

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 30 (1939)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Kabel  
**Autor:** Borel, J. / Schneeberger, P.E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058394>

### **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>**

bis heute in der Schweiz festgestellten Blitzströme überschreiten 100 000 A. Die damit erreichten Erkenntnisse erleichtern in der Zukunft den Bau von blitzsicheren Leitungen.

Für die Isolation der Weitspannleitungen haben sich nur wenige Isolatorrentypen gut bewährt. Unter diesen gewinnt der Vollkern- oder Motor-Isolator wegen seiner Zuverlässigkeit immer mehr Boden. Der neu auf dem Markt erschienene Motor-Langstabilisolator scheint diese Entwicklung noch zu fördern.

#### Ausblick.

In verschiedenen Gegenden der Schweiz sind noch grosse unausgebaute Wasserkräfte vorhanden. Da die meisten sich in abgelegenen Gegenden befinden, stellt ihre Erschliessung auch grosse Aufgaben an den Leitungsbau. Die grossen, in Frage stehenden Leistungen und Entfernungen werden zum Teil den Bau von Leitungen mit Spannungen höher als 150 kV erfordern.

Bei ihrer Projektierung werden Probleme in den Vordergrund treten, die zwar schon bisher erwogen werden mussten, deren Einfluss aber bei den bisherigen Leitungsbauten in der Schweiz nur selten entscheidend waren. In erster Linie wird das Koronaproblem erhöhte Beachtung erfordern, denn es wird für die Kosten solcher Leitungen wichtig sein,

die minimal erforderlichen Leiterdurchmesser richtig zu ermitteln, dies auch dann, wenn es sich um Hohlseile handelt. Für die Gotthardleitung wurden für den späteren Ausbau auf 380 kV für die Bergstrecken Hohlleiter von 50 mm Durchmesser, für Talstrecken solche von 40 mm in Aussicht genommen. Die durch den SEV begonnenen Versuche werden Klarheit darüber schaffen, ob auch mit geringern Durchmessern auszukommen ist.

Weiter werden die Fragen der elektrischen Netzstabilität stärker berücksichtigt werden müssen. Für einige lange und stark belastete Leitungen wird bald die dynamische Stabilitätsgrenze erreicht werden. Für die erwähnten grossen Leitungsbauten wird bei der Wahl der Spannung und vielleicht sogar des Stromsystems das Stabilitätsproblem ausschlaggebend sein. In den engen Bergtälern der Schweiz ist der Platz für Uebertragungsleitungen sehr beschränkt. Man wird daher vielleicht auch in Gebirgsgegenden versuchen müssen, Doppelleitungen für Spannungen über 150 kV zu bauen. Dabei wird vielleicht die Hochspannungsgleichstromübertragung in Berücksichtigung gezogen werden müssen, da gerade im Gebirge die nur vierdrähtige Gleichstrom-Doppelleitung mit Vollseilen der schwieriger zu bauenden 6drähtigen Dreiphasen-Doppelleitung mit Hohlseilen überlegen sein müsste.

### Kabel.<sup>1)</sup>

Von J. Borel, Cortaillod, und P. E. Schneeberger, Brugg.

621.315.2

*In französischer Sprache werden die Gründe erörtert, die zu vermehrter Verwendung von Kabeln zur Kraftübertragung führen und die Bedingungen klargestellt, deren Erfüllung die Sicherheit des Betriebes gewährleisten. In deutscher Sprache wird hierauf der Stand der Kabeltechnik dargestellt, wobei besonders auf die Aussichten und die Erfordernisse der Gleichstrom-Hochspannungs-Uebertragung mit Kabeln und die Technik der Kabel sehr hoher Spannung überhaupt eingegangen wird.*

*Les auteurs donnent, en français, les raisons qui conduisent à utiliser toujours davantage les câbles pour le transport de l'énergie, et citent les conditions à remplir pour garantir la sécurité de l'exploitation. Ils exposent ensuite, en allemand, l'état actuel de la technique des câbles, en tenant plus particulièrement compte de l'avenir et des exigences des câbles pour le transport d'énergie à très haute tension continue, ainsi que, d'une façon générale, de la technique des câbles à très haute tension.*

J. B. — Transmettre de l'énergie électrique par des câbles souterrains, c'est augmenter la sécurité d'exploitation des réseaux par suite

de l'absence de perturbations météorologiques,  
de la faible possibilité de la part des hommes de causer des dégâts involontaires ou par malveillance,  
de l'amortissement des surtensions par la capacité des câbles.

C'est aussi diminuer les frais d'entretien des réseaux, et c'est enfin, sur le plan esthétique, contribuer à la lutte contre l'enlaidissement des sites qui est la rançon du progrès quand il ne repose que sur des considérations d'ordre strictement matériel.

En regard de ces avantages d'ordres divers, il faut mettre en balance

le prix plus élevé des canalisations électriques souterraines par rapport à celui des lignes aériennes,  
la grande capacité des câbles qui entraîne l'emploi de puissantes machines pour mettre la canali-

sation sous tension (capacité qui peut être aussi un avantage: amortissement des surtensions, amélioration du  $\cos \varphi$ ),

le temps relativement long des réparations des accidents dont les câbles peuvent être victimes.

Les avantages et désavantages en quelque sorte complémentaires des câbles et des lignes aériennes, font que chacun de ces deux moyens de transmettre l'électricité a son domaine d'action. La limite de ces domaines, pourtant, n'est pas très précise, et c'est pourquoi, dans les projets, il peut y avoir concurrence entre les câbles et les lignes aériennes. La possibilité de cette concurrence s'est accrue au profit des câbles, car actuellement il n'y a ni tension ni puissance industrielles que les câbles ne puissent tenir ou transmettre.

Rappelons que la transmission d'énergie électrique en courant continu avantagerait nettement les câbles aux dépens des lignes aériennes.

L'un des arguments qui est souvent mis en avant en défaveur des câbles est le temps assez long que nécessitent leurs réparations éventuelles. Cet argu-

<sup>1)</sup> Vgl. den Bericht über die Diskussionsversammlung des SEV vom 27. November 1937 über Kabeltechnik. Bull. SEV 1938, Nr. 10 und Nr. 15; Sonderdruck des ganzen Berichtes erhältlich.

ment d'importance perd heureusement une partie de sa valeur en ce sens que la technique des câbles est actuellement suffisamment au point pour que les défauts dûs à la qualité insuffisante de l'isolant soient pratiquement exclus.

Qualité et contrôle, tels en sont en effet les mots d'ordre qui dominent toute la technique des câbles.

Les câbles plus que tout autre objet destiné à la production, à la transformation ou à la transmission de l'énergie électrique, doivent posséder un haut facteur de sécurité. On ne peut reviser périodiquement un câble ainsi qu'on le fait pour un transformateur ou un alternateur, d'autre part on ne peut entretenir un câble ainsi qu'une ligne aérienne. Le câble doit donc non seulement être bon au départ de l'usine, mais il doit le rester en exploitation et cela sans qu'aucune intervention ne soit nécessaire.

La sécurité de fonctionnement du câble impose au fabricant une ligne de conduite sévère et dont la sévérité croît avec la tension pour laquelle le câble est construit. Cette ligne de conduite exige que l'attention, la surveillance et le contrôle soient exercés sans relâche.

«Attention» dans la fabrication du conducteur, de l'isolant, dans l'assemblage des conducteurs isolés, spécialement pour les câbles sectoriaux dans la mise sous plomb.

«Surveillance» dans la coordination des différentes étapes de la fabrication.

«Contrôle» des différentes matières premières, contrôle de la marche des opérations si importantes pour la qualité du câble que sont la dessiccation et l'imprégnation du papier, contrôle des propriétés électriques du câble terminé: isolement, capacité, pertes diélectriques, essai de tension et, pour les câbles destinés aux hautes et très hautes tensions, contrôle de la tenue de l'isolant aux ondes de chocs.

Ce dernier contrôle qui est aussi le dernier venu mérite qu'on s'y arrête un instant.

La considération des surtensions occupe une place de plus en plus grande, non seulement dans les préoccupations des exploitants, mais aussi dans celles des fabricants qui s'occupent d'objets pour la haute et la très haute tension. Parmi ces fabricants, ceux qui font des câbles ont d'autant plus de raison de s'en préoccuper que les câbles peuvent constituer un moyen intéressant pour amortir les surtensions. Il est donc nécessaire que la résistance aux chocs du papier imprégné soit bien connue ainsi que la valeur des surtensions que le câble supportera en service. Il faut d'autre part que les boîtes d'extrémité possèdent une tension de contournement aux chocs inférieure à celle qui amène le claquage du câble (pour servir de soupape) mais suffisamment élevée pour ne pas provoquer de trop fréquents dérangements dans l'exploitation du réseau.

En fait le contrôle de la tenue de l'isolant d'un câble aux surtensions n'intéresse directement que les câbles destinés aux plus hautes tensions, car cette tenue ne dépend pas de la plus ou moins parfaite qualité de l'isolant mais de son épaisseur. Or les câbles à huile, qui sont actuellement les câbles les plus

appropriés pour les très hautes tensions, travaillent à des gradients maxima environ 2,5 fois plus élevés que les meilleurs câbles à matières visqueuses. Les câbles à huile ont donc, toutes choses égales, des épaisseurs d'isolants faibles et par conséquent une plus faible résistance aux surtensions. On peut dire que c'est la tenue à la tension alternative (50 Hz) qui caractérise la valeur d'un câble à matière visqueuse, mais que c'est la tenue aux chocs qui caractérise la valeur d'un câble à huile.

E. S. — Der gegenwärtige Stand der Kabeltechnik erlaubt zu sagen, dass jede Leistung bei jeder Spannung heute mit Kabeln übertragen werden kann. Bei Industriefrequenzen kommen für Betriebsspannungen bis 70 kV die Massekabel in Betracht, welche, trotz einiger physikalisch bedingter Nachteile, mit den modernen Fabrikationsmethoden absolut betriebssicher hergestellt werden können. Für höhere Spannungen kommen die Oelkabel, Gaskabel und Druckkabel zur Verwendung, von denen unzweifelhaft das Oelkabel am meisten Bedeutung erlangte.

Die verschiedenen neuen Kabelkonstruktionen für höhere Spannungen bezwecken, die elektrische und thermische Widerstandsfähigkeit der Isolation und damit deren Beanspruchungsmöglichkeit zu steigern und so, neben der Erzielung von wirtschaftlichen Vorteilen, gleichzeitig auch die Betriebssicherheit der Kabel zu erhöhen.

Es mag hier am Platze sein, kurz die physikalischen Grundlagen des Hochspannungskabels darzulegen.

Betrachtet man das Dielektrikum eines Hochspannungskabels, so findet man zwischen Leiter und Bleimantel die geschichtete Isolation durch Papierbänder aufgebaut, welche mit einem Isolieröl getränkt sind. Wenn auch nach den neuesten Verfahren die Tränkung unter hohem Vakuum vor sich geht, so sind speziell beim Massekabel immer noch gewisse Gasreste vorhanden, die unter der thermischen Beanspruchung (Betriebserwärmung des Kabels) mit der Zeit an Volumen zunehmen können. Dies ist so zu erklären, dass infolge der Ausdehnung des Bleimantels bei erhöhter Temperatur der Raum zwischen Leiter und Blei grösser wird. Da das Massekabel eine in sich geschlossene Anordnung darstellt, müssen sich in diesem Raume (Isolation) die entsprechenden Aenderungen bilden. Weil kein Zufluss von Isolationsmaterial stattfinden kann, wird das Volumen der Hohlräume grösser. Was dies für ein hochbeanspruchtes Dielektrikum bedeutet, weiss jeder Elektriker. Man ersieht daraus, dass ein Mittel zur Verbesserung der Kabelisolation darin besteht, die Hohlräume oder Gaseinschlüsse zu verhindern oder wenigstens nicht grösser werden zu lassen. Dies geschieht dadurch, dass man das Kabel mit dünnem Oel füllt und dieses Oel mit Gefässen ausserhalb des Kabels in Verbindung bringt. In diesen Gefässen ist eine unter Druck stehende Oelreserve vorhanden, welche bei Kabelausdehnungen in das Kabel fliesst, so dass in der Isolation keine Hohlräume entstehen können.

Ein anderes Verfahren verhindert Hohlräume in der Weise, dass das Kabel, sei es von innen (durch einen Hohlkörper) oder von aussen (Kabel in Stahlrohr verlegt) unter Druck gesetzt wird. Dadurch wird die physikalische Eigenschaft eines Gases, bei erhöhtem Druck grössere Durchschlagsfestigkeit zu haben, zur Verbesserung der Kabelisolation angewendet. Diese Methode kann für die Oel- und Massekabel angewandt werden.

Eine weitere Anwendung des zweiten Systems sind die reinen Gasdruckkabel, wo keine Oel- oder Masseimprägnierung mehr nötig ist. Das getrocknete Papier, von besonderer Form, wird in einem gegen Druck speziell armierten Bleimantel mit einem elektrisch günstigen Gas unter hohem Druck beschickt.

Die zulässigen spezifischen Spannungsgradienten bei Massekabeln betragen im Maximum ca. 5 kV/mm, wogegen die Oel-, Gas- und Druckkabel Gradienten von 10 kV/mm und mehr erlauben. Die Berechnung der spezifischen Beanspruchungen erfolgt bis heute nach der O'Gormannschen Formel unter der Voraussetzung, dass das Dielektrikum homogen und die Dielektrizitätskonstante wirklich eine Konstante sei.

Für die praktische Berechnung von Höchstspannungskabeln bei Wechselfspannungen ist diese Methode absolut genügend. Für Zukunftsprojekte der Uebertragung höchster Leistungen bei höchsten Spannungen müssen auch die Verhältnisse für Gleichspannungen untersucht werden.

Infolge der auftretenden Ladeströme bei der Anwendung von Wechselstrom wird eine Grossübertragung mittels Kabeln durch die benötigten Kompensatoren verteuert. Dagegen stellt sich eine Kraftübertragung mit hochgespanntem Gleichstrom erheblich günstiger. Es wird in absehbarer Zeit sicher möglich sein, mit Mutatoren Gleichspannungen von einigen 100 000 Volt zu erzeugen, die dann durch Kabel übertragen werden können. Da die Durchschlagsfestigkeit der Kabelisolation bei Gleichspannung ungefähr 2,5- bis 3mal grösser ist als bei Wechselfspannung, besteht ohne weiteres heute schon die Möglichkeit, Gleichspannung in einem System von 2 Kabeln, wovon das eine positiv geladen, das andere auf Minus-Potential von 500 kV steht, zu übertragen. Die Durchschlagsspannung eines Kabels ist keine Materialkonstante. Sie hängt neben der Form des Aufbaues von verschiedenen Faktoren ab: der Art der Spannung (Gleich-, Wechsel-, Stoßspannung) sowie von der Zeitdauer der Spannungseinwirkung. Als Zerstörungsursache infolge der Beanspruchung durch die Betriebsspannung kommt beim Kabel nur der Wärmedurchschlag in Frage, und zwar nicht einmal in seiner reinen Form. Das gilt sowohl für Wechselstrom- als auch für Gleichstrombetrieb. Die höhere Festigkeit des Kabels gegen Gleichspannungsbeanspruchung hängt mit der ausgesprochen geschichteten Struktur der Isolation zusammen. Wie experimentell festgestellt wurde, ist dieser Unterschied allen geschichteten Dielektriken gemeinsam; er ist in der Regel um so grösser, je ausgesprochener die Schichtung ist. (Bei Glim-

mer kann der Unterschied 400 % betragen.) Die Gründe dieses Verhaltens sind verschiedener, zum Teil recht komplizierter Natur. Sicher spielt die Tatsache mit, dass bei Gleichspannung die Umelektrisierungs- und Nachladeverluste (Maxwell-Wagner-Effekt) wegfallen und die stationäre Feldstärkeverteilung im Isolator anderen Gesetzen unterworfen ist. Wenn auch die physikalischen Verhältnisse des Gleichstromkabels erst ihrer endgültigen Abklärung entgegengehen, so darf man doch heute schon sagen, dass die praktische Verwendung des Kabels zur Uebertragung von Gleichstromhöchstspannungen ohne prinzipielle Schwierigkeiten möglich ist.

Die in der Schweiz gebauten Kabel-Anlagen für die höchsten Spannungen (bis heute 150 kV) wurden nach dem Oelkabelprinzip ausgeführt. Im Laufe der letzten Jahre wurden in verschiedenen andern Ländern über 2000 km Oelkabel für Spannungen bis 220 kV montiert. Dies vermag den Beweis zu liefern, dass irgendwelche technische Bedenken gegen die Verwendung von Kabeln für höchste Spannungen in keiner Weise mehr gerechtfertigt sind, nachdem die im Betriebe stehenden Anlagen ohne Ausnahme einwandfrei arbeiten.

Die Betriebserfahrungen mit den in der Schweiz arbeitenden Mittel- und Hochspannungskabelanlagen sind die denkbar besten. Schäden, herrührend von Fabrikationsfehlern, sind praktisch verschwunden. Betriebsstörungen treten nur noch auf durch atmosphärische Störungen, mechanische Verletzungen und Montagefehler. Die beiden letztgenannten Fehlerursachen sind durch sorgfältige Verlegungsarbeiten und gute Ausbildung der Monteure zu beheben.

Die Untersuchungen über die atmosphärischen Störungen wurden durch die Forschungskommission für Hochspannungsfragen des SEV und VSE (FKH) in Verbindung mit den Laboratorien der Kabelfabriken in den letzten Jahren sehr gefördert. Diese Forschungstätigkeit, die sich in den grossen Rahmen der Koordinationsbestrebungen einreihen lässt, hat zu wertvollen Aufklärungen geführt, welche die Betriebssicherheit der Kabelanlagen noch zu erhöhen vermögen. Ausser dem normalen Verwendungszwecke der Uebertragung von Energie auf kürzere oder längere Distanzen wird das Kabel auch als Ueberspannungsschutz je länger je mehr in Dienst genommen. Seine hohe Durchschlagsfestigkeit gegenüber Stossbeanspruchungen und die wesentliche Schutzwirkung, bedingt durch die wirksame Kapazität, bringen für Neuanlagen nicht nur technische, sondern auch wirtschaftliche Vorteile. Abgesehen von deren Wünschbarkeit im Sinne der Bestrebungen des Heimatschutzes vermögen Kabelanlagen am Ende von Freileitungen auch die Baukosten der Unterstationen zu reduzieren, da neben dem Fortfall der Ableiterschutzeinrichtungen auch die Baukosten verringert werden können.

In der Umgebung von Flugplätzen, militärischer und privater Natur, ist die Verwendung von Kabelanlagen absolut nötig, um die Unfallgefahr zu vermindern.