

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 67 (1976)

Heft: 21a: Sondernummer Elektrotechnik 1976 = Edition spéciale Electrotechnique 1976

Artikel: Hochspannungsnetze, Freileitungen und Kabel

Autor: Niggli, W. / Nohl, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915229>

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: 01.04.2025

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

Hochspannungsnetze, Freileitungen und Kabel

Von W. Niggli und E. Nohl

1. Allgemeines

Das für die Verteilung der elektrischen Energie notwendige Leitungsnetz überzieht heute ganz Europa und gliedert sich in verschiedene Spannungsebenen. Als genormte Nennspannungen werden in Europa vorwiegend 380 kV, 220 kV, 110 oder 50 kV und 16 bis 30 kV verwendet. Das 380/220-kV-Höchstspannungsnetz dient der Aufnahme grosser Energiemengen aus den hydraulischen und thermischen Kraftwerken und dem Abtransport dieser Energien nach den Verbraucherzentren über weite Distanzen und ermöglicht zudem den Energieaustausch zwischen den einzelnen Verbundpartnern im In- und Ausland. Das 380- und das 220-kV-Netz verbinden ganz Kontinentalwesteuropa miteinander und sind über alle Grenzen hinweg zusammengeschaltet. Diese Netze stellen vergleichsmässig die Autobahnen im elektrischen Verteilungssystem dar. Die nächsttiefere Netzebene von 110 oder 50 kV übernimmt die Verteilung der Energie zu den regionalen Unterwerken zur Anspeisung der 16- bis 30-kV-Netze. Eine weitere wichtige Aufgabe dieses überregionalen Verteilungssystems bildet der Anschluss von Laufkraftwerken und kleineren thermischen Zentralen sowie die Reserveverbindungen zwischen verschiedenen Netzteilen. Es lässt sich sinngemäss mit den Hauptstrassen vergleichen. Der Transport der elektrischen Energie in kleineren Mengen an die Abnehmergruppen in Dörfern und Quartieren usw. wird durch ein weitverzweigtes Netz in der Spannungsebene von 16 bis 30 kV übernommen. Über einzelne Transformatorstationen fliesst von dort die Energie in das Niederspannungsnetz von normalerweise 380/220 V, in welcher Spannung praktisch jedes Haus angespiesen wird. Das regionale Verteilnetz von 16 bis 30 kV lässt sich am besten mit den Ortsverbindungs-, das Niederspannungsnetz mit den Quartierstrassen vergleichen.

Als Übertragungselemente für die Hoch- und Niederspannungsnetze werden Freileitungen oder Kabelverbindungen verwendet. Die Freileitung ist aus betrieblichen, technischen und wirtschaftlichen Gründen das Hauptübertragungsglied aller Hochspannungsnetze. Kabelleitungen werden in höheren Spannungen nur in speziellen Fällen, wo eine Freileitung nicht gebaut werden kann, angewandt. Als Beispiel sei die Durchquerung von stark überbauten Gebieten oder die Einführung in Innenraumschaltanlagen aufgeführt. Die Nachteile von Kabelstrecken bestehen im wesentlichen in der Gefahr von Zerstörungen infolge geringer Überlastbarkeit, im längeren Betriebsunterbruch bei Störungen, dem Betriebsverhalten bezüglich Blindleistung und nicht zuletzt in den enormen Mehrkosten gegenüber Freileitungen.

2. Allgemeine Entwicklungstendenzen

Seit Jahren hat der Verbrauch elektrischer Energie im europäischen Raum dauernd zugenommen, und die bestehenden Netze mussten entsprechend ausgebaut werden. Auch die erhöhten Anforderungen an die Sicherheit der Energieversorgung stellen den Erbauern der Übertragungsanlagen neue Probleme. Obwohl in den letzten zwei Jahren der Verbrauch elektrischer Energie stagnierte, muss langfristig, besonders im Hinblick auf die allgemein angestrebte Substitution anderer Energieträger, mit einer weiteren Ver-

621.316.1; 621.315.1; 621.315.2

brauchszunahme gerechnet werden. Für die Übertragung der ständig wachsenden Leistungen stehen jedoch in den dicht überbauten Gebieten unseres Kontinentes keine geeigneten Trassen für Freileitungen mehr zur Verfügung. So berührt der Bau von Freileitungen und auch der unterirdischen Kabelleitungen stets und in steigendem Masse öffentliche und private Interessen. Besonders bei Freileitungen ist es oft schwierig, mit Rücksicht auf den Landschaftsschutz neue Leitungstrassen zu finden. Es ist daher nicht verwunderlich, dass sich die Anstrengungen und Tendenzen im heutigen Leitungsbau auf eine Erhöhung der übertragbaren Leistung pro Strang bei möglichst kleiner Trassenbreite ausrichten. Mit dem Ausbau der Leitungen für eine erhöhte Übertragungsleistung werden die Erweiterungen der bestehenden und der Bau zusätzlicher Kuppelstellen zwischen den einzelnen Netzebenen erforderlich. Dabei kommen generell Transformatoren höherer Einheitsleistungen zum Einsatz. Zur Begrenzung der mit dem Weiterausbau der Netze steigenden Kurzschlussleistung wird es besonders in Regionen hoher Leistungsdichten notwendig sein, Netz- oder Sammelschienenentrennungen durchzuführen. Eine weitere Massnahme zur besseren Ausnutzung der Übertragungsanlagen im Bereiche der Hochspannung wird durch den Bau von zentralen Lastverteilern zur Überwachung und Steuerung der Netze angestrebt. Damit lassen sich betriebliche Probleme, wie bessere Ausnutzung der Netze, Vermeidung von Überlastungen, Verkürzung von Stromunterbrüchen, Beschränkung der Kurzschlussleistung, Bewirtschaftung der Blindleistung usw., schneller und besser lösen.

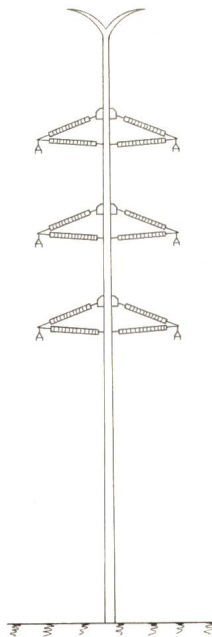
3. Entwicklungstendenzen im Freileitungsbau

Schon heute berücksichtigt man die erwähnten Entwicklungstendenzen beim Ausbau der Übertragungsnetze. Parallel dazu befinden sich neue Lösungsmöglichkeiten zur Erreichung der angestrebten Ziele in Entwicklung.

Im Sinne einer künftigen geringeren Umweltbelastung werden sowohl im Höchstspannungs- wie im Mittelspannungsbereich die Freileitungen, insbesondere deren Tragwerke, vielfach für eine höhere Spannung als die zur Zeit der Inbetriebsetzung vorgesehene Nennspannung ausgelegt. Damit ist eine spätere Umstellung der Leitungen auf eine höhere Spannung mit entsprechend erhöhten Transportleistungen gewährleistet, ohne dass neue Leitungstrassen beansprucht werden müssen. Bei den Nordostschweizerischen Kraftwerken (NOK) werden z. B. normalerweise 380-kV-Masten für 220-kV- und 110-kV-Masten für 50-kV-Leitungen verwendet.

Zur Erreichung einer besseren Feldverteilung mit Rücksicht auf die Reduktion von Hochfrequenzstörungen muss bei den Höchstspannungsleitungen die Leiteroberfläche vergrössert werden. Um dies zu erreichen, werden die Leitungen immer mehr mit Bündelleiter ausgelegt, wobei Zweier-, Dreier- und Viererbündel zur Anwendung gelangen. Masten für Leitungen im Höchstspannungsbereich sind fast durchwegs für Aufnahme von Bündelleitern dimensioniert, wobei einzelne Teilleiter auch nachträglich nachgezogen werden können. Durch diese Massnahme lässt sich der Gesamtquer-

Fig. 1
Doppelsträngige Hochspannungsleitung
mit Isoliertraversen



schnitt und damit die übertragbare Leistung pro Strang sofort oder nachträglich erhöhen.

Mit der Entwicklung der Isoliertraverse wird ein neues Bauelement in den Freileitungsbau gebracht, welches gewisse Vorteile verspricht. Durch die Verwendung solcher Isoliertraversen anstelle von Hängeisolatoren kann der Mastoberteil verkleinert werden, was Gewichtseinsparungen zur Folge haben kann. Gleichzeitig sollten Einsparungen an der Trassenbreite möglich sein. Fig. 1 zeigt die prinzipielle Anordnung von Isoliertraversen.

Phasenabstandhalter aus Kunststoff haben sich seit kurzer Zeit beim Einbau in grossen Spannweiten bewährt. Durch diese Abstandhalter lassen sich die Phasenabstände verkleinern, was wiederum günstige Auswirkungen auf die

Trassenbreite haben kann. In gewissen Fällen lässt sich mit Hilfe von Phasenabstandhaltern sogar die Zahl der Tragwerke reduzieren.

Durch den Einsatz der ebenfalls noch in Entwicklung stehenden Kunststoffisolatoren soll eine gegenüber den klassischen, keramischen Isolatoren mechanisch weniger verletzbar, leichtere, schlankere und eine höhere Festigkeit aufweisende Isolation geschaffen werden.

Im Mittelspannungsnetz wird zum Einsparen an Trassenbreite bis zu einer Spannung von ca. 110 kV der Stützisolator eingesetzt. Fig. 2 zeigt eine 16-kV-Betonmastenleitung, welche mit Freileitungsstützern ausgerüstet ist. Die Einsparung an Trassenbreite gegenüber einer klassischen Betonmastenleitung mit Auslegern ist ganz beträchtlich. Andererseits müssen als Folge der kleineren Phasenabstände die Spannweiten verkürzt werden.

An Stelle der früheren Holzmasten werden heute im 50- und 110-kV-Netz fast ausschliesslich Betonmasten als Leitungsgestänge verwendet. Zur Reduktion des Transportgewichtes werden neuerdings an schwer zugänglichen Standorten zusammensetzbare einsäulige Stahlmasten eingesetzt. Diese eignen sich auch in den Fällen, in denen sehr hohe Masten notwendig sind.

Zur Entlastung der Landschaft bei parallellaufenden Hochspannungsleitungen verschiedener Unternehmungen werden heute vielfach kombinierte Leitungen erstellt. Dabei sind wohl von den einzelnen Leitungseigentümern gewisse Nachteile betrieblicher Art in Kauf zu nehmen, die nötige Trassenbreite lässt sich jedoch entscheidend vermindern. Als Beispiel sei auf Fig. 3 hingewiesen, welche eine kombinierte NOK/SBB-Leitung mit zwei 50-kV-Drehstromsystemen und zwei 132-kV-Einphasenschlaufen mit total 10 Leitern und 1 Erdseil zeigt.

Die Hochfrequenz-Nachrichtenübertragung, unter Benützung eines spannungsführenden Phasenseils und Erde oder

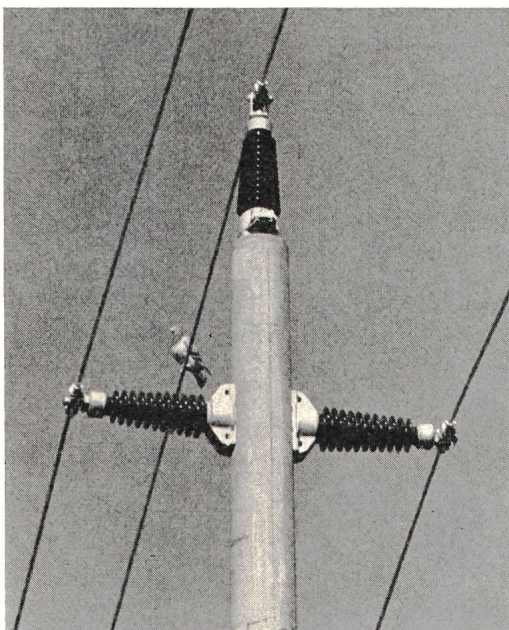


Fig. 2 16-kV-Freileitung mit Stützisolatoren

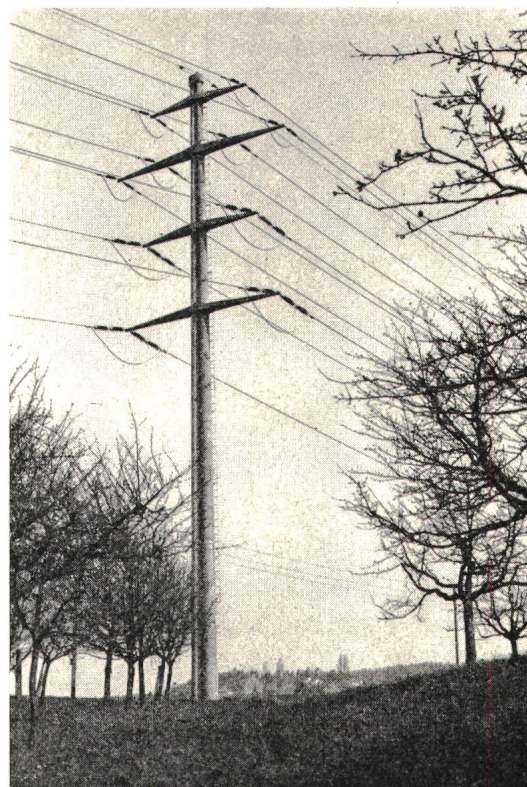


Fig. 3
Kombinierte Freileitung
mit zwei Drehstromsystemen
50 kV und zwei 132-kV-
Einphasenschlaufen



Fig. 4
Erdseilkoaxialkabel

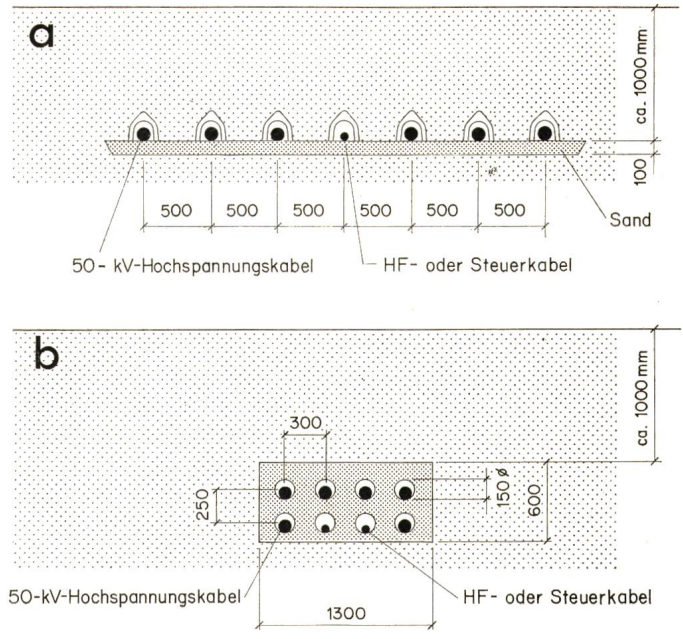


Fig. 5 Verlegen von Hochspannungskabeln

- a Verlegung unter Deckstein
- b Verlegung im Rohrblock

zweier Phasenseile als Nachrichtenweg, ist allgemein unter der Bezeichnung Trägerfrequenzübertragung längs Hochspannungsleitungen (TFH) bekannt. Das Nachrichtennetz der Elektrizitätswerke stützt sich weltweit auf diese TFH-Technik. Infolge des rasch steigenden Bedarfes an Übermittlungswegen lassen sich neue TFH-Verbindungen, wenn überhaupt, vielfach nur noch mit dem Risiko erstellen, einen Mitbenutzer der gleichen Frequenz zu stören oder von ihm gestört zu werden.

In Anbetracht dieser Sachlage und im Hinblick auf das sich abzeichnende Bedürfnis nach weiteren Nachrichtenverbindungen im Zusammenhang mit neuen Kraft- und Unterwerken wurde nach einem neuen Nachrichtenträger gesucht. Eine Lösungsmöglichkeit zeigt Fig. 4. Dabei besteht der Nachrichtenträger aus einem Koaxial-Trägerfrequenzkabel, das im Zentrum des Erdseils sitzt. Da diese Anordnung keine Hochfrequenzenergie in den freien Raum ausstrahlt, kann man beliebige Frequenzen einsetzen, ohne befürchten zu müssen, andere Übertragungswege zu beeinflussen. Das Erdseilkoaxialkabel wird normalerweise wie ein gewöhnliches Erdseil auf der Mastspitze montiert.

4. Entwicklungstendenzen im Bau von Kabelanlagen

An Stelle der bis vor einigen Jahren angewandten direkten Verlegung der Kabel im Erdreich mit Decksteinen werden heute Mittelspannungskabel bis 110 kV in einbetonierte Kunststoffrohre eingezogen. Dadurch kann eine beträchtliche Einsparung an Trassenbreiten erreicht werden. Auch sind spätere Auswechslungen von Kabeln oder Verstärkungen durch Nachziehen von Parallelkabeln ohne Schwierigkeiten möglich. Fig. 5 zeigt die Anordnung von sechs 50-kV-Ölkabeln in einem Rohrblock im Vergleich zur Verlegung unter Decksteinen.

Um bestehende und neue Kabelanlagen besser ausnützen zu können, ist vorgesehen, durch die bestehenden Rohre entlang der Kabel Wasser fliessen zu lassen oder die Betonblöcke durch separat verlegte Rohre mit Wasser zu kühlen.

Dadurch kann die Übertragungsfähigkeit der Kabel unter Inkaufnahme höherer Übertragungsverluste stark erhöht werden. Die Wasserkühlung drängt sich speziell dort auf, wo mehrere Kabel in einem Block konzentriert werden, d. h. in der Nähe von grossen Verteilunterwerken oder Transformatorstationen.

Kabel mit gewöhnlicher oder vernetzter Polyäthylenisolation, teilweise SF₆-imprägniert, sind heute für Spannungen bis 150 kV in der Schweiz und bis 220 kV im Ausland auf dem Markt. Die Vorteile dieser Kabelart gegenüber dem herkömmlichen Ölkabel liegen darin, dass sie kein umweltbelastendes Öl enthalten und dass keine Sperrmuffen bei Trassen mit grossen Höhenunterschieden nötig sind. Die Montage von Muffen und Endverschlüssen ist einfacher und kann schneller durchgeführt werden. Ferner fallen die zum Teil komplizierten und kostspieligen Öldrucküberwachungseinrichtungen dahin.

Bei der Fabrikation von Polyäthylenkabeln muss speziell auf Reinheit und Sauberkeit der Umgebung geachtet werden, da Fremdeinschlüsse durch Verunreinigung zu späteren Kabeldurchschlägen führen können. Die in Entwicklung stehenden elastomer-isolierten Kabel sollen die obigen Nachteile nicht aufweisen.

Im Bereich der Hochleistungsübertragung über Kabelanlagen stehen heute das gekühlte Ölkabel und das SF₆-isolierte Rohrkabel im Vordergrund. Ferner sei auf die Entwicklung von Kryo- oder supraleitender Kabel hingewiesen.

Adresse der Autoren

Wolfgang Niggli, stellvertretender Direktor, und Ernst Nohl, Vizedirektor, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, 5401 Baden.