

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 44 (1953)
Heft: 4

Artikel: Die 380-kV-Freileitung
Autor: Vögeli, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058054>

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: 24.05.2025

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

Reaktanz auf der Leitung $X_L - X_C$ bleibt, Rechnet man mit den Formeln für eine lange Leitung, so wird der Ausdruck für die Reaktanz selbstverständlich komplizierter. Wir müssen dann annehmen, dass zuerst ein Stück Leitung, dann der Kondensator und wieder ein Stück Leitung in Serie geschaltet sind, sofern wir den Kondensator als in der Mitte eingebaut annehmen. Für ein kurzes Leitungstück von höchstens 300 km ist aber die oben angegebene verbleibende Reaktanz genügend genau. Bei gleichbleibendem Spannungsabfall ist es daher möglich, auf der Leitung mit Seriiekondensator eine erhöhte Leistung zu übertragen. Hand in Hand damit geht natürlich noch eine Verbesserung der Stabilität. Die erhöhte Leistung ist abhängig vom Kompensationsgrad $k = X_C/X_L$, wie er in Schweden und Amerika bei den Untersuchungen über Seriiekapazitäten eingeführt worden ist.

Fig. 6 gibt den Zusammenhang zwischen der übertragenen Leistung als Abszisse aufgetragen und

der dazugehörigen Kompensationsleistung als Ordinate. Es ist die gleiche Leitung mit gleichen Charakteristiken angenommen, wie in Fig. 5. Man sieht, dass für die Übertragung von z. B. 700 MW eine Kompensationsleistung von ungefähr 150 MVar benötigt wird.

Die Probleme der Kompensation einer 380-kV-Leitung sind mit diesen kurzen Ausführungen natürlich nur angedeutet worden. Erwähnen möchte ich nur noch, dass für die erste 380-kV-Leitung in Schweden Kompensationsmittel mit einer Leistung von insgesamt ca. 500 MVar für die Spannungsregulierung eingesetzt wurden.

Zum Schluss möchte ich bemerken, dass die angedeuteten Probleme der Spannungshaltung meiner Ansicht nach auch für die 225-kV-Netze ihre Gültigkeit haben.

Adresse des Autors:

W. Hauser, Direktor der Aare-Tessin A.-G. für Elektrizität, Olten (SO).

Die 380-kV-Freileitung

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 5. Dezember 1952 in Zürich, von R. Vögeli, Baden

621.315.1.027.7

Ausgehend von der Korona-Erscheinung, die die Wahl der Leiterseile für die 380-kV-Übertragungen wesentlich beeinflusst, gibt der Verfasser einen Überblick über die in verschiedenen Ländern Europas angewendeten Bündelleiter. Am Beispiel einer schwedischen Leitung von grosser Länge wird das Verhältnis der Ohmschen Verluste zu den Korona-Verlusten gezeigt. Nach dem Vergleich von Isolatorenketten verschiedener Herkunft wird die Ausgestaltung des Mastbildes und die Schutzwirkung der Erdseile behandelt. Den Abschluss bildet eine Betrachtung über die Zusatzlasten und ihren Einfluss auf die Leiterseile und die Mastkonstruktion.

L'auteur rappelle les pertes par effet de couronne, faisant ressortir le rôle important de ce phénomène dans le choix des conducteurs pour les lignes à 380 kV. Il mentionne les lignes réalisées dans divers pays d'Europe avec des conducteurs en faisceaux et indique la relation existante entre les pertes ohmiques et les pertes par effet de couronne pour une ligne suédoise de grande longueur. Après avoir établi une comparaison entre chaînes d'isolateurs de types différents, l'auteur examine quelques dispositions des conducteurs sur les pylônes ainsi que le degré de protection assuré par les câbles de terre. Il termine en traitant la question des surcharges par rapport aux conducteurs et à la construction des pylônes.

Als Kernproblem bei der Projektierung der 380-kV-Leitungen erweist sich die Beherrschung der Korona-Verluste. Zur Beschränkung dieser, durch Ionisierung der Luft an der Leiter-Oberfläche verursachten Verluste, stehen zwei Mittel zur Verfügung:

1. Reduktion der elektrischen Feldstärke an der Leiter-Oberfläche durch Vergrösserung des Leiter-Durchmessers, d. h. Verwendung von Hohlleitern.
2. Reduktion der ionisierenden Fläche durch Aufteilen der Leiter in Bündel, womit eine Steuerung des elektrischen Feldes bewirkt wird.

Es sind hauptsächlich die klimatischen Verhältnisse, welche die Wahl des einen oder andern Mittels entscheiden.

Die vielen Einflüsse, die sich auf die Korona-Verluste auswirken, werden seit Jahren in verschiedenen Ländern eifrig untersucht. Neben der Feldstärke und dem Luftdruck ist es vor allem die Oberflächen-Beschaffenheit der Leiter, die sich bemerkbar macht. Je grösser der Leiter-Durchmesser, desto stärker wirken sich bei sonst gleichen Verhältnissen Rauigkeit, z. B. Tau-Tröpfchen, Staub und kleine Verletzungen auf der Oberfläche aus. Diese Empfindlichkeit dicker Leiter hat dazu geführt, dass in den letzten Jahren mehr und mehr der im Jahre

1932 von Markt und Mengele [1, 2]¹⁾ vorgeschlagene Bündelleiter verwendet wird.

Ein kurzer Rundblick (Tabelle I) zeigt, wie in den einzelnen Ländern die Aufgabe gelöst wird:

Leiter der 380-kV-Leitungen Tabelle I

Land	Leiterart*)	Leiterdurchmesser mm	Material	Abstände	
				Bündel	Phasen
Schweden	○○ ○○	31,7	StA	45	12
Frankreich	○○ ○	26,4	StA	40	10,2
Bundesrepublik Deutschland	○○ ○○	21,7	StA	40	7...10,5
Russland	○○ ○	30,2	StA	40	10,5
Schweiz (Ebene)	○○ ○	30,5	Al ₃	45	9
Schweiz (Berg)	○ ○	50...60			9...12,5

*) Die in der Kolonne Leiterart rechts eingetragenen Leiteranordnungen haben in Frankreich und Deutschland grössere Leiterdurchmesser, als daneben angegeben.

Schweden [3, 4]: Zweier-Bündel mit der Absicht, diese zu einem Dreier-Bündel zu ergänzen.

Frankreich [5]: Zweier-Bündel, evtl. streckenweise Hohlseile in Rauhreifgebieten.

Deutschland [7]: Vierer-Bündel, Zweier-Bündel in Rauhreifgebieten.

Russland [6]: Dreier-Bündel.

Schweiz [8, 9]: Zweier-Bündel, streckenweise Hohlseile in Gebieten mit grossen Zusatzlasten.

¹⁾ siehe Literatur am Schluss.

Einen klaren Überblick über die Höhe der Korona-Verluste sowohl an Einzelleitern wie auch an Bündelleitern verschiedener Dimensionen gibt Fig. 1, die schon früher durch Brown Boveri veröffentlicht wurde [10]. Diese Figur enthält sowohl

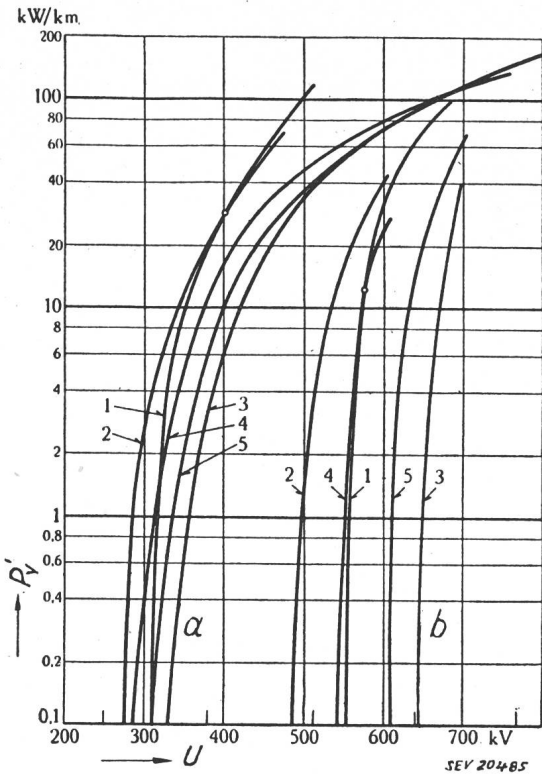


Fig. 1

Koronaverluste pro Leiter P_v' in kW/km einer 380-kV-Leitung in Abhängigkeit von der effektiven Betriebsspannung U

Die Kurvenschar *a* gilt für Regen, *b* für schönes Wetter
 1 Hohlleiter von 50 mm Durchmesser; 5 Zweier-Bündel aus Seilen von 30,2 mm Durchmesser, 550 mm² Querschnitt mit einem gegenseitigen Abstand von 400 mm; 2, 3, 4 Zweier-Bündel mit 400 mm Seilabstand, bestehend aus folgenden Seilen: 2 × 23,4 mm, 2 × 33,4 mm, 2 × 27,6 mm. Für 400 kV betragen die Koronaverluste bei Regen (*a*) gemäss Kurve 1 im Hohlleiter das Dreifache derjenigen mit Bündelleitern nach Kurve 5

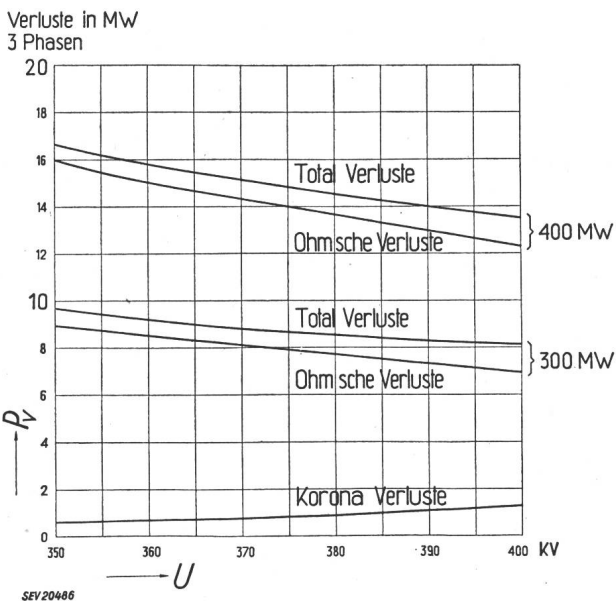


Fig. 2

Ohmsche Verluste und mittlere jährliche Koronaverluste einer schwedischen 380-kV-Leitung von 475 km Länge

Die Ohmschen Verluste sind für die Übertragungsleistungen von 300 MW und 400 MW eingetragen
 P_v' Verlustleistung; U Betriebsspannung

ein Zweier-Bündel als auch einen Hohlleiter der Abmessungen, wie sie für die Alpenleitungen der Atel in Frage kommen.

Ein Bild im CIGRE-Rapport 410/1950 [3] gibt für die schwedischen Leitungen einen Vergleich zwischen Ohmschen Verlusten und Korona-Verlusten (Fig. 2). Es zeigt, dass bei Verwendung von Bündelleitern bei gut belasteten Leitungen die Ohmschen Verluste ein Mehrfaches der Korona-Verluste ergeben. Das Verhältnis wird von Leitung zu Leitung, je nach ihren Belastungsverhältnissen und der Feldstärke, ein anderes sein. Zur Vermeidung von Radiostörungen dürfen die Korona-Verluste nicht nur nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten beurteilt werden.

Die bisher für einige Leitungen in Aussicht genommenen oder eingebauten Isolatoren-Ketten sind zum Vergleich in Fig. 3 nebeneinander aufgetragen. Daraus ergibt sich eine gute Übereinstimmung der Ansichten über das Isolations-Niveau für Schweden, Deutschland und die Schweiz. Für die weiteren Leitungen ist in Schweden eine Reduktion dieser Werte in Aussicht genommen [4]. Man glaubt, mit einer um ca. 10 % niedrigeren Stoßspannung, d. h. mit ca. 1550 kV, auszukommen. Ist diese Reduktion zulässig, so können von den in Fig. 3 in den Kolonnen 1, 2 und 5 aufgeführten Isolatoren-Ketten je zwei Elemente, in Kolonne 3 ein Element weggelassen werden. Eine solche Reduktion setzt gute Masterdungen voraus. Die Anpassung an die Masterdungsverhältnisse empfiehlt sich auch bei dieser Spannungsverklasse ganz besonders auf Gebirgsleitungen, wo oft einzelne Maste überhaupt nicht wirksam geerdet werden können.

Bei den angegebenen Prüflasten fällt auf, wie hoch man heute durch Verbesserung des Porzellans in der Belastung der Vollkern- und Stab-Isolatoren gekommen ist. Dies ermöglicht die Verwendung von Einfachketten für Trag- und Abspannmaste, wodurch die Gefahr des Ansetzens grosser Schneehaufen auf den Isolatorenketten verringert wird. Alte Naßschneebrücken über Isolatorenketten haben schon Überschläge verursacht, die bei geerdetem Nullpunkt zu Abschaltungen führen und daher vermieden werden müssen.

Die Länge der Isolatorenketten ist eine der Bestimmungsgrößen des Mastkopfes und daher für die Kosten der Leitung von wesentlicher Bedeutung. Die Auswirkung auf die Abmessungen des Mastkopfes ist aus Fig. 4 ersichtlich.

Den Schutz der Leitung gegen direkte Blitzeinschläge in die Leiter hat das Erdseil zu übernehmen. In der Schweiz wird für Leitungen im Mittelland angenommen, dass alle Leiter, die innerhalb eines Schutzwinkels von 30° gegen die Vertikalebene durch das Erdseil liegen, durch dasselbe geschützt seien. Diese Annahme, die von Prof. Berger stammt, hat sich gut bewährt, und eine Veröffentlichung der AEG [11] gibt u. a. Auskunft über Modellversuche von Prof. Matthias, die zum gleichen Resultat kommen (Fig. 5).

Für die statische Dimensionierung der Maste sind ausser dem Winddruck bei uns hauptsächlich die Zusatzlasten massgebend, die sich im Winter in Form

von Eis, Schnee oder Rauheif an den Leitern ansetzen. Unsere Vorschriften sind in diesem Punkt sehr einfach, indem, unabhängig vom Leiter-Durchmesser, 2 kg/m Seil als normale Zusatzlast verlangt werden. Darüber zu entscheiden, wo höhere

zu beanspruchen, müssen die Annahmen über die Zusatzlasten möglichst genau den örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Dies ist meist eine schwierige Aufgabe, weil Beobachtungen oder gar Messungen nicht zur Verfügung stehen.

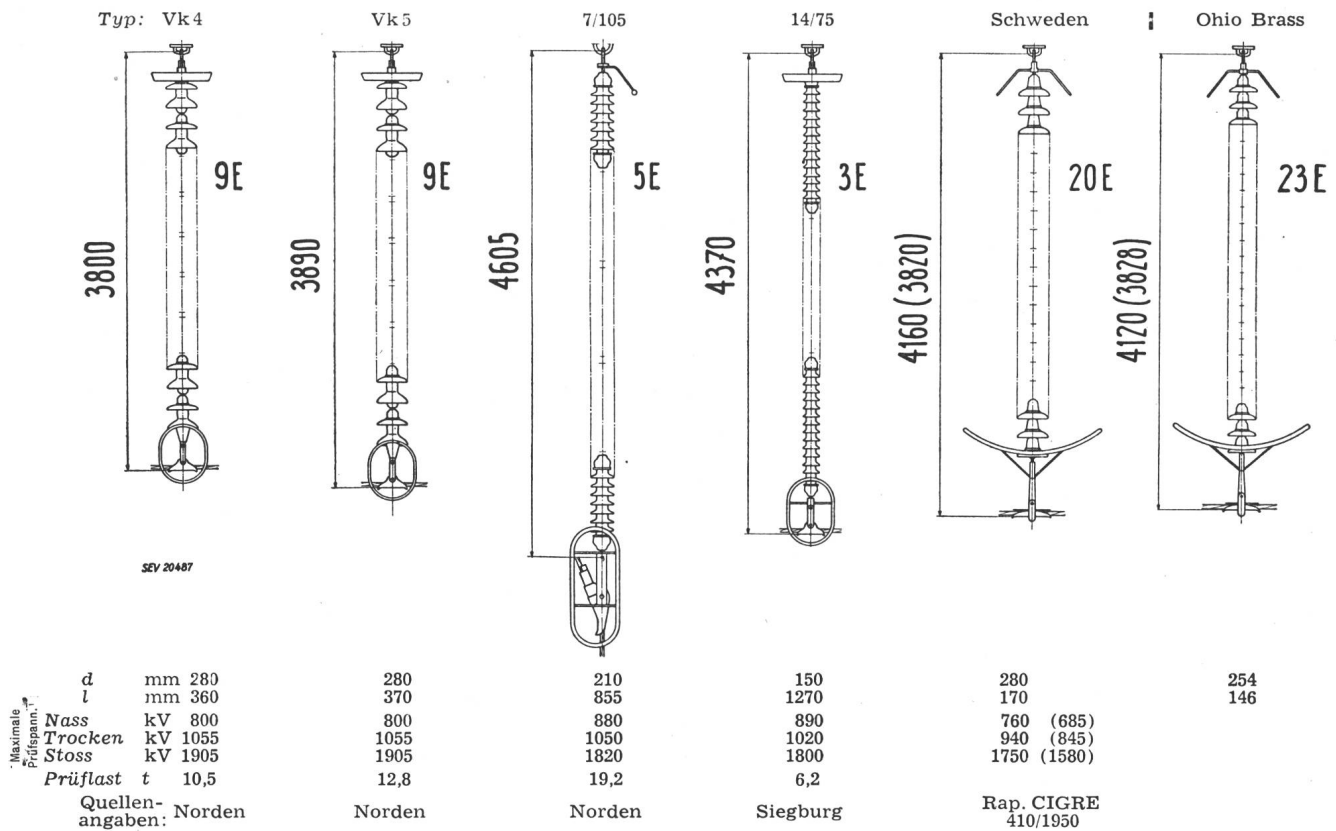


Fig. 3
Isolatorenketten von 380-kV-Leitungen
d Isolatordurchmesser; l Isolatorenlänge; E Elemente in der Kette; Masse in mm

Belastungen anzunehmen sind und wieviel, wird richtigerweise meist dem Leitungs-Eigentümer überlassen, der ja auch das Hauptinteresse an einer betriebssicheren Leitung hat. Geht man also im Normalfall von dieser Grundlage aus, so ist bei einer Leitung mit Bündelleitern wohl logischerweise mit 2 kg/m auf jedem Teilleiter zu rechnen, bei Zweier-Bündeln also mit 4 kg/m für jeden Phasenleiter.

Wie sehr es möglich ist zu sparen, wenn man nur mit kleinen Zusatzlasten zu rechnen hat, zeigt eine 220-kV-Leitung mit Holzmasten in Schweden. Die 380-kV-Leitungen lassen so sparsame Bauarten nicht zu; die Abmessungen und Kräfte sind zu gross. Aber es wurde manches überlegt und versucht, um auch in dieser Leitungsklasse billig bauen zu können.

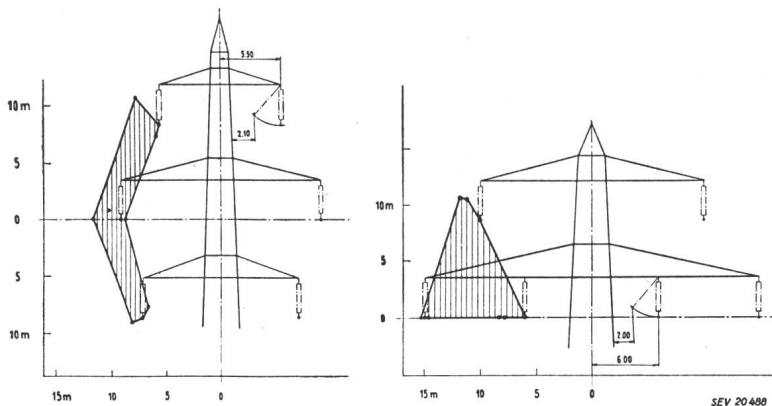


Fig. 4
Vergleich des beanspruchten Leiterraumes von zweisträngigen 380-kV-Leitungen
links: Tannenbaumordnung; rechts: Donaumastbild, hauptsächlich in Deutschland angewendet, in der Schweiz auf einer Teilstrecke der Leitung Amsteg—Mettlen

Weil sowohl die Leiterabstände als auch die Leiterdurchmesser bei den 380-kV-Leitungen gross sein müssen, erfordert ihr Bau grosse finanzielle Mittel. Um diese nicht über das unbedingt Nötige

Der schwedische 380-kV-Mast in Fig. 6 ist eine geschweisste Konstruktion aus Winkelisen, die auf Fundamenten von Holzschwellen ruht. Im Bilde sind auch die Bündelleiter, die aus zwei Stahl-Alu-

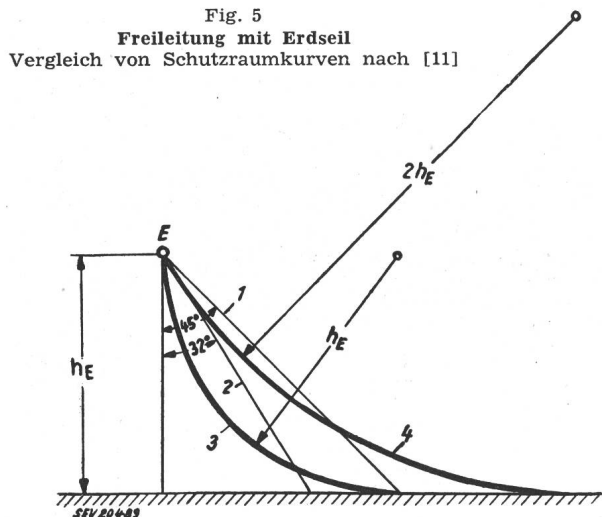


Fig. 5
Freileitung mit Erdseil
Vergleich von Schutzraumkurven nach [11]

E Erdseil; h_E Abstand des Erdseiles vom Erdboden

- 1 Schutzraum einer Blitzauffangstange nach früherer Auffassung
- 2 Schutzraum eines Erdseiles nach Studiengesellschaft 1939
- 3 Schutzraum eines Erdseiles nach Schwaiger 1937
- 4 Schutzraum eines Erdseiles nach Studiengesellschaft 1951

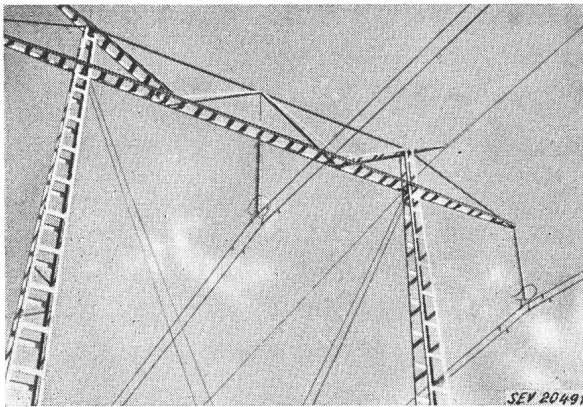


Fig. 6
Schwedischer 380-kV-Mast mit Zweier-Bündeln
Leiterabstand 12 m
Abstand zwischen den Teilleitern eines Bündels 450 mm

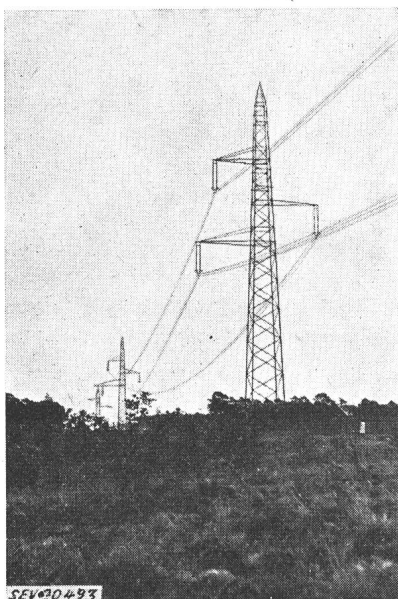


Fig. 7
Deutsche 400-kV-Versuchsleitung mit Vierer-Bündeln
Im Vordergrund: Ausbetonierter Rohrgittermast nach System Mannesmann-Motor-Columbus

miniumseilen (siehe Tabelle I) bestehen, erkennbar.

Dem sei in Fig. 7 und 8 eine deutsche Versuchsleitung mit Vierer-Bündeln gegenübergestellt. Sie

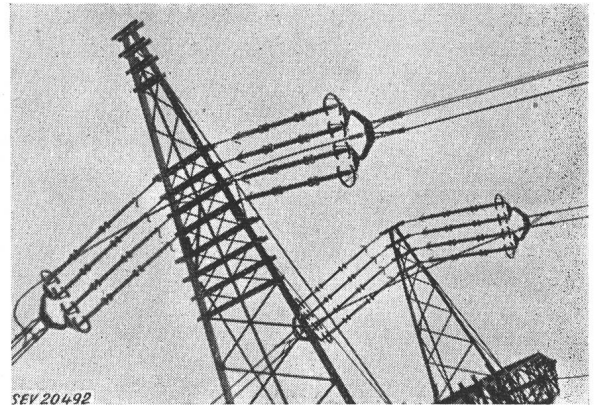


Fig. 8
Vierer-Bündel
Deutsche Versuchsleitung für 400 kV
Rheinau bei Mannheim

gehört zur Forschungsanlage in Mannheim-Rheinau der 400-kV-Forschungsgemeinschaft Heidelberg. Zwei Tragwerke dieser 400-kV-Leitung sind Rohrgittermaste mit ausbetonierten Eckstielen.

Diese Bauweise, die sich gegenüber Gittermasten aus Winkeleisen durch beträchtliche Stahlersparnis auszeichnet, ist von der neuen Alpenleitung der Aare-Tessin A.-G. für Elektrizität, Olten, her be-

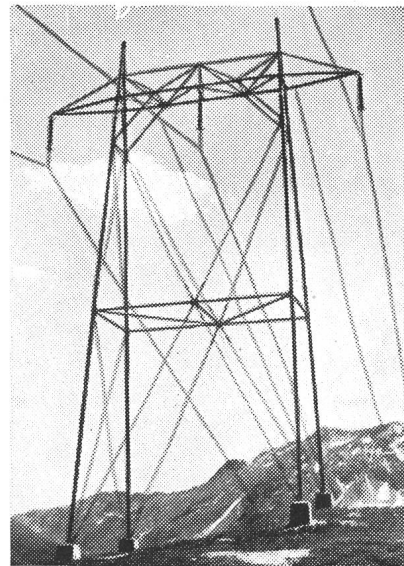


Fig. 9
380-kV-Tragmast mit ausbetonierten Stahlrohren der Lukmanierleitung (Schweiz)
Leiterabstand 10 m

kannt, die Riazzino mit Lavorgo und über den Lukmanierpass (Fig. 9) mit Mettlen verbindet [8, 9]. Die leichte Zerlegbarkeit der Maste, die kleineren Transportgewichte und die Zeitersparnis bei der Montage sind wichtige Merkmale der von der Motor-Columbus A.-G., Baden, entwickelten Mastkonstruktion mit ausbetonierten Stahlrohren, die sich für Gebirgsleitungen hoher Spannung mit schwierigen Zufahrtverhältnissen sehr gut eignet.

Literatur

- [1] Markt G. und Mengele B.: Drehstromfernübertragung mit Bündelleitern. E u. M Bd. 50(1932), Nr. 20, S. 293..298.
- [2] Markt G. und Mengele B.: Die wirtschaftliche Bemessung von Bündelleiter-Leitungen. E und M Bd. 53(1935), Nr. 35, S. 410...414.
- [3] Rusck A. und Rathsmann B. G.: Le réseau suédois à 380 kV. CIGRE, Paris, Session 1950, Rapport n° 410.
- [4] Rusck A., Rathsmann B. G. und Jancke G.: Le réseau suédois à 380 kV. CIGRE, Paris, Session 1952, Rapport n° 404.
- [5] Cahen F. und Pélissier R.: Resultats obtenus à la Station d'essais à 500 kV de Chevilly, pendant les années 1950 et 1951. CIGRE, Paris, Session 1952, Rapport n° 406.
- [6] Die 400-kV-Energieübertragung Kujbyschew—Moskau. Bull. SEV Bd. 43(1952), Nr. 24, S. 993...994.
- [7] Bartenstein R. E.: Einweihung der 400-kV-Forschungsanlage in Mannheim-Rheinau. ETZ Bd. 73(1952), Nr. 9, S. 297...298.
- [8] Vögeli R.: Nouvelles lignes équipées de pylônes en tubes d'acier remplis de béton. CIGRE, Paris, Session 1950, Rapport n° 223.
- [9] Vögeli R. und Leresche R.: Die neue Alpenleitung der Atel. Bull. SEV Bd. 42(1951), Nr. 3, S. 77...81.
- [10] Gerber O.: Les pertes par effet de couronne de conducteurs simples et de conducteurs en faisceaux. CIGRE, Paris, Session 1950, Rapport n° 403.
- [11] Langrehr H.: Der Schutzraum der Erdseile AEG-Mitteilungen Bd. 41(1951), Nr. 11/12, S. 295...298.

Adresse des Autors:

R. Vögeli, Oberingenieur der Motor-Columbus A.-G., Parkstrasse 27, Baden (AG).

Transformatoren für 380-kV-Übertragungsleitungen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 5. Dezember 1952 in Zürich,
von M. Itschner, Baden

621.314.212

Es wird gezeigt, dass die hohen Kosten für die Isolation von 380-kV-Übertragungen zu grossen Einheitsleistungen der Transformatoren führen. Der notwendige Komplet-Transport solcher Transformatoren mit seinen räumlichen Beschränkungen erzwingt besonders ökonomische Anordnung der Wicklungen und ihrer Isolation, sowie auch der Eisengestelle.

Diese Probleme werden auch in unserem Lande studiert; bereits hat eine schweizerische Firma einen Auftrag für die Lieferung von 400-kV-Transformatoren erhalten.

L'auteur montre, que les frais élevés pour l'isolation des transmissions à 380 kV ne se justifient que pour de grandes puissances unitaires des transformateurs. La nécessité de transporter de tels transformateurs complets conduit nécessairement à une disposition particulièrement appropriée des enroulements et de leur isolation, ainsi que du circuit magnétique.

Ces problèmes font l'objet d'études aussi dans notre pays et déjà une firme suisse a été chargée de la fourniture de transformateurs à 400 kV.

Einleitung

Wenn man bedenkt, dass die ersten Transformatoren für 220 kV schon vor etwa 25 Jahren mit gutem Erfolg gebaut und in Betrieb gesetzt worden sind, so mag es Verwunderung erregen, dass bei der heutigen fortgeschrittenen Isolationstechnik der Übergang auf 380 kV überhaupt noch «Probleme» stellt. Dies hat jedoch seine guten Gründe.

Schon zahlenmässig ist der Schritt von 220 auf 380 mit dem 1,73fachen wesentlich grösser als die vorangegangenen, und zwar aus wirtschaftlichen Gründen sicher mit Recht. Die notwendigen Isolationsabstände nähern sich in der Grössenordnung den Wicklungsabmessungen. Der hohe Anteil der Isolationskosten eines 380-kV-Übertragungssystems lässt dieses nur bei grossen Einheitsleistungen als wirtschaftlich erscheinen. An die Qualität der Isolation müssen sehr hohe Anforderungen gestellt werden, so dass sich der Komplet-Transport mit Öl oder Trockenluft des im Werk des Herstellers getrockneten und geprüften Transformators aufdrängt.

Damit wird die Transportfrage zu einem der wichtigsten Probleme. Wenn man bedenkt, dass sich das Querprofil der Eisenbahnen während der Entwicklungszeit des Transformatorenbaus nicht geändert hat, und dass dem Strassentransport trotz modernsten Transportmitteln doch verhältnismässig enge Gewichts- und oft auch Dimensionsgrenzen gesteckt sind, so wird es klar, dass wir uns einer Art Sättigungsgrenze nähern.

Am nächsten liegen uns natürlich die Fragen

Isolation und Wicklungsaufbau

Wir können davon ausgehen, dass 380-kV-Netze voraussichtlich stets mit fest geerdetem Nullpunkt betrieben werden. Diese Tatsache gilt es beim

Transformator dadurch auszunützen, dass man die Isolation in geeigneter Weise abstuft. Es muss nur das netzseitige Ende der Wicklung für die volle Betriebsspannung und die entsprechende Prüfspannung gegen Erde bemessen werden, während die übrigen Teile gegen den Nullpunkt hin in abnehmendem Masse isoliert werden dürfen. Dazu kommt, dass die feste Nullpunkterdung nach den Vorschriften der meisten Länder an sich schon eine Herabsetzung des Isolationsniveaus auf rund 80 % des für voll isolierte Netze geltenden Wertes gestattet. Von dieser Möglichkeit sollte im Interesse der Wirtschaftlichkeit wenn irgend möglich Gebrauch gemacht werden, da jede Reduktion des Isolationsaufwandes grössere und wirtschaftlichere Einheitsleistungen ermöglicht.

Welche Konsequenzen ergeben sich daraus für die Anordnung der Höchstspannungswicklungen? Die verbreitetsten Bauarten verwenden stehende Säulen, deren Höhe meist durch das Bahnprofil begrenzt wird. Fig. 1 zeigt links eine Wicklung für 380 kV, deren beide parallel geschalteten, gegenläufig gewickelten Zweige die Spannung von den Enden her gegen die Wicklungsmittle (U) aufbauen, so dass keinerlei Enddistanzen mit den ihnen anhaftenden Kantenisoliationsproblemen und ihrem Aufwand an Bauhöhe notwendig sind. An der Stelle höchster Beanspruchung in der Wicklungsmittle besteht zwischen Ober- und Unterspannungswicklung ein praktisch homogenes Feld, das durch Isolierzylinder mühelos beherrscht werden kann.

Wenn sich mit Rücksicht auf die Kurzschlußspannung die doppeltkonzentrische Anordnung aufdrängt, so kann, wie in Fig. 1 rechts, erdseitig ein zweiter Wicklungszylinder der Oberspannungswicklung angefügt werden, wobei dann die Enddistanzen wenigstens bloss für rund die Hälfte von 380 kV bemessen werden müssen. Die Aufteilung in zwei