteht aus Profildrähten, welche durch konische Nuten und Federn fest ineinandergreifen. Ueber die Lage sind in entgegengesetzter Drallrichtung Flachdrähte

lose geschlagen. Durch das Herstellungsverfahren, welches für die Fertigung derartiger Hohlleiter in Betracht kommt, erhalten die Drähte der untersten Lage eine vollständig gleiche Zugspannung. Der Nachteil, der bei den Konstruktionen 8a und 8b noch anhftet, ist der, dass noch eine Differenz der Spannungen in beiden Lagen eintreten wird, welche sich, wie schon bemerkt, in einer Verringerung der Bruchsicherheit auswirken wird. Diesen Uebelstand haben daher auch diese beiden Konstruktionen mit den drei vorher beschriebenen gemein.

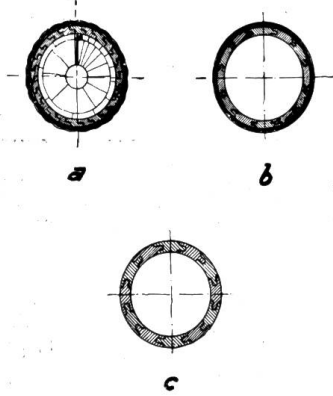


Fig. 8.
Kupferhohlleiter.
Aussendurchmesser 42 mm;
Querschnitt 400 mm².

Man ging daher dazu über, einen Hohlleiter herzustellen, welcher nur aus einer Lage von Profildrähten besteht, die in konische Nuten und Federn fest ineinandergreifen, und zwar wählte man nur 12 Drähte.

Die Behauptung, die hie und da in der Praxis vertreten wird, dass ein Einlagenhohlleiter nicht torsionsfrei ausgeführt werden kann, entspricht nicht den Tatsachen. Hohlleiter, welche aus derartigen Profilen, wie sie die Fig. 8c, 9, 10 und 11 veranschaulichen, bestehen, können vollkommen torsionsfrei hergestellt werden. In

Fig. 11 sind einzelne Profildrähte absichtlich verschoben, um die Konstruktionseinzelheiten besser zu zeigen.

Die Vernichtung der Drehkräfte ist in diesem Falle abhängig von der Schlaglänge, dem Widerstandsmoment der Einzeldrähte und der Art der Ineinanderrückung derselben. In der richtigen Wahl dieser drei Konstruktionsgrößen beruht daher im wesentlichen die Herstellung eines torsionsfreien Einlagenhohlleiters. Niemals wird es möglich sein, einen Einlagenhohlleiter torsionsfrei aus irgendwelchen Profildrähten herzustellen, welche lose auf einer Innenkonstruktion verseilt sind. In diesem Falle treten ganz andere Verhältnisse auf.

Die Vorteile, die dieser Einlagenhohlleiter gegenüber allen bisher erwähnten bietet, sind folgende:

1. Der Zusammenhang der Drähte ist gewahrt. Der Hohlleiter braucht beim Anbringen von Armaturen weder abgebunden noch verlötet zu werden.

2. Ein derartiger Hohlleiter weist die grösstmögliche Widerstandsfähigkeit gegen Radialbeanspruchungen auf und ist daher für die Montage sehr geeignet; denn jeder Profildraht vertritt zugleich eine Innenkonstruktion.

3. Die Drähte eines solchen Hohlleiters weisen alle die gleichen Zugbeanspruchungen auf, da das Herstellungsverfahren schon entsprechend eingestellt ist. Es wurden

Bruchsicherheiten bis nahezu 100% erzielt.

Zerreissversuche mit einem Doppellagenhohlleiter mit Innenkonstruktion und

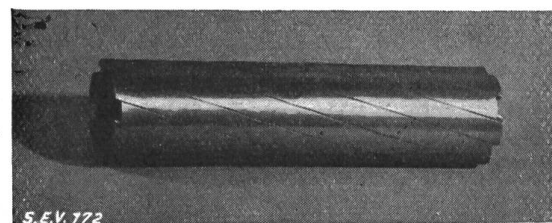
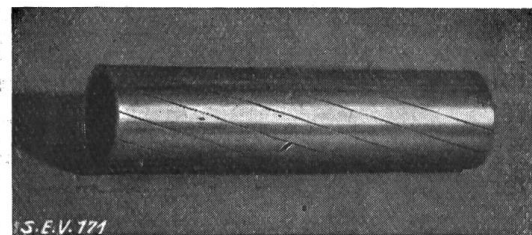
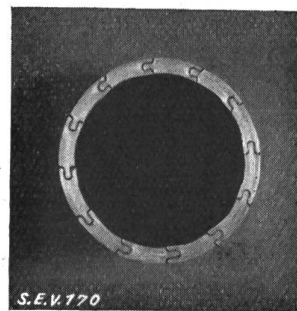


Fig. 9, 10 und 11.
Einlagenhohlleiter der Metallbank, Frankfurt a. M.

einem Einlagenhohlleiter, welcher aus Profildrähten besteht und in der staatlichen Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule zu Darmstadt ausgeführt wurden, haben, wie aus Tabelle I (Fig. 12) hervorgeht, folgende Werte ergeben:



Fig. 12.

Zerreissversuch.

Tabelle I.

Hohlleiterart	Leiterquerschnitt mm ²	Bruchfestigkeit in Richtung		Summe der Einzelbruchfestigkeiten der Drähte $\Sigma p_{1\max}$ kg	Festigkeitsausnutzung $\frac{P_{1\max}}{\Delta p_{\max}} \cdot 100$ %	Festigkeit der Einzeldrähte kg/mm ²	Verdrehung für l=6700 mm P=10000 kg in °	Art des Bruches
		der Seilachse P_{\max} kg	der Drahtachse $P_{1\max}$ kg					
2-Lagenhohlleiter mit Innen- tragkonstruktion	415	15 950	16 510	16 890	98	Äussere Lage 42,4 Innere Lage 41,9	8	33 Drähte ge- rissen
1-Lagenhohlleiter vom Heddenheimer Kupferwerk und Metallbank	406	15 860	16 060	16 145	99,5	40,0	2 1/2	8 Drähte ge- rissen

Bemerkung: Die Versuche wurden in der Staatlichen Mechanisch-Technischen Material-Prüfanstalt der Technischen Hochschule zu Darmstadt ausgeführt.

Es ist besonders die grössere Verdrehung des Doppellagenhohlleiters zu beachten. Hieraus ist zu ersehen, dass die Werte des Einlagenhohlleiters günstiger sind als die des Doppellagenhohlleiters mit Innenkonstruktion. Die Versuche haben ferner gezeigt, dass die Spannungsdifferenzen der Drähte in einem Doppellagenhohlleiter mit Innenkonstruktion umso geringer sein werden, je kleiner die Schlaglänge gewählt wird. Die Wahl einer kleineren Schlaglänge hat jedoch zur Folge, dass die Bruchfestigkeit in axialer Richtung des Seiles, welche ja praktisch nur gewertet wird, abnimmt. Man wird daher die Profildrähte bei Doppellagenhohlleiter mit Innenkonstruktion umso härter ziehen müssen, je kürzer die Schlaglänge ist, um eine entsprechend hohe Bruchfestigkeit zu erhalten. Zu harte Drähte haben jedoch den Nachteil, dass sie spröde werden und sich an den Abspannstellen mit der Zeit Risse bilden können, welche zum Bruch der Drähte führen. Dies ist umso gefährlicher, als die Wandstärke der Profildrähte der äussersten Lage sehr dünn ist.

Bei Einlagen-Hohlleiter kommen alle diese angeführten Gefahrmomente nicht in Betracht.

4. Es ist ohne besondere Schwierigkeiten möglich, diesem Hohlleiter eine schöne, glatte Oberfläche zu geben, welche auch bei der Montage beibehalten wird und nicht abhängig ist von der Ineinanderordnung der Drähte unter Zugspannung wie bei der Doppellagenhohlleiter, deren Drähte aus sektorähnlichen Profilen bestehen.

5. Das Gewicht eines derartigen Hohlleiters bei gleich leitendem Querschnitt ist 0,5–0,6 kg pro l/dm niedriger.

6. Ferner sind die Herstellungskosten um etwa 10–15% geringer und werden sich im Laufe der Zeit noch weiter vermindern lassen.

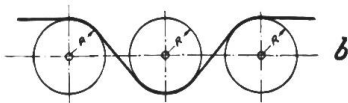
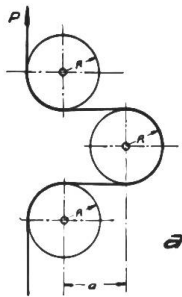
Montage.

Mit Rücksicht auf die Montage soll ein Hohlleiter folgende Eigenschaften besitzen:

1. soll sich derselbe auf Holztrommeln, die auf Normalwaggons verladen können, anstandslos auf- und abwickeln lassen;

2. soll der Hohlleiter sich über die Montagerollen ziehen lassen, ohne Schaden zu nehmen und ohne Querschnittsveränderungen zu erleiden.

Mit Rücksicht auf die angestrebte hohe Zerreiissfestigkeit oder Bruchsicherheit ist es daher erwünscht, die Montagerollen so gross wie möglich zu machen. Die Praxis wählte hierfür einen Durchmesser von 1,6–2 m.



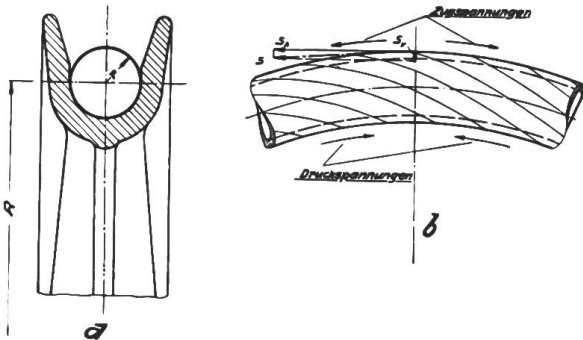
S.E.V. 174

Fig. 13.

Biegungsversuche an Doppellagenhohlleitern nach Fig. 13a und b, mittelst welcher die Widerstandsfähigkeit auf Radialbeanspruchung bewiesen werden will, sind nicht zweckentsprechend, da der Leiter, welcher derartig zum Rollen geschlungen wird, Wechselbeanspruchungen nach Fig. 14b erleidet, welche veranschaulicht, dass ein gebogener Leiter an der äussersten Faser gezogen, an der innersten gedrückt wird. Ein solcher Versuch wird somit wegen der Verschiedenheit der wechselnden Spannungen in den Drähten auf Kosten der Bruchfestigkeit gehen, wenn er auch den Beweis für entsprechende Biegsamkeit eines Leiters erbringt. Derartige Versuche sind daher zu verwerfen.

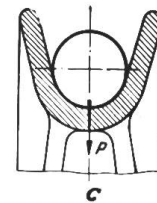
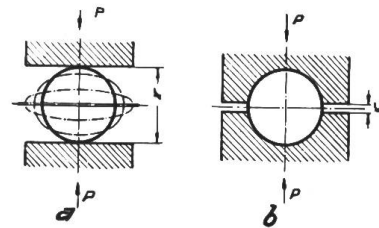
spruchungen bedarf, das Mass der senkrecht zueinander stehenden Achsen zu verändern.

Ebenso unrichtig ist es, einen Hohlleiter, welcher in Rillenscheiben geführt ist und sich bis zu einer Horizontalachse dem Profil derselben anpasst (Fig. 14a und 15c), auf Radialbeanspruchung (Zusammen-drückbarkeit) zu bewerten, da es sehr grosser Beanspruchungen bedarf, das



S.E.V. 175

Fig. 14.



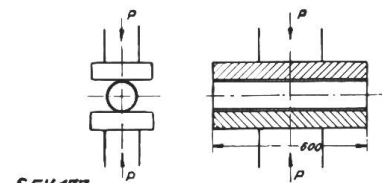
S.E.V. 176

Fig. 15.

Desgleichen ist es nicht richtig, den Höchstwert der Druckbeanspruchung durch einen Versuch zu ermitteln, bei dem der Leiter bei der Beanspruchung von entsprechend geformtem Kaliber teilweise oder nahezu ganz umschlossen wird (Fig. 15b). Eine einwandfreie Druckprobe lässt sich nur erzielen, wenn der Leiter zwischen zwei horizontalen Platten beansprucht wird (Fig. 15a).

Fig. 16 zeigt die Versuchsanordnung, Tabelle II die Versuchswerte in Tabellenform. Obgleich bei der Fabrikation dieses Einlagenhohlleiters Kupfer geringerer Festigkeit verwendet wurde, ergibt sich doch eine höhere Druckfestigkeit des Hohlleiters gegenüber dem Zweilagenhohlleiter mit Innenkonstruktion.

Druckversuch.



S.E.V. 177

Fig. 16.

Tabelle II.

Hohlleiterart	Festigkeit der Einzeldrähte kg/mm ²	Höchste Belastung kg	Anzahl der Drähte
2-Lagenhohlleiter mit Innentragkonstruktion	Äussere Lage 42,4 Innere Lage 41,9	2 800	Äussere Lage 24 Innere Lage 18
1-Lagenhohlleiter vom Hedderheimer Kupferwerk und Metallbank	32	2 850	24

Hieraus ist zu ersehen, dass die radiale Widerstandsfähigkeit eines Einlagenhohlleiters, welcher nur aus 12 Drähten besteht, noch bedeutend höher sein dürfte als die des hier geprüften Einlagenhohlleiters, der mit 24 Drähten hergestellt wurde und den Doppellagenhohlleiter mit Innenkonstruktion schon übertrifft. Versuche mit einem derartigen Leiter werden in nächster Zeit in der staatlichen Materialprüfungsanstalt der technischen Hochschule zu Darmstadt ihren Abschluss finden.

Die Widerstandsfähigkeit des Seiles gegen radiale Beanspruchungen wird bei der Montage insbesondere beim Durchziehen über die Seilrollen in Anspruch genommen. Die an der Seilrolle auftretende vertikale Last ist ungefähr — bei einer Spannweite von 300 m — gleich Gewicht eines 300 m langen Seilstückes, d. h. gleich rund 1100 kg. Hieraus ist zu ersehen, dass diese Beanspruchungen verhältnismässig gering sein werden.

Hier mag erwähnt werden, dass bei der Montage des Seiles des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes in einigen Fällen die Stützspirale des Seiles beim Durchlaufen über die Seilrollen gebrochen ist; hiernach findet unfehlbar ein Ueber-einanderschieben der Einzeldrähte und entsprechende Einschnürung des Seiles statt.

Bezüglich der Zerreißversuche wäre zu erwähnen, dass dieselben ein um so besseres Bild von der Zerreißfestigkeit ergeben, je länger das Probestück genommen wird. Je länger ein Hohlleiterstück ist, um so deutlicher treten bei den Zugbeanspruchungen bis zum Bruch desselben die Zugspannungsdifferenzen in den einzelnen Drähten bzw. Lagen auf. Man sollte daher für Zerreißproben Hohlleiterstücke nicht unter 6 m Länge verwenden.

Der Grad der Widerstandsfähigkeit auf Radialbeanspruchung kann am besten bewertet werden durch Abfangen des Hohlleiters beim Abspannen desselben, mittelst des sogenannten Abspannkopfes oder auch Kofferklemme genannt. Den Gütegrad hierfür bestimmt das Grössenverhältnis des Abspannkopfes, somit der zulässige spezifische Pressungsdruck und die Entfernung der Kofferklemme vom Ende des Hohlleiters.

Aus dem Vorhergesagten geht somit deutlich hervor, dass die Brauchbarkeit eines Hohlleiters für die Verlegung sich am besten durch Ausführung eines Montageversuches im Grossen beweisen lässt.

Genauere Untersuchungen sind hierüber auf der der Firma Brown, Boveri & Cie. gehörenden Versuchsstrecke bei Darmstadt durchgeführt worden. Eine eingehende Beschreibung über die Versuchsstrecke selbst wird später veröffentlicht werden.

Auf der genannten Versuchsstrecke wurden auch Messungen angestellt über die an dem gespannten Seil auftretenden Schwingungen. Es ist zwar bisher nicht bekannt, ob irgend ein Seilbruch oder Isolatorenbruch bei den bisher üblichen Seilquerschnitten auf die Wirkung dieser Vibrationen zurückzuführen war. Mit Sicherheit kann aber gesagt werden, dass bei den wesentlich höheren Seilgewichten, wie sie nunmehr für 220 kV-Leitungen in Frage kommen, die eventuelle schädliche Wirkung dieser Schwingungen infolge der grösseren schwingenden Masse erhöhte Beachtung erfordert. In Amerika wurden, veranlasst durch Betriebsstörungen infolge der Schwingungserscheinungen, Messungen und Versuche zur geeigneten Dämpfung

der Schwingungen durchgeführt. Aehnliche Versuche, die jedoch noch nicht abgeschlossen sind, hat Brown, Boveri & Cie. in Verbindung mit der technischen Hochschule Darmstadt vorgenommen.

Die beobachteten Vibrationen, die offenbar in Abhängigkeit von der Windstärke stehen, weisen zum Teil feste Knotenpunkte zwischen den beiden Abspannpunkten auf und bestehen aus vorwiegend vertikalen Transversalschwingungen mit einer Amplitude von ± 2 mm und einer Frequenz von ca. 5 pro Sekunde.

Diesen transversalen Schwingungen entsprechen Aenderungen in der achsialen Seilspannung. Es wurden bisher im Abspannpunkt des Seiles Schwankungen in der Grösse des Seilzuges von ähnlicher Frequenz wie die transversalen Schwingungen gemessen. Die Grösse dieser Spannungsschwankungen ist jedoch ziemlich unbedeutend, so dass sie nur bei starken transversalen Schwingungen gemessen werden können. Sie betragen dann maximal ca. ± 50 kg. Der Seilzug, der während den Messungen vorhanden war, betrug ca. 2800 kg, der Durchschlag ca. 6,30 m, bei einer Spannweite von 200 m. Die Messungen wurden auf der Versuchsstrecke in Darmstadt an einem 24adrigen Hohlseil erhalten. Es ist klar, dass diese raschen Aenderungen des mechanischen Spannungszustandes durch die Ermüdung des Seiles oder Isolatormaterials unter Umständen zu Brüchen führen können.

Man hat in Amerika versucht, die Vibrationen durch Anordnung grösserer Massen, in der Nähe des Abspannpunktes, beispielsweise durch Anhängen eines längeren Seilstückes gleichen Querschnittes an das Leiterseil, oder durch Anhängen schwerer Gewichte zu dämpfen oder zu unterdrücken; angeblich soll der beabsichtigte Zweck erreicht worden sein.

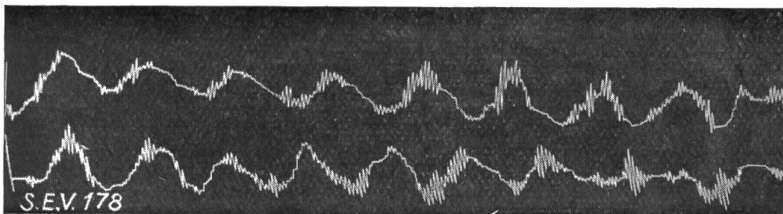


Fig. 17.

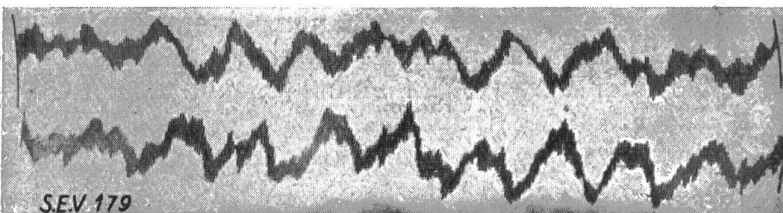


Fig. 18.

Die folgenden Abbildungen zeigen einige Diagramme, aus denen die Grösse und Art der Transversalschwingungen entnommen werden kann. Fig. 17 und 18 zeigen langsame Schwingungen, denen kurze Vibrationen geringerer Amplitude überlagert sind. Es kann auf die Regelmässigkeit im Anwachsen und Abnehmen der raschen Vibration hingewiesen werden.

Die weiteren Diagramme (Fig. 19 bis 22) zeigen Schwingungen, bei denen die Grundschwingungen gegenüber den überlagerten Vibrationen zurück-

treten. Aus den gleichzeitig mit den Oszillationsmessungen vorgenommenen Messungen der Schwingungen der Seilspannung kann unter Umständen auf die Grösse der Spannungsschwankung bei grösseren Windstärken geschlossen werden. Es ist dies der Auswertung der Messungsergebnisse vorbehalten.

Um das Verhalten des Seiles bei grösseren Zusatzlasten, d. h. mit Seilspannungen von ca. 10 t kennen zu lernen, wurden auf der gleichen Versuchsstrecke Zugversuche im grossen, d. h. den praktischen Verhältnissen angepasst, vorgenommen, während Zugversuche mit kurzen Seilstücken (ca. 7 m Länge) bereits vom Materialprüfungsamt der Technischen Hochschule Darmstadt durchgeführt waren. Ein Seilzug von ca. 10 t wurde bei dem Versuch im grossen durch Anhängen von Sandsäcken an das bereits vorgespannte Seil erreicht.

Das Versuchsseil war ein 12adriger Hohlleiter. Die Spannweite betrug 200 m.

Es zeigte sich bei diesem Versuch, dass das Hohlseil vollkommen torsionsfrei verlegt werden kann und auch bei diesen Zusatzlasten torsionsfrei bleibt.

Im allgemeinen ist über die *Montage eines Hohlleiters* noch zu sagen, dass dieselbe unter grösstmöglicher Schonung des Leiters zu erfolgen hat.

Die Vorzüge eines Einlagenhohlleiters gegenüber einem Doppellagenhohlleiter mit Innenkonstruktion wären somit die folgenden:

1. Die Montage eines Einlagenhohlleiters wird schneller von statten gehen, da derselbe wegen des festen Zusammenhangs der Drähte leichter zu handhaben ist.

2. Die Armaturen sowie Verbinder sind für einen Einlagenhohlleiter bedeutend einfacher. Auch ist der für die Montage derselben erforderliche Zeitaufwand geringer.

3. Ein Einlagenhohlleiter lässt sich ohne Schwierigkeiten auf Seiltrommeln auf- und abwickeln. Letzteres dürfte bei einem Doppellagenhohlleiter mit Innenkonstruktion wohl kaum einwandfrei möglich sein.

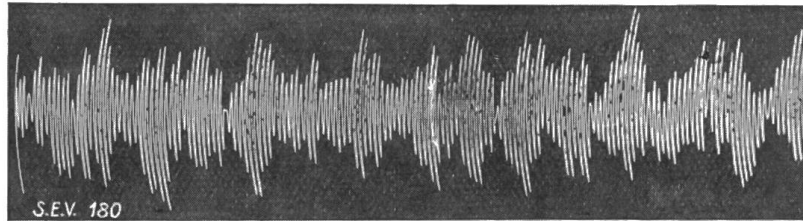


Fig. 19.

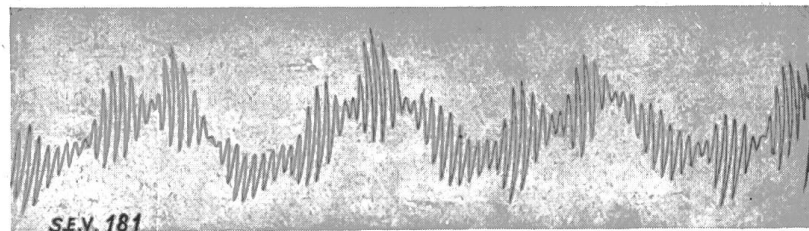


Fig. 20.

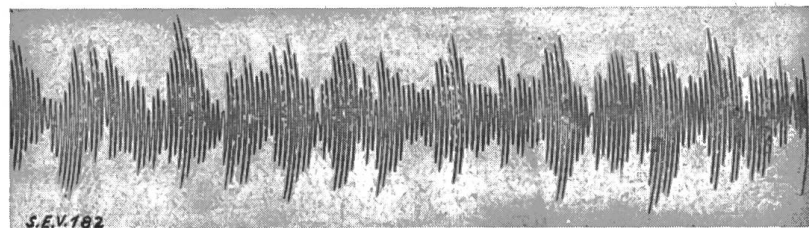


Fig. 21.

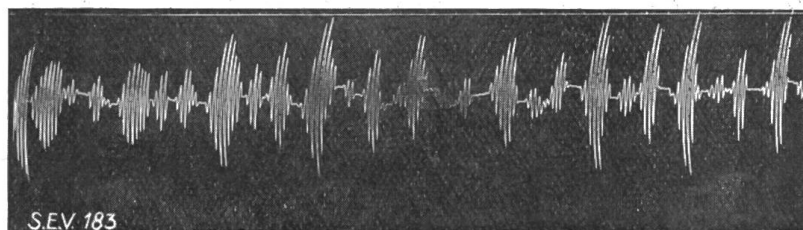


Fig. 22.

Wirtschaftlichkeit.

Die wirtschaftlichen Vorteile eines Einlagenhohlleiters gegenüber einem Doppellagenhohlleiter mit Innenkonstruktion lassen sich am zweckmässigsten an Hand eines Vergleiches darstellen. Legt man beispielsweise eine Leitungslänge von etwa 550 km für eine 220/380 kV Fernleitung zugrunde, so werden bei 3 Phasen etwa 1700 km Hohlleiter notwendig. Der Einlagenhohlleiter wiegt bei einem Querschnitt von 400 mm² 3,6 kg pro m. Der gleiche Doppellagenhohlleiter mit Innenkonstruktion wiegt dagegen 4,1–4,2 kg pro m. Somit ergibt sich bei dem Einlagenhohlleiter eine Gewichtsersparnis von 0,55 kg pro m und daher eine Gesamtersparnis an Kupfer im Gewichte von 955 t. Legt man einen Kupferpreis von *Mk. 1320,00/t* zugrunde, so ergibt sich eine Kupferersparnis von *Mk. 1235 000.—*. An Arbeitskosten wird sich eine Gesamtersparnis von etwa *Mk. 2 500 000.—* ergeben, so dass die gesamten Ersparnisse, wenn der Einlagenhohlleiter zur Anwendung käme, sich auf etwa *Mk. 3 900 000.—* belaufen würden. Unberücksichtigt hierin sind die Ersparnisse, die sich aus der einfacheren Montage ergeben.