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: 74 (1983)

Heft: 24

Artikel: Kabelanlagen in der Praxis

Autor: Rogenmoser, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904903

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: 09.12.2025

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

Kabelanlagen in der Praxis

Ch. Rogenmoser

Es werden die technischen und betrieblichen Möglichkeiten für den Einsatz von Kabelanlagen in Mittelspannungsnetzen dargestellt. Einen Schwerpunkt bildet die optimale Belastungsausnützung der verlegten Querschnitte. Dargestellt sind auch die Einflüsse auf in Betrieb stehende Kabel und deren Schutzmöglichkeiten sowie die Störungshäufigkeit im Vergleich zu Freileitungen.

Cet article présente les possibilités techniques ainsi que les possibilités d'exploitation pour l'emploi de systèmes de câbles dans les réseaux à moyenne tension. L'utilisation optimale des sections transversales posées sous terre en ce qui concerne la charge, constitue un point fort de l'exposé, qui parle également des influences subies par les câbles en action, des moyens de protection envers celles-ci ainsi que de la fréquence des perturbations par rapport aux lignes aériennes.

1. Problemstellung Kabel – Freileitung in Mittelspannungsnetzen

In Mittelspannungsnetzen ist die Wahl von Kabeln oder Freileitungen immer weniger eine Frage der Technik. Es sind heute vielmehr Umwelteinflüsse, wie Topografie oder Überbauungsgrad, die dem Ersteller eines Mittelspannungsnetzes die eine oder andere Leitungsart aufzwingen.

Trotz der qualitativ immer besser werdenden Kabel ist auch im Mittelspannungsnetz die Freileitung ausserhalb von Siedlungsgebieten nach wie vor das klassische Übertragungselement. Ausser etwa bei Stationseinführungen sind in derartigen Gebieten Kabel in den seltensten Fällen gerechtfertigt und bedürfen sorgfältiger Abklärungen (Fig. 1). Die hie und da auch in Mittelspannungsnetzen angewendeten Luftkabel an Freileitungsmasten sind kaum Regellösungen. Sie sind eher für Waldpartien als Glied einer Holzmastenregelleitung gedacht.

Ein Vergleich über Netzlängen und Flächen in der Schweiz zeigt in Tabelle I die gegenwärtige Situation. Als Vereinfachung sind die Freileitungen den unüberbauten und die Kabel den überbauten Gebieten zugeordnet worden.

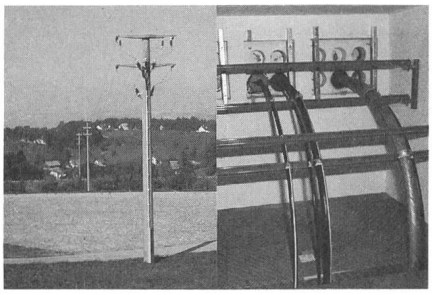

Fig. 1 Anspeisung einer Freileitung in nicht überbautem Gebiet

Die zunehmende Überbauung unserer Freiflächen und die dazu notwendigen Erschliessungsanlagen ergeben aber nun doch eine enorm grosse Zuwachsrate der Mittelspannungskabel. Aus Gründen des für eine Freileitung notwendigen Raumbedarfs ist es sicher richtig, wenn in überbauten Gebieten Kabel verwendet werden. Je nach Bebauungsart und -dichte dürfte pro neu zu überbauende Hektare ein Mittelspannungskabelbedarf von 100 bis 150 m Länge notwendig sein.

Wenn einleitend auf die immer kleineren technischen Probleme von Kabelleitungen hingewiesen wurde, so sind es aber doch betriebliche Konsequenzen, die nicht unbeachtet bleiben dürfen. Gemeint ist dabei in erster Linie die viel längere Ausfallzeit bei

Vergleich Kabel–Freileitung in Mittelspannungsnetzen Tabelle I

		Schweiz 1975[1])	Kt. Zürich 1982
Kabel	Überbaute Fläche	etwa 180 000 ha	18 600 ha
	Mittelspannungskabel	10 400 km	2 050 km
	Netzlänge pro ha	58 m/ha	110 m/ha
Freileitung	Kultivierbare Flächen inkl. Weiden	etwa 2 000 000 ha	87 300 ha
	Mittelspannungs-Freileitungen	18 150 km	1 250 km
	Netzlänge pro ha	9 m/ha	14 m/ha

[1]) neuere Daten fehlen

Adresse des Autors
Ch. Rogenmoser, Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, 8022 Zürich.

einer Störung. Eine Mittelspannungsfreileitung ist in der Regel innerhalb weniger Stunden repariert, für ein Kabel sind oft mehrere Tage notwendig, was meistens Massnahmen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit erfordert, so zum Beispiel mit teuren Ringleitungen. Es ist aber auch die Schwerfälligkeit des Kabels bei allfälligen Verlegungen zu beachten.

Im Betrieb macht sich die wesentlich grössere Querkapazität der Kabel bemerkbar und bereitet vielen Elektrizitätswerken im Erdschlussfall einige Sorgen. Die gegen fünfzigmal grössere Kapazität der Kabel und damit des Erdschlussstromes zwingt manchen Betreiber eines Mittelspannungsnetzes zu teuren Massnahmen. In der Schweiz sind die MS-Netze vorwiegend isoliert betrieben. Sie erfordern demzufolge ab einer gewissen Ausdehnung der Kabelnetze wesentlich bessere Erdungsanlagen, Kurzabschaltung auch im Erdschlussfall, unter Umständen ungünstige Netzaufteilungen oder letzlich den Einsatz von Erdschlusslöschspulen.

Bevor auf den Einsatz von Kabeln eingegangen wird, soll der Vergleich der spezifischen Jahreskosten von Kabel- und Freileitungen nach Figur 2 aufzeigen, dass der Einsatz eines Kabels mit Sicherheit kaum eine Frage der Wirtschaftlichkeit sein dürfte.

2. Belastungsanforderungen an Mittelspannungskabel

Die Zunahme der Belastung (Auslastung) und der Kurzschlussleistung in den Mittelspannungsnetzen verlagert die Diskussion recht stark in die Querschnittsoptimierung. Bei der Kurzschlussbeanspruchung kann sehr oft über das Mittel der Schnellabschaltung ein zu kleiner Kabelquerschnitt vor schädlichen thermischen Werten

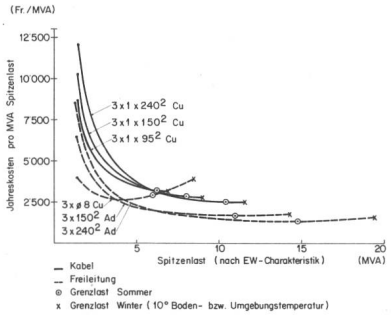

Fig. 2 Jahreskosten von 16-kV-Leitungen in Funktion der übertragenen Spitzenlast

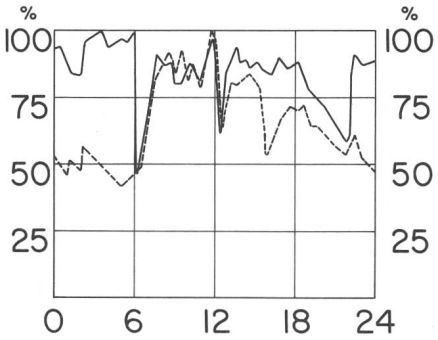

Fig. 3 Belastungsverlauf einer 16-kV-Kabelleitung (Erstellungsjahr 1962)

---- Winter 1972/73, Lastfaktor 0,45
—— Winter 1982/83, Lastfaktor 0,72

geschützt werden. Bei einer Erwärmung durch Dauerlast hingegen ist Abhilfe nur durch grössere Querschnitte oder weitere Leitungen möglich.

Es soll nun vorerst auf die Zunahme und aber auch Veränderung der Charakteristik der Netzlast eingegangen werden. Figur 3 zeigt die Lastverläufe eines Netzkabels zehn und zwanzig Jahre nach dessen Inbetriebsetzung im Jahre 1962. Um den Lastfaktor aufzeigen zu können, sind beide Kurven auf 100% umgerechnet worden.

In früheren Dimensionierungsunterlagen [1] wurde für die sogenannte Industrielast folgendes angegeben:

- Leiterendtemperatur: 50 °C
- Nennbelastung:
  100% während 10 Std.
- reduzierte Last:
  70% während 14 Std.

Dies entspricht einem Lastfaktor (LF) von 0,703 nach der Formel

$$LF = \frac{1}{24}\,\hat{I}^{-2} \int_0^{24} I^2(t)\,dt$$

Der Lastfaktor oder korrekt Verlustleistungsfaktor berücksichtigt auch die thermischen Auswirkungen des Kabels auf die Umgebung, also der Veränderung des thermischen Bodenwiderstandes durch die Austrocknung.

In den heutigen Dimensionierungsgrundlagen werden für die Industrielast angegeben:

- Leiterendtemperatur: 60 °C
- Nennbelastung:
  100% während 10 Std.
- reduzierte Last:
  60% während 14 Std.

und der daraus resultierende Lastfaktor (LF) beträgt lediglich noch 0,627.

Die Änderung der Dimensionierungsgrundlagen erfolgte wegen der Anpassung der Definition der Industrielast an internationale Normen. Ob dies für die Elektrizitätswerke dienlich war, ist eher fraglich, denn der zunehmende Anteil an Elektroheizungen ergibt nach Figur 3 eindeutig grössere Lastfaktoren, das heisst also nach den Grundlagen höhere Leiterendtemperaturen, wenn der Nennstrom auftritt.

Die hohen Kosten von Kabelanlagen auch in Mittelspannungsnetzen veranlassen den Betreiber zu einer maximalen Ausnützung. Dies gilt insbesondere für bestehende, aber kaum für neue Anlagen, zumindest in deren ersten Betriebsjahren. Betrachtet man die gesamte Strecke einer Kabelanlage, so ist in vielen Fällen die Kabelumgebung nicht homogen, womit kein gleichmässiges Abführen der Eigenwärme möglich ist.

Es liegt durchaus im Sinne einer optimalen Ausnützung, wenn die Kabel bereits im Normalbetrieb bis zu den Grenzwerten belastet werden. Neuere Untersuchungen [2] über Alterung von papierisolierten Haftmassekabeln haben gezeigt, dass eine Steigerung des Nennstroms um bis zu 20% gegenüber bisherigen Werten durchaus vertretbar ist. Dies ergibt allerdings Leiterendtemperaturen von gegen 90 °C.

Nach dieser Untersuchung sollen sich auch die doch eher transienten, thermischen Vorgänge nicht merkbar auf die Lebensdauer auswirken. Damit wird eine langjährige Erkenntnis bestätigt, wonach Papier- und besonders Haftmassekabel durchaus höhere Leiterendtemperaturen und/oder kürzere Abkühlphasen ertragen. Das heisst, der früher verwendete Lastfaktor von 0,7 oder sogar mehr dürfte nach wie vor richtig sein. Ausserdem kommt den Elektrizitätswerken der Winterlastcharakter entgegen, wonach bei tieferen Bodentemperaturen durchaus 10 bis 15% höhere Spitzenströme bei der täglichen Belastung zulässig sind.

Die von den schweizerischen Kabelherstellern gelieferten Unterlagen geben ebenfalls Auskunft über zulässige Belastungen für einen Notbetrieb, z.B. bei Störungen. Es werden dabei allerdings nur Ströme für Leiterendtemperaturen von max. 75 °C für Papier- und Polyäthylenkabel sowie 110 °C für vernetzte Kunststoffkabel angegeben. Die Erfahrungen zeigen und bestätigen die erwähnten Untersuchun-

Minimaler Kabelquerschnitt in Mittelspannungsnetzen bei einer Kurzschlussdauer von 1,5 s (ausgehend von 60 °C Leitertemperatur) Tabelle II

Kurzschlussleistung S_c MVA	Netzspannung U_n kV	Kurzschlussstrom I_c kA	minimaler Kabelquerschnitt PE-Kabel mm²	VPE/EPR-Kabel mm²	PPb-Kabel mm²
750	20	21,6	240	185	150
	16	27	300	240	240
500	20	14,4	150	120	120
	16	18	185	150	150
350	20	10,1	95	95	70
	16	12,6	120	120	95

gen, wonach diese Werte durchaus mehrere Male pro Jahr zulässig sind.

Nach diesen Betrachtungen zur Dauerbelastung noch einige Hinweise zur Dimensionierung hinsichtlich Kurzschlussbeanspruchung. Die Zunahme der Kurzschlussleistungen in Mittelspannungsnetzen hat schon bei vielen kleinquerschnittigen Kabeln die Lebensdauer beträchtlich reduziert. Beim Kabel wird eine Lebensdauer von mindestens 40 Jahren gewünscht. In vielen Netzen hat sich in den letzten 40 Jahren die Kurzschlussleistung um ein Vielfaches erhöht. Ein Grossteil der Mittelspannungsnetze wird heute für 500 MVA dimensioniert, in dichten Agglomerationen gar für 750 MVA. Ab Unterwerken wegführende Kabel sollten diese Leistungen je nach Netzschutzausrüstungen ein bis zwei Sekunden ertragen können.

Tabelle II zeigt die hierfür notwendigen Kabelquerschnitte. Sie lässt die Folgerung zu, wonach heute sehr oft die Kurzschlussbelastung und nicht die Normallast einen Querschnitt bestimmt. Wird die Tabelle II mit Figur 2 verglichen, so ist zu erkennen, dass zur Übertragung grösserer Netzlasten der optimale Kabelquerschnitt in der Regel mit dem infolge der Kurzschlussleistung ohnehin notwendigen Minimalquerschnitt recht gut übereinstimmt.

3. Beanspruchungen während der Verlegung und im Betrieb

Zur Gewährung einer maximalen Lebensdauer kann die Verlegung wesentlich beitragen. Einerseits ist es die mechanische Beanspruchung während des Verlegungsablaufes, anderseits wird das verlegte und in Betrieb stehende Kabel äusseren, mechanischen, korrosiven oder chemischen und thermischen Einwirkungen ausgesetzt. Es soll im folgenden auf diese Einflüsse eingegangen werden.

Für die *Kabelverlegung* liefern die Kabelhersteller Unterlagen über die zulässigen Zugbeanspruchungen. Der heute grösstenteils praktizierte Einzug in Kunststoffrohre, Kanal- oder Kabelprofilanlagen mit modernen Seilwinden hat im allgemeinen die Beanspruchung reduziert. Um so mehr ist es von Wichtigkeit, dass ein Kabeltrassee hinsichtlich Radien, Neigungen, Muffenplazierungen und dergleichen optimal ausgelegt ist. Einführungen in Unterwerke und Stationen erfordern bereits in der Projektierungsphase die Aufmerksamkeit, um mit baulichen Massnahmen den Kabeleinzug auch mit Zugmaschinen problemlos gewährleisten zu können.

Mechanische Einflüsse während des Betriebes entstehen meistens in Form von Vibrationen oder Schwingungen. Besonders gefährdete Stellen sind Brücken oder Kanäle unter stark befahrenen Strassen und eher seltener Mastaufstiege. Bestehen solche Gefahren, empfiehlt es sich, Kabelumhüllungen zu wählen, die erhöhten Beanspruchungen genügen, so etwa besser legierte Blei- oder gar Aluminiummäntel für papierisolierte Kabel oder als generelle Alternative Kabel mit Kunststoffisolation. Bei Mastaufstiegen entstehen, wie erwähnt, recht selten Störungen. Schäden sind an Befestigungsbriden oder beim Bodenaustritt möglich. Zur Abhilfe von letzterem sollte der Mast möglichst starr sein; es ist ratsam, auch bei Holzmasten einbetonierte Sockel zu verwenden (Fig. 4).

Eine weitere mechanische Beanspruchung während des Betriebes ist die *Wärmeausdehnung* in Kabellängsrichtung. In Rohranlagen und Kanälen mit genügender Lichtweite kann sich ein Kabel normalerweise recht gut ausdehnen. Die dabei entstehenden Kräfte und Ausdehnungen werden aber noch oft unterschätzt. Gefährdete Stellen sind Muffenschächte und Stationseinführungen, also Stellen, wo gegenüber dem Kabel kleinere Reibungswiderstände auftreten und z.B. die Muffen aufstossen oder sie verdrehen. Anstelle der üblichen Halterungen sind hier meistens starke Fixierungen unerlässlich.

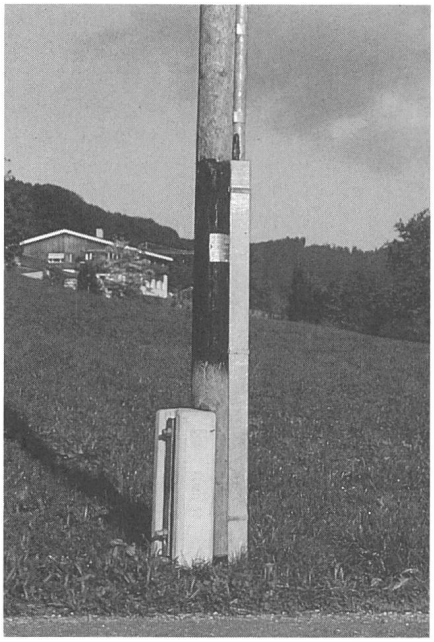

Fig. 4 Kabelaufstieg mit Holzmast auf einbetoniertem Sockel

Die *Korrosion* als Schadenherd am Kabel unerwähnt zu lassen wäre sicher falsch. Alte Bleikabel mit Jutehüllen und Eisenbandarmierungen, meist noch unter Decksteinen verlegt, fallen je nach Beschaffenheit des Erdbodens häufig recht hilflos Korrosionseinflüssen zum Opfer. Diese können chemischen oder elektrolytischen Ursprungs sein. Abhilfe hat hier im wesentlichen der Kunststoffüberzug gebracht und auch Blei-, Aluminium- oder Eisenmantelkabel der Korrosion weitgehend entzogen.

Die Umgebungstemperatur gibt dem Kabel eine zusätzliche *thermische Beeinflussung* – eine sehr einfache Aussage mit enorm vielen Parametern. Anders als die mechanische Beeinflussung, hat die Umgebungstemperatur einen direkten Einfluss auf den Betrieb. Gemeint sind damit die Ausnützung des zulässigen Grenzstromes und die Lebensdauer. Wie in Kapitel 2 erwähnt, wird der Betreiber eines Verteilnetzes aus wirtschaftlichen Gründen bei jedem Kabel irgendwann an die Grenze der zulässigen Belastung gehen oder gehen müssen. Nun wird aber diese Grenze wesentlich durch die Umgebung und die Verlegeart des Kabels mit beeinflusst. Es stellen sich die Probleme der Bodenaustrocknung, des Luftwechsels in Kanälen und der Parallelführung von Strängen.

Figur 5 soll einen Teil dieser Beeinflussungen streifen und zeigt die Reduktionsfaktoren bei verschiedenen

Art der Verlegung		Anzahl Stränge 1	2	3	4	6
in Erde/Sand/Kies	Rohre / Sand	1.0	0.94	0.88	0.82	0.76
	Rohre in Beton	1.06	1.0	0.94	0.88	0.82
	Deckstein / Sand	1.18	1.06	1.0	0.94	0.88
in Luft	in Kanälen, auf Traversen ohne Ventilation	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
	in grossen Räumen, auf dem Boden in Kanälen ohne Ventilation	0.88	0.82	0.82	0.82	0.76
Umgebungstemperatur		10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
Verlegung in Erde und Rohren		1.1	1.0	0.85	0.7	
Verlegung in Luft		1.3	1.15	1.0	0.8	0.6

Quelle : Kabelkatalog BCC

← Winterlast

Fig. 5 Reduktionsfaktoren für die Grenzbelastung von Kabelleitungen

Verlegearten. Werden qualitativ gute Kabel verlegt, dürfen nach Ansicht des Verfassers kleinere Einschränkungen wie z.B. Parallelführungen über kürzere Abschnitte durchaus vernachlässigt werden.

4. Schutz von Kabelanlagen

Der *thermische Schutz* von Mittelspannungskabeln ist ein vieldiskutiertes Thema. Wie bereits erwähnt, wird die Dimensionierung einer neuen Kabelanlage weitgehend durch die Kurzschlussleistung bestimmt, und demzufolge weist ein Kabel in der Regel für die Dauerlast Reserven auf. Zudem lassen neue Kabel beachtliche Überlastungen für den Notbetrieb zu. In einem Störungsfall steht selten genügend Zeit für die Anpassung der Schutzeinrichtungen zur Verfügung. So müssten thermische Schutzapparate also dem Notbetrieb entsprechend eingestellt sein, womit wiederum kein Dauerschutz erreicht wird. Schutzeinrichtungen gegen eine thermische Überlastung dürfen demzufolge eher bei älteren, aber betriebswichtigen Kabeln mit zu kleinen Querschnitten oder in Spezialfällen angebracht sein.

Nebst Haupt- und Sekundärstromrelais werden auch in Mittelspannungsnetzen schon recht häufig Distanzrelais eingesetzt. Eine Schutzeinrichtung muss ein Kabel vor dem Erreichen einer unzulässigen Leitertemperatur abschalten, da sonst die Lebensdauer beachtliche Einbussen erleidet. Schäden infolge des Stoss-Kurzschlussstromes treten an Kabelanlagen eher selten auf. Einerseits ergeben bereits kleine Netzimpedanzen beachtliche Dämpfungen, anderseits hält ein richtig montiertes beziehungsweise verlegtes Kabel den dabei entstehenden Kräften durchaus stand.

Ein *Überspannungsschutz* sollte überall dort installiert werden, wo Kabel im Leitungszug mit Freileitungen zusammentreffen. Kabel haben einen wesentlich kleineren Wellenwiderstand als Freileitungen. Für Wanderwellen ist daher der Übergang Freileitung–Kabel eine Reflexionsstelle. Auch ein gutes Kabel kann kaum allen atmosphärischen Überspannungen standhalten, was jedoch nicht heisst, dass mit Ableitern alles geschützt werden kann. Für Kabellängen $< \sim 20$ m genügt in der Regel ein Ableiter beim Freileitungsübergang [3]. Bei grösseren Strecken ist auch am Kabelende ein Ableitersatz unerlässlich, um die Wellenreflexion bzw. die durch die Hin- und Herreflexionen entstehenden Spannungsaufschaukelungen abzuleiten (Fig. 6). Die Nennspannung der Ableiter liegt in der Regel im ungeerdeten oder über Impedanzen geerdeten Netz bei 100–110% und bei starr geerdeten Netzen bei 75–85% der höchsten Betriebsspannungen [4]. In Mittelspannungsnetzen genügt meistens ein Ableitvermögen von 5 kA.

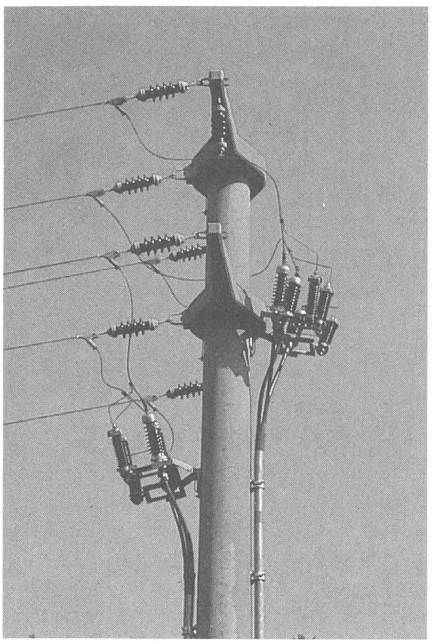

Fig. 6 Überspannungsableiter bei Kabelübergang auf Freileitung

5. Störungen an Kabelanlagen

Massnahmen zum Schutz von Kabelanlagen während des Baus und Betriebes verteuern die Energieverteilung und erhöhen den Investitionsbedarf. Diese Mehrinvestitionen müssen sich für den Betrieb lohnen, indem die Kabel zu weniger Störungen Anlass geben und eine längere Lebensdauer erreichen sollten.

Eine Bestätigung dieser Ziele ist nur über eine langjährige und feingliedrige Statistik möglich. Viele Elektrizitätswerke verfügen über eigene, auf ihre Bedürfnisse ausgerichtete Statistiken. Der Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) erfasst seit einigen Jahren die Störungsmeldungen einer beachtlichen Zahl von Werken [5]. Einige Zahlen aus der Statistik 1980:

- Erfasste Netzlängen (Mittelspannung bis 20kV)
  - Kabel 4524 km
  - Freileitungen 6710 km
- Störungen und Schäden je 100 km Netzlänge
  - Kabelanlagen 3,42
  - Freileitungen 8,03
- Ausfälle infolge Unterhalt je 100 km Netzlänge
  - Kabel 1,64
  - Freileitungen 15,40

Diese Zahlen geben nur einen groben Überblick. Über Details wie Ursachen, Arten und Orte von Störungen sei auf die erwähnte Statistik verwiesen.

Anhand von Statistiken lässt sich über die Wirksamkeit besserer oder besser geschützter Anlagen Rechenschaft ablegen. Es ist unumgänglich, laufend die Auswirkungen von Investitionen auf den Betrieb und letzlich die Betriebskosten zu beurteilen.

6. Zusammenfassung

Es ist versucht worden, vor dem eigentlichen Thema «Kabelanlagen in der Praxis» für Mittelspannungsnetze die Zusammenhänge und Unterschiede zwischen Kabel- und Freileitungen aufzuzeigen.

Die hohen Kosten von Mittelspannungskabelanlagen veranlassen den Betreiber einer Kabelstrecke, diese voll auszunutzen, um das betriebswirtschaftliche Optimum zu erreichen. Dazu wird es notwendig sein, einen möglichst grossen Strom über eine lange Zeitperiode ohne Schaden zu übertragen.

Schäden an Kabelanlagen wirken sich auf den Betrieb infolge der langen Instandstellung wesentlich ungünstiger aus als solche an Freileitungen. Es sind daher auch Schutzeinrichtungen notwendig, um Kabel vor übermässiger Erwärmung, Überspannung sowie äusseren mechanischen und korrosiven Einflüssen zu schützen.

Literatur

[1] Brugg, Cortaillod, Cossonay: Zulässige Belastungen des Hochspannungskabels.

[2] *R. Bulens, G. Geerts, A. Robert, D. von Dommelen:* Ageing and permissible load of paper insulated medium voltage cables (CIRED 1983).

[3] *E. Vogelsanger:* Isolationskoordination auf Freileitungen.

[4] Sprecher & Schuh: Überspannungsableiter BHF.

[5] VSE-Störungsstatistik 1980.