Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 44 (1953)

Heft: 4

Artikel: Wirtschaftliche Probleme und schweizerischer Ausblick der 380-kV-Übertragung

Autor: Hunziker, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059914

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.12.2025

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

44. Jahrgang Nr. 4 Samstag, 21. Februar 1953

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Wirtschaftliche Probleme und schweizerischer Ausblick der 380-kV-Übertragung

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 5. Dezember 1952 in Zürich,

von *G. Hunziker*, Baden

621.315.027.7.003

Nach einem Hinweis auf Höchstspannungsübertragungen in verschiedenen Ländern werden wirtschaftliche und technische Fragen behandelt, wobei für die Gegenüberstellung der zahlenmässigen Angaben eine Übertragungsdistanz von 200 km zugrunde gelegt wird. Kostenvergleiche für die Übertragung von 500 MW und 1000 MW zeigen, dass bei Leistungen dieser Grössenordnung der Übergang auf 380 kV wirtschaftliche Vorteile erwarten lässt. Die Verwirklichung von 380-kV-Leitungen wird ferner durch den Zusammenschluss der Leitungsnetze benachbarter Länder, die topographischen Verhältnisse und die Mittel zur Aufrechterhaltung des Betriebes bei Ausfall eines Stranges beeinflusst. Darum muss der Zeitpunkt für den Übergang bestimmter Leitungsstrecken auf den Betrieb mit höchster Spannung von Fall zu Fall unter Abwägung aller Vor- und Nachteile beurteilt werden.

Après avoir donné un aperçu général sur les lignes à très haute tension existantes dans les différents pays, l'auteur met en évidence les aspects économiques et techniques, en basant les données numériques de comparaison sur une longueur de ligne de 200 km. La confrontation des frais de transport, calculés pour 500 MW et 1000 MW laisse prévoir des avantages économiques dans le cas d'une transmission à 380 kV. La réalisation de lignes à 380 kV dépendra de l'interconnexion des réseaux entre les pays, des conditions topographiques, ainsi que des possibilités d'assurer la continuité du service en cas de déclenchement d'un seul terne. Pour ces raisons, le moment du passage à la tension de service supérieure d'une ligne déterminée doit être bien choisi dans chaque cas particulier, en tenant compte de tous les avantages et désavantages.

1. Einleitung

Die Verdoppelung des Bedarfs an elektrischer Energie innert 10...15 Jahren wird heute als Mass für den Konsumzuwachs in den USA und den Industrieländern Europas angenommen. Hunderttausende von Kilowatt neu erzeugter Energie sind nach den Verbrauchsgebieten zu übertragen. Zum Ausbau des Produktionsapparates gehört die Bereitstellung der Übertragungsanlagen auf allen Spannungsstufen.

Die Technik hat das Material entwickelt, das die wirtschaftliche Anwendung höchster Spannungen ermöglicht. Die Ergebnisse von ausgedehnten Forschungsarbeiten bestätigen, dass die bei Spannungen bis 400 kV auftretenden Probleme inbezug auf die Koronaerscheinungen bei geeigneter Formgebung des Materials beherrscht werden können. Grundsätzlich ist man also frei in der Bestimmung der höchsten Spannungsstufe für Drehstrom in den Grenzen von 220 bis 400 kV.

Die Commission Electrotechnique Internationale (CEI) empfahl die Normung der Höchstspannungen in den Stufen 225, 275 und 380 kV. Die Stufe 275 kV wurde nur auf Wunsch von England und den USA genormt, da diese dort bereits vorgesehen bzw. teilweise schon benützt wird, während sich Österreich, Deutschland, Frankreich, Italien, Portugal, Schweden, die Schweiz und die Tschechoslowakei für die Stufe 380 kV entschieden haben bzw. sie befürworten.

2. Stand der Höchstspannungsübertragungen

In zahlreichen Ländern wurden die Probleme der Höchstspannungsübertragung bereits tatkräftig an die Hand genommen. Eine kurze Übersicht mag hier am Platze sein (Fig. 1).

1. In *Schweden* ist seit Frühjahr 1952 die erste 380-kV-Leitung der Welt von nahezu 1000 km Länge vom Kraftwerk Harsprånget-Falls nach Hallsberg in Betrieb. Bis 1956 sollen total drei Stränge für 380 kV von 2700 km Länge erstellt sein.

2. In *Frankreich* werden im Hinblick auf die künftige Entwicklung die Hauptleitungen für 380 kV gebaut und vorerst als 225-kV-Doppelleitungen betrieben.

3. In *Deutschland* wurden schon Ende der 20er Jahre die ersten Leitungen gebaut, welche für den Betrieb mit 380 kV vorgesehen waren und mit 220 kV betrieben werden. Streckenweise ist eine provisorische Spannungserhöhung auf 300 kV vorgesehen, bis Leitungs- und Stationsmaterial für den Betrieb mit 380 kV vorhanden sein wird.

4. In *England* sind zur Zeit 275-kV-Leitungen im Bau. Es ist vorgesehen, sie grösstenteils so zu konstruieren, dass ein späterer Übergang auf 380 kV möglich wird.

5. In der *Schweiz* sind die Leitungen der Atel vom Tessin über die Alpen nach Mettlen [1]) sowie die Elgarleitung mit Tragwerken ausgerüstet, die einen späteren Übergang auf 380 kV ermöglichen.

6. In den *USA* ist die Spannungsnormung nicht einheitlich. Am Südwest-Pacific ist seit 1937 die Boulderdam-Leitung mit 287 kV in Betrieb. Am Nordwest-Pacific sind 315 kV und in den Zentral- und Oststaaten 300/315 und 330/345 kV vorgesehen.

7. Im Westen *Kanadas* ist eine 345-kV-Leitung im Bau, mit welcher in 3...4 Jahren 500 MW auf etwa 320 km übertragen werden sollen.

8. In *Russland* sollen Teilleistungen der Wolga-Kraftwerke Kujbyschew und Stalingrad auf zwei Leitungen von je 400 kV ins Gebiet von Moskau übertragen werden.

9. In USA, Frankreich, Deutschland und der Schweiz [2]) sind zur Zeit *Versuchsanlagen* bei Spannungen von 300 bis 500 kV in Betrieb zur Abklärung der vielgestaltigen Koronaprobleme bei den Höchstspannungen mit verschiedenartigen Leiteranordnungen.

[1]) Bull. SEV Bd. 42(1951), Nr. 3, S. 77...81.
[2]) Bull. SEV Bd. 43(1952), Nr. 14, S. 593...601.

Diese Übersicht erhebt nicht Anspruch auf Vollständigkeit. Sie vermittelt immerhin ein eindrückliches Bild über die vorhandenen und geplanten Höchstspannungsanlagen in den verschiedensten Ländern und zeigt, dass das europäische Festland und Russland 380 kV einführen, in England die Möglichkeit des Zusammenschlusses mit dem europäischen Festland gewahrt werden soll, trotzdem

Hochspannungs-Übertragungsanlagen können drei verschiedenen Zwecken dienen: Sie sollen hydraulisch oder thermisch erzeugte Energie vom Erzeugungsort ins Konsumgebiet übertragen oder sie dienen der Kupplung von Netzen.

Die Übertragung von grossen *hydraulisch erzeugten* Leistungen vom Produktionsraum nach einem weit entfernten Empfangsort im Konsumgebiet ist

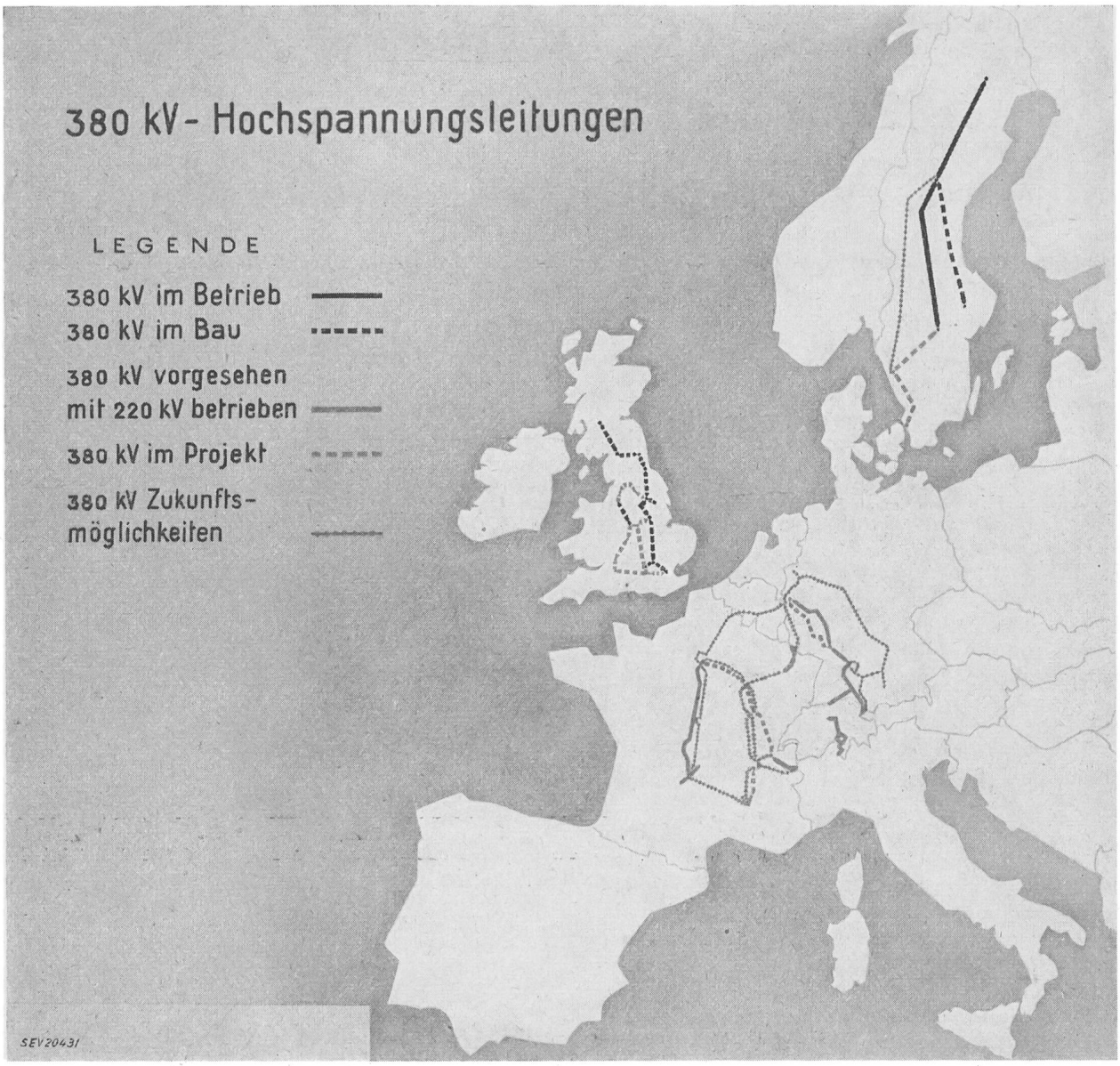

Fig. 1
Hochspannungsleitungen in Westeuropa
Auszug aus der Netzkarte der UIPD vom 1. August 1952, ergänzt mit den Zukunftsmöglichkeiten für 380-kV-Leitungen

man vorerst auf 275 kV bleibt, und dass der Nordamerikanische Kontinent je nach Landesgegend über Spannungen zwischen 287 und 345 kV verfügen wird.

3. Wirtschaftliche und technische Fragen

Im Rahmen meiner kurzen Ausführungen kann es sich nur darum handeln, eine gedrängte Übersicht der wichtigsten wirtschaftlichen Probleme zu geben und Entwicklungstendenzen aufzuzeigen.

ein technisch-wirtschaftliches Problem, das sich in dieser eindeutigen und rechnerisch klar erfassbaren Form nur in den Ländern wie z. B. Schweden und Kanada stellt, die über gewaltige Wasserkräfte verfügen, welche weitab von den Konsumzentren liegen.

Für die Übertragung *thermisch erzeugter* Energie sind Distanzen von 400...500 km die obere wirtschaftliche Grenze. Bei grösseren Entfernungen erweist sich der Bahn- und Schiffstransport von guter

Steinkohle der elektrischen Übertragung wirtschaftlich überlegen.

Besonders auf dem europäischen Festland besteht das Bedürfnis, *vorhandene Netze* untereinander zu verbinden und die Energie der Alpenwasserkräfte mit der thermisch erzeugten Energie saisonmässig auszutauschen. Die Faktoren, welche die Wirtschaftlichkeit solcher Übertragungsanlagen bestimmen und von denen hier einige gestreift seien, sind sehr mannigfaltig. Sie sind vom Wachstum und von der Vermaschung der Netze nach Massgabe der stets steigenden Übertragungsbedürfnisse abhängig und werden beeinflusst durch Fragen der Betriebssicherheit und der Reservehaltung. Die Netze in den verschiedenen Ländern wachsen einander entgegen; dadurch verkürzen sich die Distanzen. Für die Wirtschaftlichkeit solcher Verbindungen ist auch der Zeitpunkt massgebend, zu welchem die Übertragungsfähigkeit ausgenützt werden kann, d. h. zu welchem die höchste Spannungsstufe, für welche die Verbindung gebaut ist, eingeführt und auch unter Berücksichtigung der Möglichkeiten des Leistungsabtausches voll ausgenützt sein wird. Bei zu langem Zögern mit der Einführung der Höchstspannung gehen ihre Vorteile zeitweise verloren. Generell gültige Unterlagen für die Wirtschaftlichkeit solcher Kupplungsleitungen lassen sich kaum aufstellen; jeder Fall ist für sich mit all seinen Begleitumständen zu untersuchen. Erfreulicherweise hat man sich in Europa auf die einheitliche Höchstspannung von 380 kV festgelegt und steht heute lediglich vor der Frage, wann der Zeitpunkt gekommen sein wird, da 225 kV nicht mehr genügt, eine weitere Vermehrung der 225-kV-Anlagen unwirtschaftlich erscheint und die Anforderungen nur mit der Stufe 380 kV erfüllt werden können.

Jeder Spannungsstufe entspricht eine bestimmte Leistungsfähigkeit der Übertragungsanlage, welche von deren Charakteristiken und von wirtschaftlichen und betriebstechnischen Faktoren abhängig ist.

Unter der Annahme von Spannungsabfällen von 16...10 % der maximalen Betriebsspannungen ergeben sich für schweizerische Verhältnisse, bei 200 km Leitungslänge und $\cos\varphi = 0{,}95$ am Empfangsort bei den verschiedenen Spannungsstufen Wirkleistungen gemäss Tabelle I. Auf einer 380-kV-Leitung lässt sich also eine rund 6mal grössere Leistung bei kleinerem Spannungsabfall übertragen als auf einem 150-kV-Strang. Bei Verwendung von Bündelleitern erhöhen sich die übertragbaren Leistungen je nach Zahl der Teilleiter um 25...50 % wegen Zunahme der Leitungskapazität und Abnahme des Wellenwiderstandes.

Übertragungsfähigkeit von Höchstspannungsleitungen bei einer Übertragungsdistanz von 200 km

Tabelle I

Spannungsstufe kV	150	225	275	380
Spannungsabfall %	16	14	12	10
Übertragbare Wirkleistung bei $\cos\varphi = 0{,}95$ MW	75	180	255	425
Die Übertragungsfähigkeit pro Strang verhält sich wie	1 :	2,4 :	3,4 :	5,7

Um sich ein Bild über die *Wirtschaftlichkeit* von Hochspannungsanlagen machen zu können, wurden die theoretischen Fälle untersucht, einerseits 400...500 MW, anderseits 1000 MW über eine Distanz von 200 km ohne Zwischenspeisepunkte zu übertragen. Zubringer- und Verteilspannung sei 150 kV, so dass bei den höheren Spannungsstufen Anlage- und Verlustkosten für die Transformierung entstehen.

Unter der Annahme, die Leistungen werden 5000stündig übertragen, die Jahreskosten der Schalt- und Transformatorenstationen sowie der Leitungen betragen 8½ % und die Verlustenergie werde mit 2 Rp./kWh eingesetzt, ergeben sich Transport- und Transformierungskosten der an der Endstation in 150 kV abgelieferten kWh, wie sie in der Tabelle II zusammengestellt sind und die zwischen 0,45 und 0,25 Rp./kWh schwanken. Die Anlagekosten in Fr./kW nehmen mit zunehmender Leistungsfähigkeit bei hohen Spannungen stark ab.

Übertragungskosten für 200 km Leitungslänge mit Anfangs- und Endstationen, wobei die erforderlichen Leitungsstränge mit den in Tabelle I angegebenen Leistungen belastet sind

Tabelle II

Übertragbare Wirkleistung	Spannungsstufe kV 150	225	275	380
400...500 MW				
Anlagekosten Fr./kW	170	160	145	130
Übertragungskosten Rp./kWh	0,45	0,40	0,35	0,3
Verhältniszahlen	100 :	90 :	78 :	67
1000 MW				
Anlagekosten Fr./kW	165	135	130	95
Übertragungskosten Rp./kWh	0,45	0,35	0,33	0,25
Verhältniszahlen	100 :	78 :	67 :	55

Diese Vergleichszahlen sollen nur Anhaltspunkte für die Grössenordnungen geben. Wie bereits erwähnt, ist jeder konkrete Fall unter Berücksichtigung aller massgebenden Faktoren auf seine Wirtschaftlichkeit hin zu untersuchen. Die Zahlen zeigen aber, dass auch für die relativ kurze Distanz von 200 km bei heutigen Preisen für Transformatorenstationen und Leitungen die 380-kV-Übertragung um so wirtschaftlicher wird, je grösser die Leistungen werden.

4. Europäisches 380-kV-Netz

Das Wachstum und der Zusammenschluss der Netze führen zum Verbundbetrieb mit höheren Spannungen. Die Übertragungsdistanzen werden kürzer, die Leistungen grösser, die Vermaschung der Netze wird enger. Dadurch entstehen auch neue Möglichkeiten für den Abtausch von Leistungen, die den Übergang auf die höchste Spannungsstufe naturgemäss hinausschieben. Es ist heute sicher verfrüht, von einem 380-kV-Verbundnetz zu sprechen. Immerhin bestätigt ein Blick auf die Karte in Fig. 1, dass ein solches Netz vorhanden sein wird, wenn die projektierten Leitungen ausgeführt sind. Die bestehenden Leitungen entsprangen den Bedürfnissen der einzelnen Länder und Gesellschaften. Von einer europäischen Planung kann nicht gesprochen werden. Wesentlich erscheint der Umstand, dass die massgebenden Persönlichkeiten und Ge-

sellschaften der Elektrizitätswirtschaft über die Landesgrenzen hinaus in dauerndem Kontakt stehen, sich gegenseitig orientieren, damit auch das Zusammenwachsen der Netze, vom europäischen Standpunkte aus betrachtet, sinnvoll und damit wirtschaftlich wird. Der Zusammenschluss über die politischen Grenzen wird natürlichen Gesetzen folgen. Diese haben jedoch nur in Perioden friedlicher Aufbauarbeit Gültigkeit.

5. Schweizerischer Ausblick

Die grossen Leistungskonzentrationen der Alpenwasserkräfte, die topographischen Engnisse zwischen Produktions- und Konsumgebiet (Alpentäler und -pässe) und die Wünschbarkeit internationaler Verbindungen — nicht aber die zu bewältigenden Distanzen, die relativ kurz sind — werden auch in der Schweiz einmal die Einführung der europäischen Höchstspannung notwendig machen. Über den Zeitpunkt möchte ich keine Prognosen stellen, heute, da unsere höchste Spannung noch 150 kV beträgt, der Ausbau des 225-kV-Netzes erst begonnen hat und in den nächsten Monaten erstmals Anlagen mit dieser Spannung in Betrieb gesetzt werden. Der im Gang befindliche Ausbau unserer Wasserkräfte führte immerhin zu einem beschleunigten Bau von 225-kV-Leitungen in einem Umfange, der noch vor wenigen Jahren kaum vorauszusehen war. Die Zahl der parallel zu führenden Leitungen ist in den topographischen Engnissen beschränkt; noch harren 60 % der Alpenwasserkräfte ihres Ausbaues. Die Notwendigkeit für den Übergang gewisser Anlagen auf 380 kV wird sich daher früher oder später einstellen.

Der weitere Ausbau der schweizerischen Hochspannungsnetze wird sich etwa so entwickeln, dass auch in Zukunft gewisse neue 150-kV-Leitungen erstellt werden, von welchen einige für einen spätern Übergang auf 225 kV vorzusehen sind. Andere Leitungen werden von Anfang an und auch in Zukunft mit 225 kV betrieben, können doch ganze Produktionsgebiete mit dieser Spannung erschlossen werden. Seltener werden die Anlagen sein, die zunächst mit 225 kV in Betrieb genommen, jedoch für 380 kV vorgesehen werden. Diese wenigen Leitungen werden als Haupttransitleitungen die wichtigsten Produktionsgebiete mit den bedeutendsten Energieübergabeorten (z. B. Mettlen, Landquart) und diese unter sich verbinden und auch für den direkten Anschluss an das Ausland in Betracht fallen.

Den Verlauf der wichtigsten dieser Haupttransitleitungen könnte man sich etwa wie folgt vorstellen, wobei man sich bewusst sein muss, dass in der Schweiz keine verbindliche Netzplanung existiert:

a) Eine Doppelleitung Tessin–Alpennordfuss mit der Möglichkeit der Verbindung mit dem italienischen und deutschen Netz und einer allfälligen Verdoppelung nördlich der Alpen.

b) Eine Ost–West-Verbindung längs des Alpen-Nordfusses bzw. durch das Mittelland mit Anschlussmöglichkeiten an das österreichische und evtl. italienische sowie an das französische Netz.

Auch hier wird sich der Netzausbau mit den vom Bedarf gestellten Forderungen in organischer Weise entwickeln.

Die Höchstspannungsanlagen von 225 und 380 kV werden mit starr geerdetem Nullpunkt betrieben, weitgehend im Verbundbetrieb arbeiten und das Rückgrat des internationalen Energieaustausches bilden.

Im Verbundbetrieb ist die Aufrechterhaltung des Betriebes bei Lastausfall wichtig. Der Ausfall eines 380-kV-Stranges darf nicht ganze Landesteile in Mitleidenschaft ziehen und soll vom Netz ohne zu grosse Störung und ohne die Netzstabilität zu gefährden, ertragen werden können. Die Zeit für den Übergang auf 380 kV wird dann gekommen sein, wenn diese Bedingungen im internationalen Verbundbetrieb erfüllt sein werden und wenn die Wirtschaftlichkeit des Betriebes mit dieser Höchstspannung erwiesen ist.

Literatur

[1] *Lane, F. J.* und *A. J. Gibbsons:* Caractéristiques du réseau britannique de transport à 275 kV. CIGRE 1952, rapp. 229.

[2] *Red.:* First 345 kV Line in the West Being Built by Canadian Utility. Electr. Wld. Bd. 137(1952), Nr. 21, S. 32...34.

[3] *Sayers, D. P.* und *P. W. Cash:* Les bases du développement des très hautes tensions en Grande-Bretagne. CIGRE 1952, rapp. 401.

[4] *Sporn, P.:* Travaux du Comité International d'Etudes nº 9 concernant le transport par courant alternatif à très hautes tensions. CIGRE 1952, rapp. 407.

[5] *Sporn, P., H. P. St. Clair* und *E. L. Peterson:* Réseau de transport à t. h. t. à 330 kV de l'American Gas and Electric Company. Analyse des caractéristiques économiques du choix de la tension et des éléments de base du réseau. CIGRE 1952, rapp. 402.

[6] *Hunziker, G.:* Vereinheitlichung der Höchstspannungen und der Erdungssysteme in der Schweiz. Bull. SEV Bd. 42 (1951), Nr. 13, S. 461...466.

[7] *Richter, H.:* Gründe und Wege für den Ausbau der Verbundanlagen oberhalb 110 kV. Elektr.-Wirtsch. Bd. 51 (1952), Nr. 11, S. 263...269.

[8] *Biermanns, J.:* Technische Probleme der 400-kV-Drehstrom-Übertragung. Elektrotechn. Z. Bd. 71(1950), Nr. 17, S. 455...461.

[9] *Cahen, F.:* Le transport de l'énergie à la tension de 400 kilovolts. Bull. Soc. belge Electr. Bd. 66(1950), Nr. 1, S. 20...24.

[10] *Rusck, Ä.* und *Bo G. Rathsman:* The Swedish 380 kV Transmission System. Asea J. Bd. 22(1949), Nr. 7, S. 107...117.

Adresse des Autors:

Dr. *G. Hunziker*, Direktor der Motor-Columbus A.-G., Baden (AG).