

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 61 (1970)
Heft: 15

Rubrik: Energie-Erzeugung und -Verteilung : die Seiten des VSE

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>

Energie-Erzeugung und -Verteilung

Die Seiten des VSE

Vorwort

Die Leitungsprojekte der Elektrizitätswerke geben in zunehmendem Masse zu öffentlichen Diskussionen Anlass, wobei meist die Forderung erhoben wird, anstelle von Freileitungen Kabelleitungen zu verlegen. Berichte über ausgeführte Kabelleitungen im In- und Ausland verleiten zur Annahme, dass die technischen und betrieblichen Probleme der unterirdischen Übertragungsart in allen Spannungsbereichen gelöst seien. Unter diesen Umständen erwachsen den Elektrizitätswerken mehr und mehr Schwierigkeiten, für Freileitungen Durchleitungsrechte zu erhalten. Das Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement (EVED) hatte bereits zu wiederholten Malen in Expropriationsverfahren über die

Frage Kabel- oder Freileitung zu entscheiden, wobei jeder einzelne Fall in der den Bundesrat beratenden Eidg. Kommission für elektrische Anlagen durchbesprochen wurde. Diese Kommission fasste ihre Überlegungen und Untersuchungen in zwei Berichten, der eine für den Spannungsbereich über 100 kV und der andere für den Bereich unter 100 kV zusammen. Im Einverständnis mit dem EVED werden die beiden Berichte nun nachstehend vollinhaltlich wiedergegeben.

E. Homberger, Oberingenieur des eidg. Starkstrominspektorates

Kabel oder Freileitung?

Stellungnahme der Eidg. Kommission für elektrische Anlagen

Höchstspannungen über 100 kV

A. Einführung

Die Übertragung elektrischer Energie kann über Freileitungen oder unterirdische Kabel erfolgen. Das wichtigste Übertragungsmittel ist die Freileitung. Die Höchstspannungsnetze, d. h. Spannungen über 100 kV, werden fast ausschliesslich als Freileitungsnetze gebaut. Die Hochspannungsnetze sind mit wenigen Ausnahmen nur dort verkabelt, wo in Städten auf kleinem Raum ein grosser Energiebedarf vorhanden ist und die räumlichen Verhältnisse die Errichtung von Freileitungen ausschliessen.

Der Bau von elektrischen Leitungen, seien es Freileitungen oder Kabel, berührt stets viele Interessen öffentlicher und privater Art. Besonders bei Freileitungen ist es oft schwierig, neuen Trasseraum zu finden, da insbesondere auch Fragen des Landschaftsschutzes eine Rolle spielen. Es scheint häufig, als wären diese Probleme mit Kabelleitungen leichter zu lösen. Die Gründe, die trotzdem dazu führen, dass für Hoch- und Höchstspannungsnetze nach wie vor fast ausschliesslich Freileitungen errichtet werden, seien in nachfolgenden Vergleich näher dargelegt. Eine analoge Untersuchung wurde bereits 1964 in Deutschland durchgeführt und in der Schrift «Freileitung oder Kabel in der Elektrizitätsversorgung» durch die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke VDEW veröffentlicht. (Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke Frankfurt am Main 1964.)

B. Vergleich Freileitungen — Kabel für Höchstspannungen über 100 kV

1. Technische Fragen

a) Unterschiede im Aufbau

Freileitungen und Kabel sind in ihrem Aufbau und deshalb in ihrem physikalischen und betriebstechnischen Ver-

halten grundverschiedene Mittel zur Übertragung elektrischer Energie.

Die nackten Leiterseile einer Freileitung hängen mittels Isolatoren am Masten befestigt, in einem beträchtlichen Abstand über dem Erdboden frei in der Luft, während die Leiter eines Kabels auf ihrer ganzen Länge von einer Isolation und einem Schutzmantel umhüllt sind und in der Erde verlegt werden.

Während bei einer Freileitung die einzelnen Leiterseile eine Montagelänge von 2—3 km haben, können aus fabrikationstechnischen und Transport-Gründen die Kabel je nach Betriebsspannung nur in Einzellängen von max. 300—800 m geliefert werden.

Bei Freileitungen ist die Beherrschung hoher und höchster Betriebsspannungen im wesentlichen eine Frage genügender Abstände der Seile unter sich, gegenüber dem Erdboden und gegenüber den Mastkonstruktionen bzw. genügender Länge der Isolatoren. Bei Kabeln hingegen wird die notwendige Isolation durch eine dünne Isolationsschicht (bei 380 kV zum Beispiel ca. 28 mm), die den spannungsführenden Leiter allseitig umgibt, gebildet. Das wichtigste Isoliermaterial ist dabei unter Öldruck stehendes Papier. Um die durch die Temperaturschwankungen entstehenden Volumenänderungen ausgleichen zu können, benötigen diese Kabel Öldruck-Ausgleichsgefässe.

Bei den Gaskabeln wird als Isoliermaterial mit einer besonders zähflüssigen Isoliermasse getränktes Papier verwendet, welches mittels Gas, meist Stickstoff, unter Druck gehalten wird. Dabei wird je nach Bauart zwischen Gasausserdruck- und Gasinnendruck-Kabeln unterschieden. Gasausserdruck-Kabel werden in druckfeste zusammengeschweisste Rohre eingezo-gen, wobei nur relativ schwache Krümmungen

zugelassen werden können. Bei starken Richtungsänderungen sind spezielle Schächte erforderlich. Alle diese baulichen Vorkehrungen erschweren eine nachträgliche Trasseänderung in ausserordentlichem Masse. Andererseits fallen bei Gaskabeln normalerweise Ausgleichsbehälter weg. Die Gasinnendruckkabel weisen aussen einen Aluminium-Druckwellmantel oder einen armierten Bleimantel auf. Unter diesen befinden sich Kanäle, die mit dem unter Druck stehenden Gas gefüllt sind. Im übrigen sind die Verhältnisse aber ähnlich denjenigen der Gasaussendruckkabeln.

b) Konstruktive Probleme

In Höchstspannungs-Kabelnetzen können infolge der dielektrischen Eigenschaften sehr viel grössere Spannungssteigerungen zwischen Leitungsanfang und Leitungsende entstehen, als dies bei Freileitungen der Fall ist. Dies verlangt bei grösserer Ausdehnung der Kabelnetze zusätzlich den Einbau von Kompensationsgliedern in Form von Drosselspulen. Dabei handelt es sich um sehr umfangreiche und kostspielige Einrichtungen.

c) Kabelstrecken im Freileitungsnetz

Die unterschiedlichen Eigenschaften von Kabel- und Freileitungen bringen es mit sich, dass bei Eingliederung von Kabelstrecken im Zuge von Freileitungen die Betriebssicherheit herabgesetzt wird. Die Kabel sind in einer solchen gemischten Bauweise den atmosphärischen Überspannungen in weit höherem Masse ausgesetzt als in reinen Kabelnetzen. Das Kabel neigt bei steilen Spannungswellen, wie sie bei Blitzschlag auftreten, eher zum Durchschlag als die Freileitungs-Isolation zum Überschlag. Besonders gefährdet sind kurze Kabelstrecken, da an ihnen sehr hohe Spannungsspitzen auftreten können. Wohl können diese durch Überspannungs-Ableiter in einem gewissen Masse vom Kabel ferngehalten werden, doch werden durch die zusätzlichen Einrichtungen auch wieder neue Störungsquellen geschaffen. Der Übergang von Freileitung auf Kabel kann insbesondere bei Höchstspannungen Trenn- und Schaltmöglichkeiten erfordern, welche ihrerseits entsprechenden Platz bedingen und auch aus ästhetischen Gründen nicht erwünscht sind.

Eine etwas günstigere Situation liegt vor, wenn die Kabelstrecke sich am Ende einer Übertragungsleitung befindet, d. h. wenn das eine Kabelende an ein Kraftwerk oder eine Trafostation angeschlossen ist. In jedem Falle aber schränkt die Kabelstrecke die Belastbarkeit der Leitung ein, sofern das Kabel nicht mit entsprechendem Aufwand für die gleiche Belastbarkeit bemessen ist.

2. Verhalten im Betrieb

a) Übertragungsfähigkeit und Strombelastbarkeit

Die die Kabel umgebende hochwertige elektrische Isolation stellt leider auch eine sehr gute Wärmeisolation dar. In jedem elektrischen Leiter entstehen beim Stromdurchfluss Energieverluste in Form von Wärme. Deshalb kann die im Kabel entstehende Wärme nur schlecht an die Umgebung abgegeben werden, so dass bei grossen Belastungen Wärmerestauungen im Innern des Kabels entstehen. Je nach Kabelart und Betriebsspannung können am stromdurchflossenen Leiter Temperaturen von höchstens 70° bis 80 °C zugelassen werden. Überlastungen mit entsprechend überhöhten Temperaturen führen bei Kabeln rasch zu Beschädigungen der

Isolation und damit zur Zerstörung der Kabel. Bei Freileitungen sind hingegen Temperaturgrenzen nur mit Rücksicht auf die mechanische Festigkeit der Leiterseile gesetzt. Eine Freileitung kann daher für eine gewisse Dauer ohne weitere Nachteile überlastet werden. Die Strombelastbarkeit einer Freileitung ist deshalb auch erheblich grösser als diejenige eines Kabels mit gleichem Querschnitt. Ein Kabelnetz kann eine ähnliche Überlastbarkeit wie ein Freileitungsnetz nur bieten, wenn stark vergrösserte Querschnitte oder mehrfach parallel geführte Kabel verwendet werden. Bei ungünstigen trockenen Bodenverhältnissen oder bei parallel geführten Kabeln muss ausserdem mit gegenseitiger Wärmebeeinflussung gerechnet werden, die die Belastbarkeit der Kabel noch wesentlich herabsetzt.

Leider ist es aus fabrikations- und montagetechnischen Gründen nicht möglich, den Kabelquerschnitt beliebig gross zu wählen. Bei Freileitungen dagegen können ohne besondere Schwierigkeiten 2, 3 oder 4 Seile zu einem Leiterbündel zusammengefasst werden, wodurch es möglich wird, den wirksamen Leiterquerschnitt innerhalb weiter Grenzen zu vergrössern.

Die Übertragungsfähigkeit von Leitungen wird aber nicht nur allein durch ihr thermisches Verhalten, d. h. durch ihre Strombelastbarkeit, bestimmt. Bei Höchstspannungen und grossen Entfernungen spielen zudem Spannungshaltung und Blindleistungsbedarf eine wichtige Rolle. In jeder unter Spannung stehenden Leitung fliesst ein Ladestrom (oder Blindstrom genannt, weil er nicht nutzbar ist), und zwar auch dann, wenn kein Wirkstrom übertragen wird. Bei einer Freileitung ist die Ladeleistung (Blindleistung) relativ gering, bei einer Kabelleitung gleicher Länge ist jedoch diese Leistung je nach Spannung und Kabeltyp 25...40mal grösser. Grösserer Ladestrom bedeutet aber nicht nur grössere Verluste, d. h. stärkere Erwärmung und damit Herabsetzung der Übertragungskapazität der Leitung, sondern verlangt auch entsprechend grössere Maschinenleistung in den Kraftwerken oder zusätzliche Kompensationseinrichtungen.

b) Störungen

Die Anlagen müssen selbstverständlich so betriebssicher wie möglich sein. Wenn jedoch Störungen eintreten, so soll die Auswirkung gering bleiben und deren Behebung in kürzester Zeit erfolgen können. Der weitaus grösste Teil der Störungen an Leitungen ist auf ein mit Erdschluss oder Kurzschluss bezeichnetes Versagen der Isolation zurückzuführen. Der bis zur Schalterauslösung fließende Erd- bzw. Kurzschluss-Strom ist vielfach grösser als der thermisch zulässige Dauerstrom und gefährdet deshalb vor allem die auf Erwärmung empfindlicheren Kabel, während Freileitungen in dieser Hinsicht wesentlich unempfindlicher sind. Die Überlegenheit der Freileitungen im Kurzschlussfall wird aber noch grösser, wenn man berücksichtigt, dass Freileitungen einen etwa 3- bis 4mal grösseren induktiven Widerstand haben als Kabel. Bei einer Freileitung braucht es nur wenige Kilometer Leitungslänge, um die Kurzschlussleistung auf einen Bruchteil des Wertes zu reduzieren, der am Leitungsanfang vorhanden ist. Bei einer Kabelleitung tritt die Reduktion auf diesen Bruchteil erst nach einer viel grösseren Leitungslänge auf. Die Kurzschlussbeanspruchung in Kabelnetzen ist also unter sonst gleichen Bedingungen wesentlich grösser als in Freileitungsnetzen. Dieser Umstand hat ent-

scheidende Bedeutung bei vermascht betriebenen, mehrfach eingespeisten Verteiler- und Verbundnetzen hoher und höchster Betriebsspannung, da der einwandfreien Abschaltung der Kurzschlußströme technisch Grenzen gesetzt sind.

Aussere Störungsursachen bei Freileitungen sind atmosphärische Überspannungen (Gewitter), Sturm, Rauhreif, Schnee, Verschmutzung, Steinschlag und Lawinen, während bei Kabeln vor allem natürliche oder durch Grabarbeiten hervorgerufene Bodenbewegungen, Erschütterungen, Korrosionen und mechanische Verletzungen des Kabelmantels zu Störungen führen können. Entgegen der Erwartung beweist jedoch die Statistik, dass bezüglich Auswirkung der Störungen auf den Betrieb die Freileitungsnetze trotz vielseitiger Störungsmöglichkeit gegenüber Kabelnetzen nicht im Nachteil sind, d. h. die Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer Störung ist bei der heutigen Freileitungstechnik verhältnismässig gering. Über 80 % der Störungen sind vorübergehender Natur und werden durch eine automatische Schnellwiedereinschaltung ohne Betriebsunterbruch beseitigt. Die Störungsstellen sind an Freileitungen ausserdem im allgemeinen leicht erkennbar, und die Auswechslung beschädigter Isolatoren oder Leiterseile kann meist in wenigen Stunden erfolgen. Sogar umfangreichere Störungen können in verhältnismässig kurzer Zeit behoben werden.

Die Beseitigung von Schäden an einer Kabelleitung hingegen dauert im allgemeinen wesentlich länger als bei einer Freileitung. Die Feststellung des Fehlerortes erfordert den Einsatz besonderer Messgeräte und Einrichtungen und bereitet Schwierigkeiten.

Insbesondere erfordert dies einen grossen Zeitaufwand, wenn es sich um schleichende Kabelfehler handelt. Zudem sind in der Regel Grabarbeiten erforderlich, um die Fehlerstelle zugänglich zu machen. Bei Kabeln mit hohen Betriebsspannungen muss mit einer Reparaturdauer von einer Woche und mehr gerechnet werden. Dabei ist vorausgesetzt, dass Spezialpersonal zum sofortigen Einsatz abgerufen werden kann, denn eine solche Reparatur bedeutet sehr sorgfältige Handarbeit und verlangt besondere Fachkenntnisse. Nasse Witterung und insbesondere Kälte können diese Arbeiten trotz zusätzlichem Einsatz von modernsten Hilfsmitteln ganz erheblich verzögern.

3. Trassewahl

Eine geeignete Trasse ist Vorbedingung für die Betriebssicherheit der Leitung. Während eine Freileitung auf mehr oder weniger kürzestem Weg über Geländeunregelmässigkeiten geführt werden kann, stellen sich einer Kabelleitung vielfach ernsthafte Hindernisse entgegen. So kann die Traversierung von Flüssen erhebliche Schwierigkeiten bereiten. Rutschgebiete sind unter allen Umständen zu vermeiden. Gegen Erschütterungen sind speziell Kabel mit Bleimänteln empfindlich. Bei Höhenunterschieden sind besonders die massegetränkten Höchstspannungskabel durch Abfließen des Öls gefährdet, während bei Ölkabeln spezielle Vorkehrungen getroffen werden müssen, um einen unzulässig hohen Öldruck zu verhindern (Sperrmuffen). Bei Ölkabeln ist ferner auf Grundwasserregionen Rücksicht zu nehmen. Aus all diesen Gründen kann eine Kabelleitung normalerweise nur mit grösseren Umwegen, d. h. mit entsprechender Mehrlänge und den erwähnten betrieblichen Nachteilen, gebaut werden.

Da ein Umlegen eines bereits im Erdboden befindlichen Kabels je nach Bauart grössere Umtriebe und u. U. auch längere Betriebsunterbrüche verursacht, werden Kabeltrassen wenn möglich Wegen und Strassen entlang gewählt. Bei der heutigen Bautätigkeit können aber auch diese Trassen, selbst bei Vorliegen von genehmigten Ausbauplänen, nicht als sicher gelten. Andererseits wird das Einlegen einer Kabelleitung in überbautes Gelände oft durch andere bereits vorhandene Leitungen erschwert. Im Strassenkörper selbst kann ein Kabel nur mit besonderem technischem Aufwand verlegt werden, wobei der Bodenbelastung und dem Verkehr Rechnung getragen werden muss. Unter Umständen kann ein begehbarer Kanal erforderlich werden.

4. Beanspruchung von Grundeigentum

In der Regel dürfen unter Freileitungen keine Wohngebäude erstellt werden. Der mit diesem Servitut allfällig zu belegende Geländestreifen hat bei 220 bis 380 kV eine Breite von ca. 21 bis 30 m. Oft ist er aber für die einzelnen Parzellen schmaler und lässt in vielen Fällen noch eine Überbauung ohne wesentliche Einschränkungen zu. Im offenen Gelände kann es notwendig werden, unter und neben der Freileitung die Aufwuchshöhe der Bäume zu begrenzen.

Kabelleitungen dagegen benötigen in der Regel einen schmälere Geländestreifen, vor allem deshalb, weil der bei Freileitungen verlangte seitliche Sicherheitsabstand von minimal 5 m auf ca. 1 m reduziert werden kann. Die Kabeltrassebreite beträgt aber dennoch einige Meter, da wegen der Wärmeableitung die einzelnen Kabel meist in Abständen bis 0,5 m, in Sonderfällen sogar mehr, verlegt werden müssen. Aus technischen und betrieblichen Gründen muss die Kabeltrasse mit einem durchgehenden Bauverbot und beschränktem Pflanzverbot gesichert werden, letzteres deshalb, um Beschädigungen des Kabels durch das Wurzelwerk zu vermeiden und um bei Störungsbehebungen allfällige Grabarbeiten zu erleichtern. Die Errichtung von Servituten ist meistens nur auf privatem Grundeigentum möglich. Die oft angeregte Benützung von Bahn- und Strassentunnels ist nicht durchführbar, weil in Störungsfällen schwerwiegende Verkehrsbehinderungen entstehen würden.

5. Wirtschaftliche Gesichtspunkte

Die finanziellen Aufwendungen für die Erstellung einer Kabelleitung betragen ein Mehrfaches der Kosten einer Freileitung gleicher Transportfähigkeit. Unter Voraussetzung günstiger Geländeumstände, wie sie den Kostenzusammensetzungen im Anhang zugrunde liegen, kommt eine Kabelleitung für 150 kV mindestens 6,3mal, für 220 kV 7,5mal und für 380 kV 8,2mal teurer zu stehen als eine Freileitung. Falls anstelle des Kabelgrabens ein Kanal erforderlich wird, steigt das Kostenverhältnis für 380 kV auf mehr als das Zehnfache an. Müssen längs der Trasse Höhendifferenzen überwunden oder Bäche oder sogar Flüsse gekreuzt werden, so erhöhen sich diese Verhältniswerte u. U. noch beträchtlich. Letztere berücksichtigen übrigens nur die eigentlichen Leitungskosten und keine Kompensationseinrichtungen noch Mehraufwendungen für Übergangstragwerke Freileitung/Kabel. Den ausserordentlich hohen Kosten der Kabelleitung stehen keine betrieblichen oder wirtschaftliche Vorteile gegenüber.

In wirtschaftlicher Hinsicht sind Kabel deshalb nur in ganz besonderen Fällen, in welchen technisch und betrieblich eine Freileitung nicht möglich ist oder nur mit entsprechend hohen Kosten erstellt werden kann, zu verantworten.

6. Zusammenfassung

Kabel in Höchstspannungsnetzen sind nicht nur betrieblich nachteilig, sondern erfordern gegenüber Freileitungen

einen vielfachen finanziellen Aufwand. Die Verwendung von Kabeln lässt sich deshalb nur in ganz besonderen, technisch begründeten Fällen und auf kurzen Strecken rechtfertigen. Jeder Einsatz von Kabeln anstelle von Freileitungen würde das Bestreben, der Allgemeinheit Energie zu möglichst günstigen Bedingungen betriebssicher abgeben zu können, durchkreuzen und müsste sich schliesslich in einer bedeutenden Erhöhung des Energiepreises auswirken.

Kabelleitungen, approx. Kosten pro Kilometer Preisbasis Herbst 1967

Typ: Doppelsträngige Kabelleitung aus Einleiter-Ölkabeln
Gelände: Ebenes, gut zugängliches Terrain

Tabelle I

Nennspannung	150 kV		220 kV		380 kV	
	Übertragbare Leistung für die doppelsträngige Leitung MVA	200	650	1200	1200	1200
Anzahl der Leitungsstränge	2	2	2	2	2	2
Anzahl Phasen-kabel pro Strang	3×1	3×2	3×2	3×2	3×2	3×2
Totale Anzahl Einleiterkabel	6	12	12	12	12	12
Querschnitt pro Kabel	600 mm ² Cu	300 mm ² Cu	400 mm ² Cu	400 mm ² Cu	500 mm ² Cu	500 mm ² Cu
Verlegeart	Kabelgraben	Kabelgraben	Kabelgraben	Kabelgraben	Kabelkanal	Kabelkanal
Kosten:						
1. Kabel	642 000.—	1 056 000.—	1 920 000.—	1 920 000.—	2 040 000.—	2 040 000.—
2. Kabelzubehör	54 000.—	162 000.—	408 000.—	408 000.—	408 000.—	408 000.—
3a. Kabelgraben	159 000.—	338 000.—	340 000.—	340 000.—		
3b. Kabelkanal					765 000.—	
4a. Kabelschutz, Decksteine	51 000.—	104 400.—	104 400.—	104 400.—		
4b. Kabelpraitschen					210 000.—	
5. Verlegung, Montage der Muffen und Endverschluss, Projektierung	45 000.—	55 000.—	75 000.—	75 000.—	75 000.—	75 000.—
6. Projektierung und Bauleitung 4 %	38 000.—	68 600.—	113 600.—	113 600.—	148 000.—	148 000.—
7. Durchleitungsrechte, Kulturschaden	8 000.—	12 000.—	12 000.—	12 000.—	10 000.—	10 000.—
Total pro km für die doppelsträngige Leitung	997 000.—	1 796 000.—	2 973 000.—	2 973 000.—	3 656 000.—	3 656 000.—

Freileitungen, approx. Kosten pro Kilometer Preisbasis Herbst 1967

Typ: Doppelsträngige Gittermastenleitung 1 Abspann- und 2 Tragmasten
Gelände: Ebenes, gut zugängliches Terrain

Tabelle II

Nennspannung	150 kV		220 kV		380 kV	
	Beseilung: Aldrey	6×1×300 mm ²	6×2×300 mm ²	6×2×300 mm ²	6×2×300 mm ²	6×2×600 mm ²
Übertragungsleistung für die doppelsträngige Leitung	240 MVA	600 MVA	600 MVA	600 MVA	1200 MVA	1200 MVA
Kosten:						
1. Tragwerke und Fundamente	85 000.—	115 000.—	115 000.—	115 000.—	152 000.—	152 000.—
2. Seile	26 900.—	52 400.—	52 400.—	52 400.—	102 900.—	102 900.—
3. Isolation und Armaturen	7 500.—	20 500.—	20 500.—	20 500.—	32 800.—	32 800.—
4. Montage	18 000.—	25 000.—	25 000.—	25 000.—	33 000.—	33 000.—
5. Arbeiten an Fremdobjekten, Anpassungen, Diverses 5 %	6 600.—	11 000.—	11 000.—	11 000.—	16 000.—	16 000.—
6. Projektierung und Bauleitung 6 %	8 200.—	13 600.—	13 600.—	13 600.—	19 000.—	19 000.—
7. Durchleitungsrechte, Kulturschaden	5 400.—	6 500.—	6 500.—	6 500.—	7 300.—	7 300.—
Totale Kosten pro km für die doppelsträngige Leitung	157 600.—	244 000.—	244 000.—	244 000.—	363 000.—	363 000.—

Fig. 3
Vergleich des Raumbedarfes verschiedener Übertragungssysteme

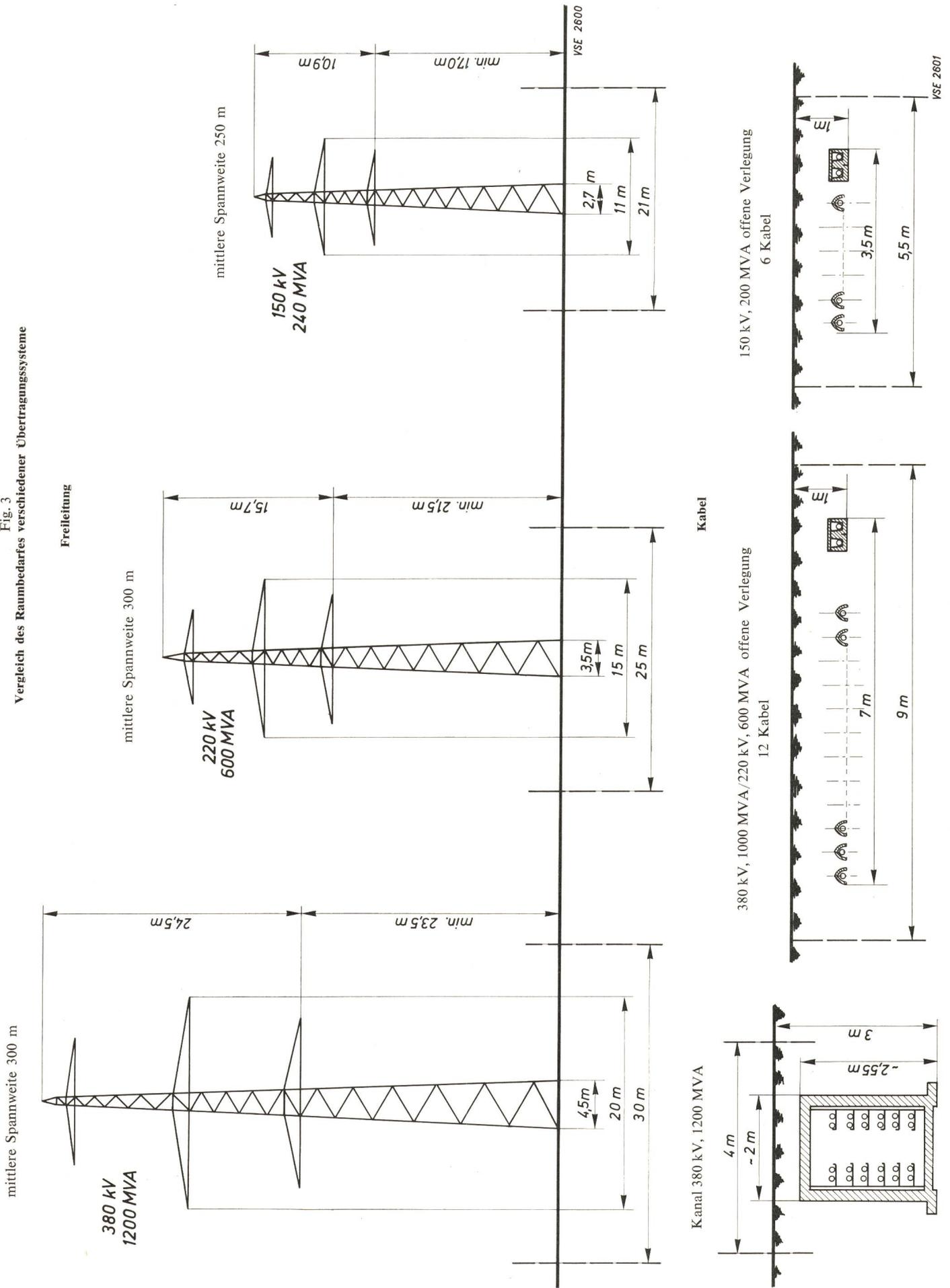


Fig. 4
Dauerbelastbarkeitskurven für 220 kV Freileitungen und Kabel

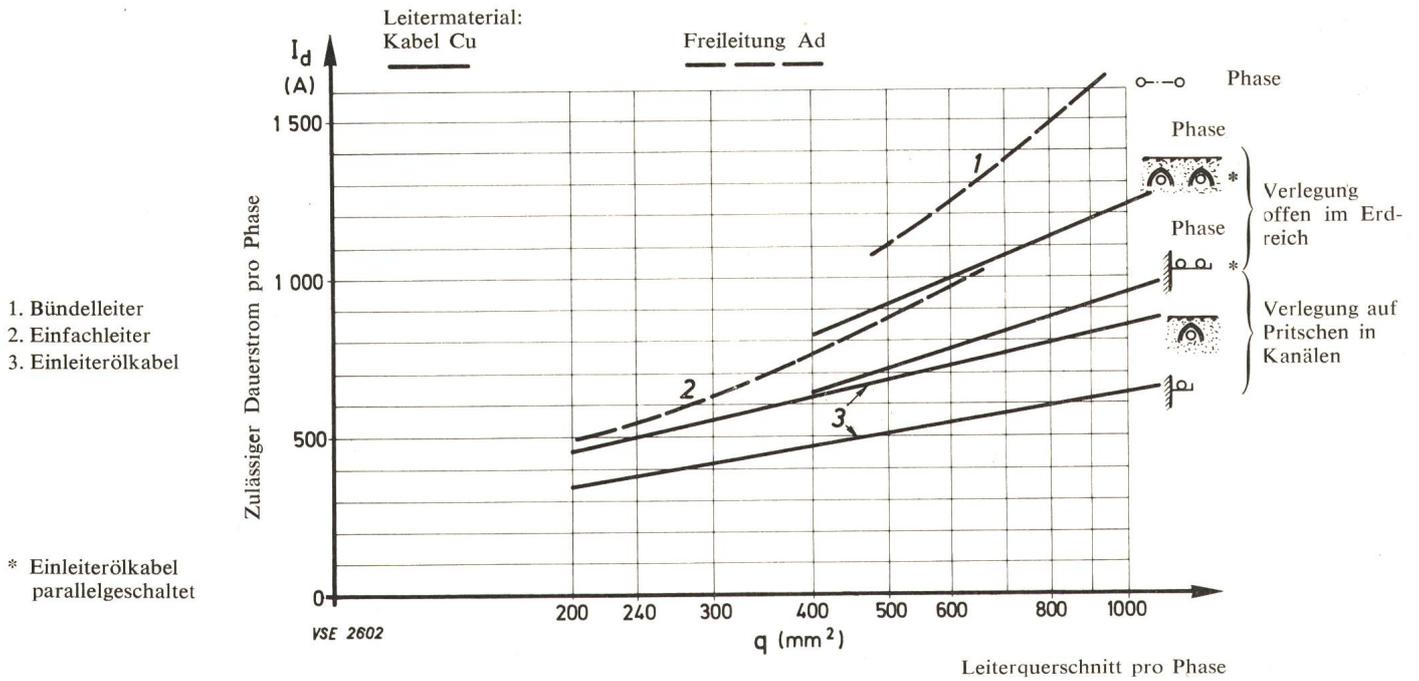
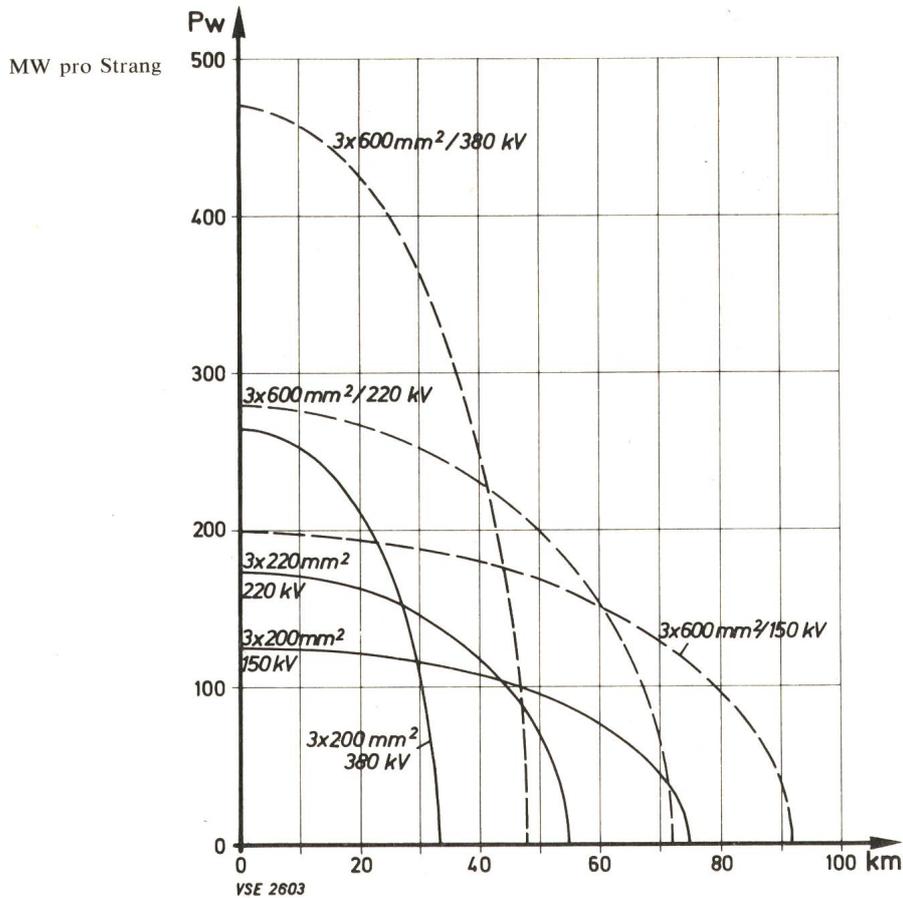


Fig. 5
Kurve der übertragbaren Wirkleistung von Kabeln als Funktion der Übertragungsdistanz
(bei Verzicht auf Kompensations-Drosselspulen)



Bei der maximalen Leitungslänge ist die Blindstromaufnahme des Kabels so gross, dass seine zulässige Belastbarkeit total durch den Blindstrom beansprucht wird, so dass für die Übertragung der Wirkleistung keine Übertragungsfähigkeit verfügbar bleibt.

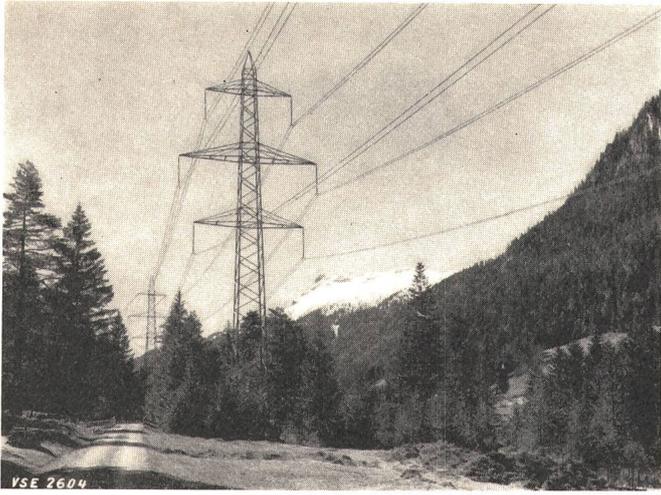


Fig. 6
Doppelsträngige 380 kV-Freileitung

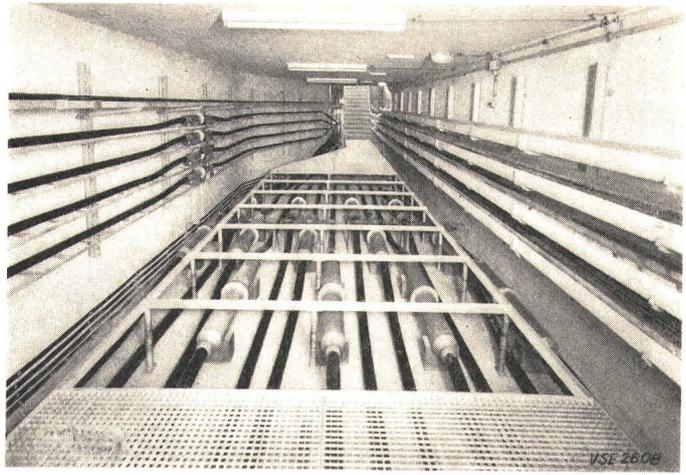


Fig. 9
Beispiel einer Muffenanordnung für 220 kV-Kabel



Fig. 7
Aufbau eines 1-Leiter-Ölkabels
für 220 kV, Aussendurchmesser 85 cm

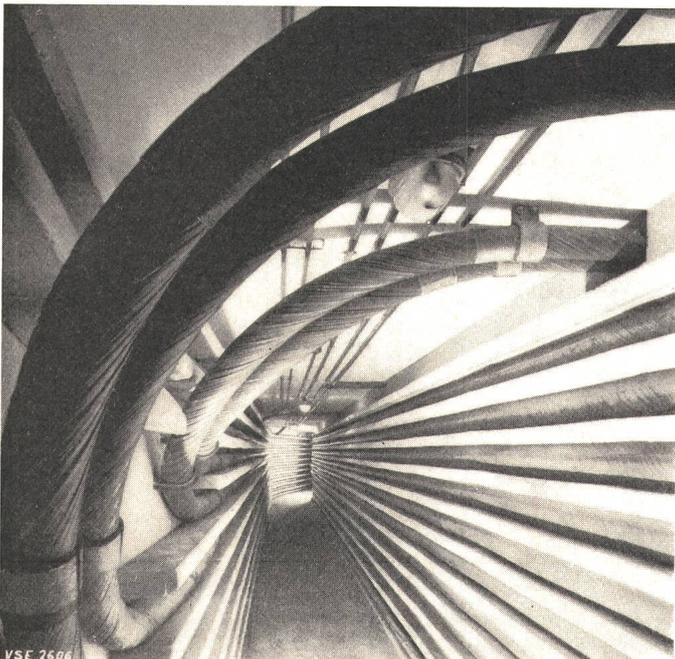


Fig. 8
Kabelanordnung in einem begehbaren Kabelkanal

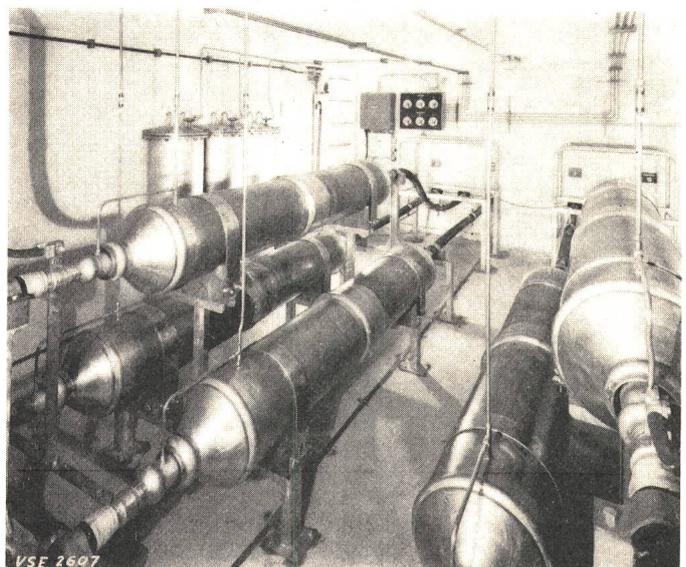


Fig. 10
150 kV-Sperrmuffenschacht mit Überwachungsorganen

Betriebsspannungen bis 100 kV

A. Einführung

Die Verteilung elektrischer Energie kann über Freileitungen oder unterirdische Kabel erfolgen. Die Wahl der besten Lösung hängt hauptsächlich von der Struktur des zu versorgenden Gebietes und der Betriebsspannung ab. Die für die Energieverteilung notwendigen Hochspannungsnetze sind mit wenigen Ausnahmen nur dort verkabelt, wo auf kleinem Raum ein grosser Energiebedarf vorhanden ist. In wenig besiedelten Gebieten und in Gegenden, in denen eine Entwicklung zu erwarten ist, sind aus technischen und aus wirtschaftlichen Gründen Freileitungsnetze unterirdischen Kabelleitungen vorzuziehen.

Die Gründe, die dazu führen, in einem weiten Ausmass Freileitungen für die Energieverteilung zu benützen, seien im nachfolgenden Vergleich näher dargelegt.

B. Vergleich Freileitungen — Kabel für Betriebsspannungen bis 100 kV

1. Technische Fragen

a) Unterschiede im Aufbau

Freileitungen und Kabel sind in ihrem Aufbau und deshalb in ihrem physikalischen und betriebstechnischen Verhalten grundverschiedene Mittel zur Übertragung elektrischer Energie.

Die nackten Stromleiter einer Freileitung hängen mittels Isolatoren, an Masten befestigt, in einem beträchtlichen Abstand über dem Erdboden frei in der Luft, während die Leiter eines Kabels auf ihrer ganzen Länge von einer Isolation und einem Schutzmantel umhüllt sind und in der Erde verlegt werden.

Während bei einer Freileitung die einzelnen Stromleiter eine Montagelänge von 2—3 km haben, können aus fabrikationstechnischen und Transportgründen die Kabel je nach Betriebsspannungen nur in Einzellängen von max. 700 bis 1200 m geliefert werden.

Bei Freileitungen ist die Beherrschung der Betriebsspannungen im wesentlichen eine Frage genügender Abstände der Stromleiter unter sich, gegenüber dem Erdboden und gegenüber den Mastkonstruktionen bzw. genügender Länge der Isolatoren.

Bei Kabeln hingegen wird die notwendige Isolation durch eine dünne Isolationsschicht (z. B. bei 20 kV ca. 7 mm und bei 60 kV ca. 15 mm) gebildet, die den spannungsführenden Leiter allseitig umgibt. Die wichtigsten Isoliermaterialien sind ölgetränktes Papier, neuerdings auch Kunststoff, und für höhere Spannungen unter Gas- oder Öldruck stehendes Papier. Diese Gas- oder Öldruckkabel benötigen wie die Höchstspannungskabel Einrichtungen zum Ausgleich der Druckverhältnisse bei Volumenänderungen, die durch Temperaturschwankungen entstehen.

b) Kabelstrecken im Freileitungsnetz

Die unterschiedlichen Eigenschaften von Kabel- und Freileitungen bringen es mit sich, dass bei Eingliederung von Kabelstrecken im Zuge von Freileitungen die Betriebssicherheit herabgesetzt wird. Die Kabel sind in einer solchen gemischten Bauweise den atmosphärischen Überspannungen in weit höherem Masse ausgesetzt als in reinen Kabelnetzen.

Das Kabel neigt bei steilen Spannungswellen, wie sie bei Blitzschlag auftreten, eher zum Durchschlag als die Freileitungs-Isolation zum Überschlag. Besonders gefährdet sind kurze Kabelstrecken, da an ihnen sehr hohe Spannungsspitzen auftreten können. Wohl können diese durch Überspannungs-Ableiter in einem gewissen Masse vom Kabel ferngehalten werden, doch werden durch die zusätzlichen Einrichtungen auch wieder Störungsquellen geschaffen. Der Übergang von Freileitung auf Kabel kann je nach der Netzstruktur Trenn- oder Schaltmöglichkeiten erfordern, die auch aus ästhetischen Gründen nicht erwünscht sein können. Eine etwas günstigere Situation liegt vor, wenn die Kabelstrecke sich am Ende einer Leitung befindet, d. h. wenn das eine Kabelende an ein Kraftwerk oder eine Trafostation angeschlossen ist.

In jedem Falle aber schränkt die Kabelstrecke die Belastbarkeit der Leitung ein, sofern das Kabel nicht mit entsprechendem Aufwand für die gleiche Belastbarkeit bemessen wird.

2. Verhalten im Betrieb

a) Übertragungsfähigkeit und Strombelastbarkeit

In jedem elektrischen Leiter entstehen beim Stromdurchfluss Energieverluste in Form von Wärme. Die die Kabel umgebende hochwertige elektrische Isolation stellt leider auch eine sehr gute Wärmeisolation dar. Deshalb kann die im Kabel entstehende Wärme nur schlecht an die Umgebung abgegeben werden, so dass bei grossen Belastungen Wärmestauungen im Innern des Kabels entstehen. Je nach Kabelart und Betriebsspannung können aber am stromdurchflossenen Leiter Temperaturen von höchstens 70° bis 80 °C zugelassen werden. Überlastungen mit entsprechend überhöhten Temperaturen führen bei Kabeln rasch zu Beschädigungen der Isolation und damit zur Zerstörung der Kabel. Bei Freileitungen sind hingegen die Temperaturgrenzen nur mit Rücksicht auf die mechanische Festigkeit der Stromleiter gesetzt. Eine Freileitung kann daher für eine gewisse Dauer ohne weitere Nachteile überlastet werden. Die Strombelastbarkeit einer Freileitung ist deshalb auch erheblich grösser als diejenige eines Kabels mit gleichem Querschnitt. Ein Kabelnetz kann eine ähnliche Überlastbarkeit wie ein Freileitungsnetz nur bieten, wenn stark vergrösserte Leiterquerschnitte oder mehrfach parallel geführte Kabel verwendet werden. Bei ungünstigen trockenen Bodenverhältnissen oder bei parallel geführten Kabeln muss ausserdem mit gegenseitiger Wärmebeeinflussung gerechnet werden, die die Belastbarkeit der Kabel noch wesentlich herabsetzt.

b) Spannungsabfall

In Kabelnetzen sind die Spannungsabfälle und somit auch die Spannungsschwankungen wesentlich geringer als in Freileitungsnetzen, da im Kabel vorwiegend der ohmsche Widerstand des Leiters massgebend ist. Bei Freileitungen verursacht die grössere gegenseitige Entfernung der Phasenleiter einen zusätzlichen induktiven Spannungsabfall, was die grösseren Spannungsschwankungen bei Belastung erklärt.

c) Störungen

Die Anlagen müssen selbstverständlich so betriebssicher wie möglich sein. Wenn trotzdem Störungen eintreten, so

soll die Auswirkung gering bleiben und deren Behebung in kürzester Zeit erfolgen können. Der weitaus grösste Teil der Störungen an Leitungen ist auf ein mit Erdschluss oder Kurzschluss bezeichnetes Versagen der Isolation zurückzuführen. Der bis zur Schalterauslösung fließende Kurz- oder u. U. Erdschluss-Strom ist vielfach grösser als der thermisch zulässige Dauerstrom und gefährdet deshalb vor allem die auf Erwärmung empfindlicheren Kabel, während Freileitungen in dieser Hinsicht wesentlich unempfindlicher sind. In manchen Fällen müssen deshalb einzelne Kabelstränge nach Berücksichtigung der Kurzschlußstromverhältnisse bemessen werden. In einem Freileitungsnetz wird der kleinste zulässige Leiterquerschnitt weitgehend durch die Festigkeitsanforderungen bestimmt.

Der im Normalbetrieb vorhandene Vorteil des kleineren Spannungsabfalles des Kabelnetzes wirkt sich im Kurzschlussfalle ungünstig aus. Bei einer Freileitung braucht es nur wenige Kilometer Leitungslänge, um den Kurzschlußstrom auf einen Bruchteil zu reduzieren; bei einer Kabelleitung hingegen tritt die Reduktion auf diesen Bruchteil erst nach einer viel grösseren Leitungslänge auf. Die Kurzschlussbeanspruchung in Kabelnetzen ist also unter sonst gleichen Bedingungen wesentlich grösser als in Freileitungsnetzen; zum mindesten kann sie eine raschere Alterung der betroffenen Kabelstrecke zur Folge haben. Dieser Umstand hat entscheidende Bedeutung bei vermascht betriebenen, mehrfach eingespeisten Verteilnetzen, da der einwandfreien Abschaltung der Kurzschlußströme technisch Grenzen gesetzt sind. Überdies kann ein Versagen der automatischen Ausschaltung des Kurzschlußstromes eine Kabelzerstörung zur Folge haben.

Aussere Störungsursachen bei Freileitungen sind atmosphärische Überspannungen (Gewitter), Sturm, Rauhreif, Schnee, Verschmutzung, Steinschlag, Lawinen, während bei Kabeln vor allem natürliche oder durch Grabarbeiten hervorgerufene Bodenbewegungen, Erschütterungen, Korrosionen und mechanische Verletzungen des Kabelmantels zu Störungen führen können. Entgegen der Erwartung beweist jedoch die Praxis, dass bezüglich Auswirkung der Störungen auf den Betrieb die Freileitungsnetze trotz vielseitiger Störungsmöglichkeit gegenüber Kabelnetzen nicht im Nachteil sind; ungefähr $\frac{2}{3}$ der Störungen sind vorübergehender Natur und werden durch eine automatische Schnellwiedereinschaltung beseitigt. Die bleibenden Störungen sind an Freileitungen ausserdem im allgemeinen leicht erkennbar, und die Auswechslung beschädigter Isolatoren oder Stromleiter kann meist in wenigen Stunden erfolgen. Sogar umfangreiche Störungen können in verhältnismässig kurzer Zeit behoben werden.

Beschädigungen an einer Kabelleitung führen im allgemeinen zu einem wesentlich längeren Betriebsunterbruch, da ihre Behebung mehr Zeitaufwand erfordert als bei einer Freileitung. Die Feststellung des Fehlerortes verlangt den Einsatz besonderer Messgeräte und Einrichtungen und bereitet Schwierigkeiten, wenn es sich um schleichende Kabelfehler handelt. Zudem sind in der Regel Grabarbeiten erforderlich, um die Fehlerstelle zugänglich zu machen, was zu Verkehrsstörungen führen kann. Öfters erfordert die Reparatur den Ersatz einer bestimmten Kabelstrecke. Es muss mit einer Reparaturdauer von 3 Tagen bis zu mehr als einer Woche gerechnet werden. Dabei ist vorausgesetzt, dass Spe-

zialpersonal zum sofortigen Einsatz abgerufen werden kann, denn eine solche Reparatur bedeutet sehr sorgfältige Handarbeit und verlangt besondere Fachkenntnisse. Nasse Witterung und insbesondere Kälte können diese Arbeiten trotz zusätzlichem Einsatz von modernsten Hilfsmitteln ganz erheblich verzögern.

Um entsprechende Stromunterbrüche zu vermeiden, sind Kabelverteilnetze im allgemeinen zu vermaschen; in Einzelfällen wird die Vermaschung durch eine kostspielige Doppelspeisung erreicht.

d) Anpassungsfähigkeit

In einem Verteilnetz ist die Entwicklung des Stromverbrauches ein wichtiges Moment. Auf Freileitungen kann in vielen Fällen eine Erhöhung der Transportleistung ohne Schwierigkeiten durch einen Leiter- oder einen Isolatorenwechsel erreicht werden. Im ersten Fall kann der durchfließende Strom, im zweiten Fall die Betriebsspannung erhöht werden. Ein Kabelnetz muss schon von Anfang an für die viel später auftretenden Belastungen dimensioniert werden. Dadurch sind vorzeitig grössere Investitionen notwendig.

e) Netzkommandoanlagen

Netzkommandoanlagen (Einrichtungen zur zentralen Fernsteuerung von Strassenbeleuchtungen, für Tarifumschaltungen, Sperrungen usw.) arbeiten mit tonfrequenten Spannungsimpulsen, die der Betriebsspannung des Netzes überlagert werden. Bei gegebener Frequenz ist die Reichweite dieser Impulse in Kabelleitungen nur ungefähr halb so gross wie auf Freileitungen. Kabelleitungen beschränken deshalb die Einsatzmöglichkeit von Kommandoanlagen, welche für einen rationellen Einsatz der Energieverteilung notwendig sind.

3. Trassewahl

Eine geeignete Trasse ist Vorbedingung für die Betriebssicherheit der Leitung. Während eine Freileitung auf mehr oder weniger kürzestem Weg über Geländeunregelmässigkeiten geführt werden kann, stellen sich einer Kabelleitung vielfach ernsthafte Hindernisse entgegen. So kann die Traversierung von Flüssen erhebliche Schwierigkeiten bereiten. Rutschgebiete sind unter allen Umständen zu meiden. Gegen Erschütterungen sind speziell Kabel mit Bleimänteln empfindlich. Um bei Höhenunterschieden das Abwandern der Isoliermasse bzw. bei Ölkabeln einen unzulässigen Öldruck zu verhindern, müssen spezielle Vorkehrungen getroffen werden. Aus all diesen Gründen kann eine Kabelleitung normalerweise nur mit grösseren Umwegen, d. h. mit entsprechender Mehrlänge und den erwähnten betrieblichen Nachteilen, gebaut werden.

Da ein Umlegen eines bereits im Erdboden befindlichen Kabels grössere Umtriebe und u. U. auch längere Betriebsunterbrüche verursacht, werden Kabeltrassen wenn möglich Wegen und Strassen entlang gewählt. Bei der heutigen Bautätigkeit können aber auch diese Trassen, selbst bei Vorliegen von genehmigten Ausbauplänen, nicht als sicher gelten. Andererseits wird das Einlegen einer Kabelleitung in überbautes Gelände oft durch andere bereits vorhandene Leitungen erschwert. Im Strassenkörper selbst kann ein Kabel nur mit besonderem technischem Aufwand verlegt werden, wobei der Bodenbelastung und dem Verkehr Rechnung getragen werden muss. In noch wenig erschlossenen Gebieten

müssen deshalb oft provisorische Freileitungen erstellt werden. Verteilnetze, die der Speisung einer Ortschaft dienen, sind mit der lokalen Entwicklung eng verbunden, und Anpassungen können schon durch die fortschrittliche Energieverteilung aufgezwungen werden. Die Nachteile von Kabelleitungen sind in solchen Fällen weniger schwerwiegend zu beurteilen als für eigentliche Übertragungsleitungen.

4. Beanspruchung von Grundeigentum

Der für eine Freileitung erforderliche Geländestreifen hat bei 20 bis 60 kV eine Breite von ca. 11 bis 15 m. Oft ist er aber für die einzelnen Parzellen schmaler und lässt in bestimmten Fällen noch eine Überbauung ohne wesentliche Einschränkung zu. Neben Hochgebäuden, wie in Städten, kann dagegen der Streifen breiter werden. Im offenen Gelände kann es auch notwendig werden, unter und neben der Freileitung die Aufwuchshöhe der Bäume zu begrenzen. Kabelleitungen dagegen benötigen im allgemeinen einen schmälere Geländestreifen, vor allem deshalb, weil der bei Freileitungen in der Regel verlangte seitliche Sicherheitsabstand von Gebäuden von minimal 5 m auf ca. 1 m reduziert werden kann. Die Kabeltrassebreite beträgt aber dennoch mehr als einen Meter, da wegen der Wärmeableitung die einzelnen Kabel distanziert werden müssen. Allgemein wird angestrebt, in den gleichen Graben Hoch- und Niederspannungskabel, Telefonkabel und Wasserleitungen, in der Tiefe abgestuft, zu verlegen. Allfällige Gasleitungen sind wegen der Explosionsgefahr prinzipiell getrennt zu führen.

Im öffentlichen Grund ist die Benützung des Strassenkörpers oder des Gehweges zweckmässig. Die oft angeregte Benützung von Bahn- und Strassentunnels hingegen ist deshalb nicht durchführbar, weil in Störungsfällen schwerwiegende Verkehrsbehinderungen entstehen würden. Aus technischen und betrieblichen Gründen sollte eine Kabeltrasse mit einem beschränkten Pflanzverbot und einem durchgehenden Bauverbot gesichert werden, um Beschädigungen des Kabels durch das Wurzelwerk zu vermeiden und bei Störungsbehebungen allfällige Grabarbeiten zu ermöglichen. Die Errichtung von Servituten ist meistens nur auf privatem Grundeigentum möglich. Auf landwirtschaftlichem Boden kann die Erschwerung der Bewirtschaftung durch die Masten von Freileitungen, dank einer geschickten Wahl der Standorte, auf ein Minimum reduziert werden. Weitspannleitungen sind in dieser Beziehung besonders günstig.

5. Wirtschaftliche Gesichtspunkte

Die finanziellen Aufwendungen für die Erstellung einer Kabelleitung betragen ein Mehrfaches der Kosten einer Freileitung gleicher Übertragungsfähigkeit. Unter Voraussetzung günstiger Geländeverhältnisse, wie sie den Kostenzusammenstellungen im Anhang zugrunde liegen, kommt eine Kabelleitung für 20 kV 2,6 bis 3mal und für 60 kV ca. 4mal teurer zu stehen als eine Freileitung. Müssen längs der Trasse Höhendifferenzen überwunden oder Bäche oder sogar Flüsse gekreuzt werden, so erhöhen sich diese Verhältnisse u. U. noch beträchtlich. Letztere berücksichtigen übrigens nur die eigentlichen Leitungskosten und keine Mehraufwendungen für Übergangseinrichtungen Freileitung/Kabel.

Den hohen Kosten der Kabelleitung stehen keine entscheidenden Vorteile, dagegen bedeutende Nachteile, gegenüber. In wirtschaftlicher Hinsicht ist die Erstellung einer Kabelleitung nur in bestimmten Fällen gerechtfertigt. Kabel können z. B. in Gebieten verantwortet werden, in denen dank einer starken Netzausnützung die Mehrkosten auf viele grosse Stromabnehmer verteilt werden.

6. Zusammenfassung

Grundsätzlich muss zwischen der Ortsverteilung und den übergeordneten Übertragungsleitungen bei längeren Strecken unterschieden werden. Eine Ortsverteilung ist mit dem durchquerten Gebiet eng verbunden, und der Linienführung sind gewisse Grenzen gesetzt. In solchen Fällen ist oftmals eine Verkabelung notwendig.

Die Ortsverteilung ist nach der Siedlungsdichte zu richten. Eine geschickte Ortsplanung erlaubt eine günstige und möglichst sichere Gestaltung des Verteilernetzes. Die Koordination der Wasser-, Fernmelde- und Energieleitungen erleichtern eine Verkabelung.

Andererseits sorgt eine richtige Regionalplanung für die koordinierte Freihaltung der nötigen Überlandleitungstrassen ohne Zwang einer technisch, betrieblich und wirtschaftlich ungünstigen Verkabelung.

Der technisch oder wirtschaftlich nicht gerechtfertigte Einsatz von Kabeln anstelle von Freileitungen erschwert das Bestreben, der Allgemeinheit Energie zu möglichst günstigen Bedingungen abzugeben, und wirkt sich schliesslich in einer Erhöhung des Energiepreises aus.

Typ: Einsträngige Leitung auf Holzstangen, max. Spannweite 50 m, 25 Stangen und 4 Streben
Gelände: Ebenes, gut zugängliches Terrain

Tabelle I

Nennspannung	20 kV			60 kV	
	3 × 20 mm ² Cu (5 mm ϕ)	3 × 50 mm ² Cu (8 mm ϕ)	3 × 95 mm ² Cu	3 × 70 mm ² Cu	3 × 300 mm ² Aldrey
Beseilung, Querschnitt					
Betriebsspannung	17 kV	17 kV	17 kV	60 kV	60 kV
Übertragungsleistung (Stromstärke nach Empfehlung des SEV)	3,5 MVA	6,3 MVA	10 MVA	29 MVA	64 MVA
Kosten:					
1. Tragwerke und Verkeil-Steine	4 100.—	4 100.—	4 500.—	4 800.—	4 800.—
2. Seile (Cu: 6.20 Fr./kg, Al: 4.50 Fr./kg) oder Draht Cu: 6.— Fr./kg)	3 250.—	8 500.—	16 300.—	12 500.—	11 700.—
3. Isolation und Isolatorenstützen	2 450.—	2 450.—	3 000.—	8 000.—	10 000.—
4. Montage und Transporte	5 500.—	5 500.—	7 000.—	7 000.—	8 000.—
5. Arbeiten an Fremdoobjekten Anpassungen, Diverses 5 %	700.—	1 000.—	1 500.—	1 600.—	1 700.—
6. Projektierung und Bauleitung 6 %	900.—	1 200.—	1 800.—	1 900.—	2 000.—
7. Durchleitungsrechte, Kulturschaden	4 000.—	4 000.—	4 000.—	4 500.—	4 500.—
Totale Kosten pro km	20 900.—	26 750.—	38 100.—	40 300.—	42 700.—

Weitspannleitungen, approx. Kosten pro Kilometer

Preisbasis 1968

Typ: Betonmastenleitung, 2 Abspann- und 6 Tragmasten (Spannweite 125 m)
Gelände: Ebenes, gut zugängliches Terrain

Tabelle II

Nennspannung	einsträngig 20 kV			zweisträngig 60 kV	
	3 × 1 × 50 mm ² Aldrey	3 × 1 × 70 mm ² Aldrey	3 × 1 × 150 mm ² Aldrey	6 × 1 × 70 mm ² Kupfer + 1 × 40 mm ² Stahl	6 × 1 × 300 mm ² Aldrey + 1 × 40 mm ² Stahl
Beseilung, Querschnitt					
Betriebsspannung	17 kV	17 kV	17 kV	60 kV	60 kV
Übertragungsleistung (Stromstärke nach Empfehlung des SEV)	5,5 MVA	7 MVA	11,6 MVA	58 MVA	128 MVA
Kosten:					
1. Tragwerke und Fundamente	16 200.—	16 200.—	16 200.—	38 000.—	40 000.—
2. Seile (Cu: 6.20 Fr./kg, Al: 4.50 Fr./kg) oder Draht	2 000.—	2 800.—	6 000.—	25 000.—	25 000.—
3. Isolation und Armaturen	1 000.—	1 100.—	1 200.—	7 000.—	8 500.—
4. Montage	3 000.—	3 000.—	3 900.—	19 000.—	19 000.—
5. Arbeiten an Fremdoobjekten Anpassungen, Diverses 5 %	1 100.—	1 200.—	1 300.—	4 500.—	4 600.—
6. Projektierung und Bauleitung 6 %	1 300.—	1 400.—	1 600.—	5 300.—	5 500.—
7. Durchleitungsrechte, Kulturschaden	3 000.—	3 000.—	3 000.—	5 000.—	5 000.—
Totale Kosten pro km	27 600.—	28 700.—	33 200.—	103 800.—	107 600.—

Kabelleitung, approx. Kosten pro Kilometer

Preisbasis 1968

Gelände: Ebenes, gut zugängliches Terrain

Tabelle III

Nennspannung	einsträngig 20 kV		einsträngig 60 kV	zweisträngig 60 kV
	PPb-T 1 × (3 × 70) mm ² Cu	PPb-T 3 × (1 × 150) mm ² Cu	PbOf-TF 1 × (3 × 120) mm ² Cu	PPbOf-TF 2 × (3 × 240) mm ² Cu
Kabeltyp und Querschnitt				
Betriebsspannung	17 kV	17 kV	60 kV	60 kV
Übertragungsleistung	5 MVA	10 MVA	25 MVA	90 MVA
Kabel	36 500.—	61 000.—	87 200.—	296 000.—
Kabelzubehör: Endverschlüsse Verbindung Manometer Ausgleichsgefäß usw.	2 500.—	3 000.—	9 000.—	22 000.—
Kabelgraben	15 000.—	15 000.—	30 000.—	45 000.—
Kabelschutz inkl. Einbau	11 000.—	11 000.—	8 000.—	15 000.—
Kabelverlegung und Transport	2 000.—	6 000.—	15 000.—	25 000.—
Projektierung und Bauleitung	3 000.—	4 000.—	10 000.—	20 000.—
Durchleitungsrechte	2 500.—	2 500.—	6 000.—	8 000.—
Totale Kosten pro km	72 500.—	102 500.—	165 200.—	431 000.—

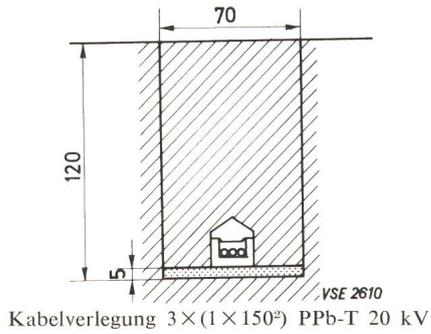
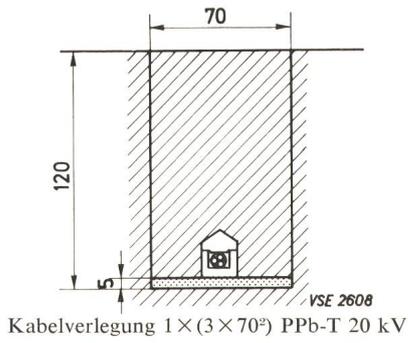


Fig. 4
Kabelverlegungsarten

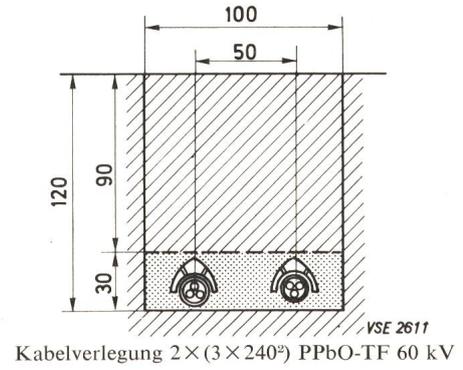
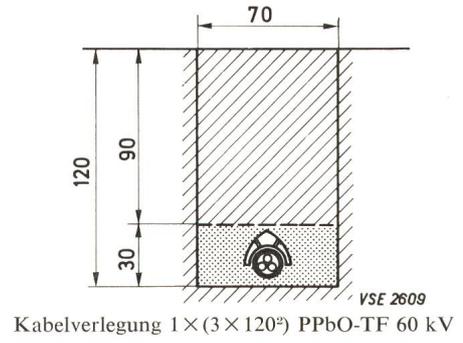
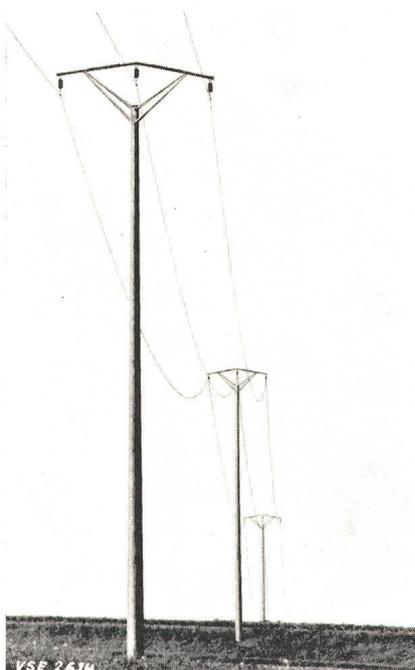
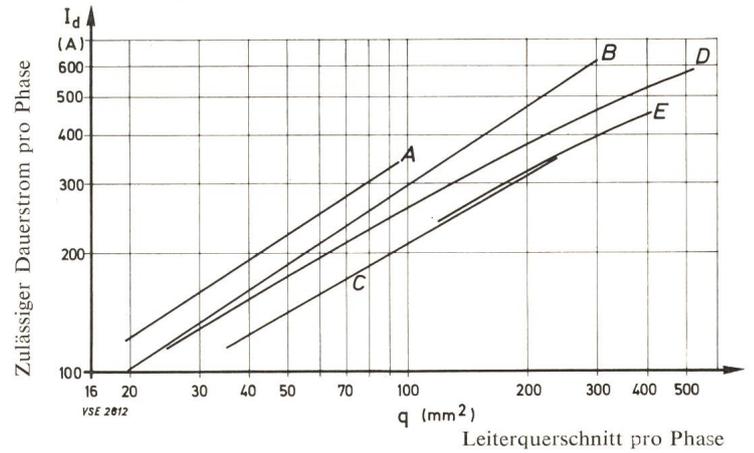


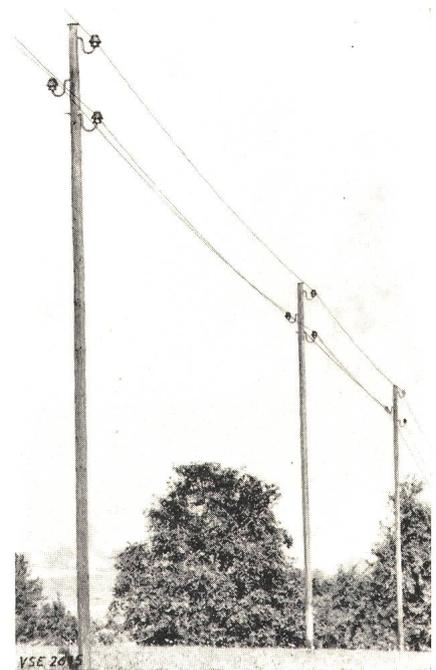
Fig. 5
Dauerbelastbarkeit von Kabeln

- Leitermaterial:
- A Freileitung Cu 20-60 kV
 - B Freileitung Al 20-60 kV
 - C Kabel 20 kV, 3-pol., in Kanälen mit Deckplatten, im Erdboden in 70 cm Tiefe
 - D Kabel 20 kV, 1-pol., idem
 - E Kabel 60 kV, 1-pol., idem

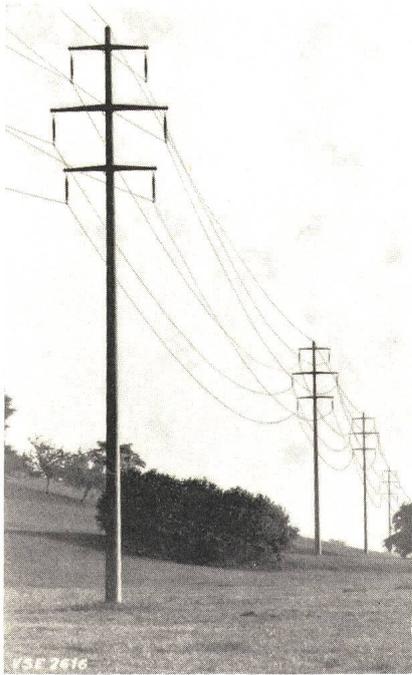


20 kV-Weitspannleitung
1-strängig; auf Betonmasten

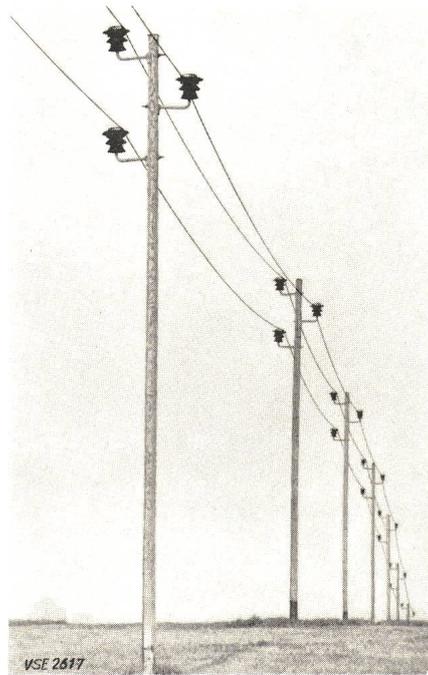
Fig. 6
16 kV-Freileitungen



20 kV-Regelleitung (max. Spannweite 50 m)
1-strängig; auf Holzstangen

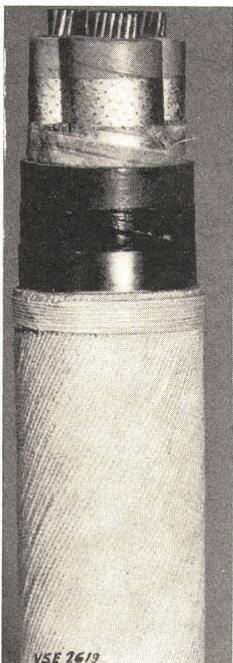


60 kV-Weitspannleitung
(Spannweiten 120...150 m)
2-strängig und Erdseil; auf Betonmasten

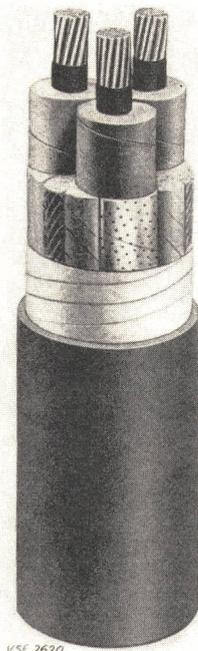


60 kV-Regelleitung
(max. Spannweite 50 m)
1-strängig; auf Holzmasten

Fig. 7
60 kV-Freileitungen



Sektorkabel PPbi



Bleikabel PPb



Polyäthylenkabel TT

Fig. 8
Kabelaufbau verschiedener Kabeltypen

Wirtschaftliche Mitteilungen

Erzeugung und Abgabe elektrischer Energie durch die schweizerischen Elektrizitätswerke der Allgemeinversorgung

Mitgeteilt vom Eidgenössischen Amt für Energiewirtschaft und vom Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Die Statistik umfasst die Erzeugung der Elektrizitätswerke für Stromabgabe an Dritte. Nicht inbegriffen ist also die Erzeugung der bahn- und industrieeigenen Kraftwerke für den eigenen Bedarf.

Monat	Energieerzeugung und Bezug											Speicherung				Energieausfuhr	
	Hydraulische Erzeugung		Thermische Erzeugung		Bezug aus Bahn- und Industrie-Kraftwerken		Energie-einfuhr		Total Erzeugung und Bezug		Veränderung gegen Vorjahr	Energieinhalt der Speicher am Monatsende		Änderung im Berichtsmonat - Entnahme + Auffüllung			
	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70		1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70
	in Millionen kWh											%	in Millionen kWh				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Oktober	1912	1524	101	313	26	6	314	791	2353	2634	+ 11,9	5832	5800	- 333	-480	392	517
November	1889	1683	168	286	42	5	356	653	2455	2627	+ 7,0	5473	5048	- 359	-752	419	490
Dezember	1854	1714	192	425	43	17	498	747	2587	2903	+12,2	4488	4067	- 985	-981	466	573
Januar	1884	1692	209	472	28	16	535	775	2656	2955	+11,3	3323	3090	-1165	-977	516	668
Februar	1818	1783	173	377	18	16	491	543	2500	2719	+ 8,8	2153	2212	-1170	-878	503	611
März	2046	1905	108	490	35	8	380	462	2569	2865	+11,5	959	1218	-1194	-994	463	621
April	1682	1979	17	323	17	17	560	259	2276	2578	+13,3	507	650	- 452	-568	335	378
Mai	2319		3		102		113		2537			1567		+1060		597	
Juni	2474		1		80		91		2646			2807		+1240		677	
Juli	2715		6		100		88		2909			4675		+1868		874	
August	2278		34		100		249		2661			5967		+1292		653	
September	1770		127		56		427		2380			6280 ⁴⁾		+ 313		416	
Jahr	24641		1139		647		4102		30529							6311	
Okt. ...März . . .	11403	10301	951	2363	192	68	2574	3971	15120	16703	+10,5			-5206	-5062	2759	3480

Monat	Verteilung der Inlandabgabe											Inlandabgabe inklusive Verluste					
	Haushalt, Gewerbe und Landwirtschaft		Allgemeine Industrie		Elektrochemie -metallurgie und -thermie		Elektrokessel ¹⁾		Bahnen		Verlust und Verbrauch der Speicherpumpen ²⁾		ohne Elektrokessel und Speicherpump.		Veränderung gegen Vorjahr ³⁾ %	mit Elektrokessel und Speicherpump.	
	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70		1968/69	1969/70
	in Millionen kWh																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Oktober	951	1017	427	470	271	293	3	2	118	128	191	207	1948	2100	+ 7,8	1961	2117
November	1005	1052	424	448	282	295	3	1	115	136	207	205	2015	2126	+ 5,5	2036	2137
Dezember	1059	1177	419	449	300	324	1	2	131	144	211	234	2117	2317	+ 9,4	2121	2330
Januar	1075	1162	430	449	288	323	1	1	132	138	214	214	2135	2281	+ 6,8	2140	2287
Februar	987	1040	411	438	280	299	2	1	119	130	198	200	1993	2104	+ 5,6	1997	2108
März	1043	1103	433	449	312	341	2	2	118	136	198	213	2100	2237	+ 6,5	2106	2244
April	932	1039	399	454	318	357	3	2	108	129	181 (10)	219 (27)	1928	2171	+12,6	1941	2200
Mai	910		392		271		7		103		257		1865			1940	
Juni	892		409		269		18		103		278		1862			1969	
Juli	875		391		251		27		143		348		1857			2035	
August	901		375		254		16		135		327		1851			2008	
September	924		435		272		6		113		214		1914			1964	
Jahr	11554		4945		3368		89		1438		2824 (544)		23585			24218	
Okt. ...März . . .	6120	6551	2544	2703	1733	1875	12	9	733	812	1219 (41)	1273 (49)	12308	13165	+ 7,0	12361	13223

1) Mit einer Anschlussleistung von 250 kW und mehr und mit brennstoffgefeuerter Ersatzanlage.

2) Die in Klammern gesetzten Zahlen geben den Verbrauch für den Antrieb von Speicherpumpen an.

3) Kolonne 15 gegenüber Kolonne 14.

4) Speichervermögen Ende September 1969: 7200 Millionen kWh.

Gesamte Erzeugung und Verwendung elektrischer Energie in der Schweiz

Mitgeteilt vom Eidgenössischen Amt für Energiewirtschaft

Die nachstehenden Angaben beziehen sich sowohl auf die Erzeugung der Elektrizitätswerke der Allgemeinversorgung wie der bahn- und industrieeigenen Kraftwerke.

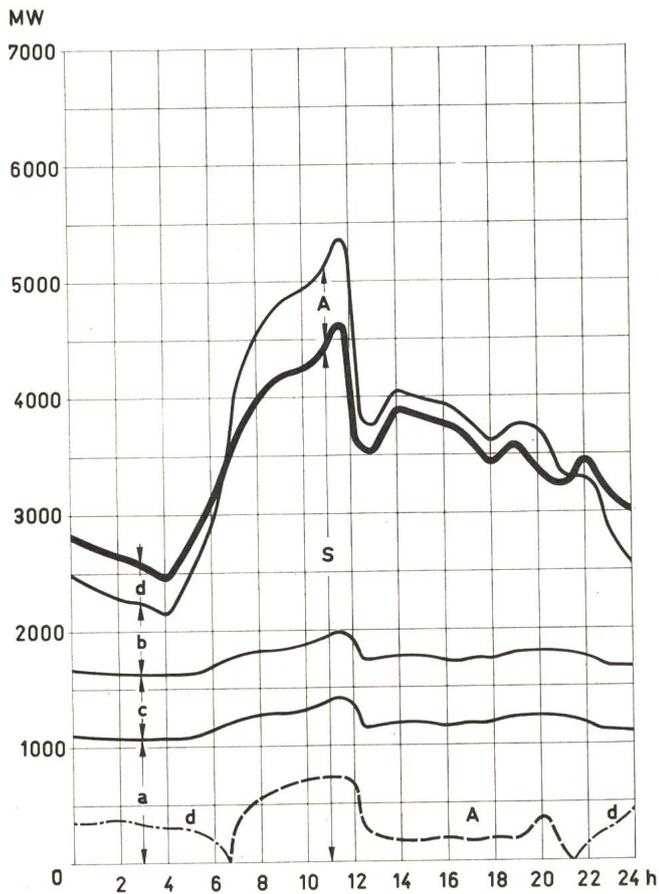
Monat	Energieerzeugung und Einfuhr									Speicherung				Energieausfuhr		Gesamter Landesverbrauch	
	Hydraulische Erzeugung		Thermische Erzeugung		Energie-einfuhr		Total Erzeugung und Einfuhr		Veränderung gegen Vorjahr	Energieinhalt der Speicher am Monatsende		Änderung im Berichtsmonat - Entnahme + Auffüllung					
	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70		%	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69
	in Millionen kWh									in Millionen kWh							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Oktober	2186	1775	136	349	314	794	2636	2918	+10,7	6214	6150	- 346	- 499	474	612	2162	2306
November	2133	1874	207	325	356	658	2696	2857	+ 6,0	5827	5365	- 387	- 785	487	561	2209	2296
Dezember	2048	1900	229	461	498	752	2775	3113	+12,2	4788	4320	-1039	-1045	515	638	2260	2475
Januar	2064	1866	247	510	535	781	2846	3157	+10,9	3564	3275	-1224	-1045	566	730	2280	2427
Februar	1983	1950	207	412	494	550	2684	2912	+ 8,5	2328	2338	-1236	- 937	550	657	2134	2255
März	2244	2078	144	526	384	467	2772	3071	+10,8	1061	1279	-1267	-1059	521	676	2251	2395
April	1903	2183	49	360	564	263	2516	2806	+11,5	560	677	- 501	- 602	424	455	2092	2351
Mai	2732		32		115		2879			1678		+1118		710		2169	
Juni	2893		24		94		3011			2996		+1318		788		2223	
Juli	3156		30		88		3274			4987		+1991		992		2282	
August	2686		59		251		2996			6334		+1347		770		2226	
September	2117		157		432		2706			6649 ²⁾		+ 315		524		2182	
Jahr	28145		1521		4125		33791							7321		26470	
Okt. März . . .	12658	11443	1170	2583	2581	4002	16409	18028	+ 9,9			-5499	-5370	3113	3874	13296	14154

Monat	Verteilung des gesamten Landesverbrauches														Landesverbrauch ohne Elektrokessel und Speicherpumpen		Veränderung gegen Vorjahr
	Haushalt, Gewerbe und Landwirtschaft		Allgemeine Industrie		Elektrochemie, -metallurgie und -thermie		Elektrokessel ¹⁾		Bahnen		Verluste		Verbrauch der Speicherpumpen				
	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	1968/69	1969/70	%
	in Millionen kWh																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Oktober	969	1038	469	504	349	365	4	3	149	161	210	219	12	16	2146	2287	+ 6,6
November	1025	1072	464	486	332	344	3	1	152	160	214	222	19	11	2187	2284	+ 4,4
Dezember	1077	1199	452	484	317	339	2	3	172	185	236	254	4	11	2254	2461	+ 9,2
Januar	1097	1185	467	485	304	333	2	2	167	179	238	238	5	5	2273	2420	+ 6,5
Februar	1009	1062	444	475	296	319	2	2	157	170	223	224	3	3	2129	2250	+ 5,7
März	1065	1128	470	486	323	359	2	4	166	179	220	234	5	5	2244	2386	+ 6,3
April	951	1059	437	495	338	380	4	3	154	167	198	219	10	28	2078	2320	+11,6
Mai	927		432		359		14		149		219		69		2086		
Juni	908		447		367		34		156		219		92		2097		
Juli	893		427		371		40		168		227		156		2086		
August	918		408		358		23		162		213		144		2059		
September	935		472		366		8		158		198		45		2129		
Jahr	11774		5389		4080		138		1910		2615		564		25768		
Okt. März . . .	6242	6684	2766	2920	1921	2059	15	15	963	1034	1341	1391	48	51	13233	14088	+ 6,5

¹⁾ Mit einer Anschlussleistung von 250 kW und mehr und mit brennstoffgefeuerter Ersatzanlage.

²⁾ Speichervermögen Ende September 1969: 7590 Millionen kWh.

Gesamte Erzeugung und Verwendung elektrischer Energie in der Schweiz



1. Verfügbare Leistung, Mittwoch, den 15. April 1970

Laufwerke auf Grund der Zuflüsse, Tagesmittel	. 1190
Saisonspeicherwerke, 95 % der Ausbauleistung	. 6270
Thermische Werke, installierte Leistung	. 920
Einfuhrüberschuss zur Zeit der Höchstleistung	. —
Total verfügbar	. 8380

2. Aufgetretene Höchstleistungen, Mittwoch, den 15. April 1970

Gesamtverbrauch	. 5350
Landesverbrauch	. 4620
Ausfuhrüberschuss	. 730

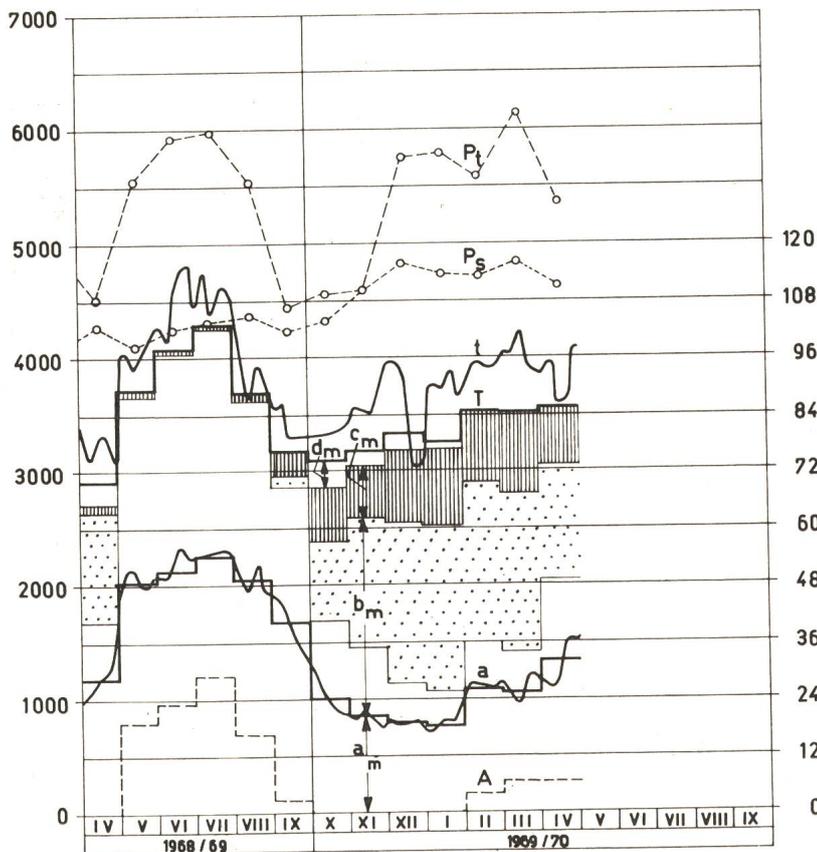
3. Belastungsdiagramm, Mittwoch, den 15. April 1970

(siehe nebenstehende Figur)

- a Laufwerke (inkl. Werke mit Tages- und Wochenspeicher)
- b Saisonspeicherwerke
- c Thermische Werke
- d Einfuhrüberschuss
- S + A Gesamtbelastung
- S Landesverbrauch
- A Ausfuhrüberschuss

4. Energieerzeugung und -verwendung

	Mittwoch 15. April	Samstag 18. April	Sonntag 19. April
	GWh (Millionen kWh)		
Laufwerke	28,6	36,5	37,5
Saisonspeicherwerke	44,0	28,3	14,3
Thermische Werke	13,5	3,9	3,7
Einfuhrüberschuss	—	—	—
Gesamtabgabe	86,1	68,7	55,5
Landesverbrauch	83,3	67,5	54,9
Ausfuhrüberschuss	2,8	1,2	0,6



1. Erzeugung an Mittwochen

- a Laufwerke
- t Gesamterzeugung und Einfuhrüberschuss

2. Mittlere tägliche Erzeugung in den einzelnen Monaten

- a_m Laufwerke
- b_m Speicherwerke, wovon punktiertes Teil aus Saisonspeicherwasser
- c_m Thermische Erzeugung
- d_m Einfuhrüberschuss

3. Mittlerer täglicher Verbrauch in den einzelnen Monaten

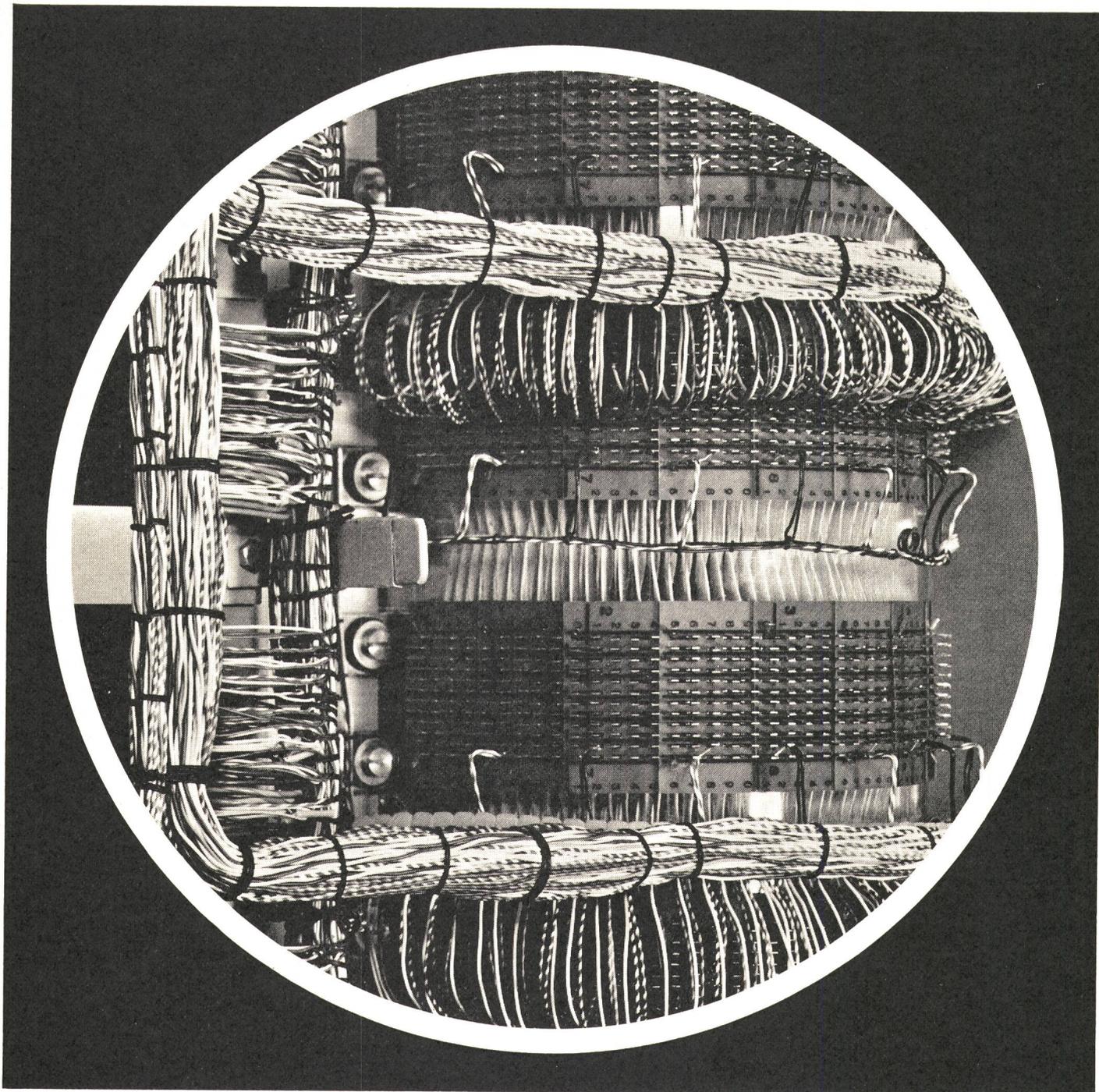
- T Gesamtverbrauch
- A Ausfuhrüberschuss
- T-A Landesverbrauch

4. Höchstleistungen am dritten Mittwoch jedes Monats

- P_s Landesverbrauch
- P_t Gesamtbelastung

Redaktion der «Seiten des VSE»: Sekretariat des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke, Bahnhofplatz 3, Zürich 1; Postadresse: Postfach 8023 Zürich; Telefon (051) 27 51 91; Postcheckkonto 80-4355; Telegrammadresse: Electrunion Zürich.
Redaktor: Dr. E. Bucher.

Sonderabdrucke dieser Seiten können beim Sekretariat des VSE einzeln und im Abonnement bezogen werden.



Ordnung durch Farbe!

Dätwyler bietet Ihnen das umfassende Sortiment von Drähten und Kabeln für Telefonie und Elektronik. Durch die vielfältigen Farben der Kunststoffisolationen schaffen die Leiter Ordnung im Drähtegewirr von Telefonzentralen und komplizierten elektronischen Apparaten! Dätwyler-Drähte und -Kabel werden mit großer Sorgfalt hergestellt und während der Fabrikation ständig von elektronischen Prüfgeräten überwacht. Deshalb garantieren sie einen zuverlässigen und störungsfreien Betrieb. Die gebräuchlichen Ausführungen sind selbstverständlich jederzeit ab Lager lieferbar. Wir fabrizieren: Montierungsdrähte M 49 und M 62, Verteilerdraht V 48, Telefoninstallationsdraht J 51, Telefoninstallationskabel G 51, Zentralenkabel Z 49 und Z 62, Einführungskabel Typ F und L, Linienwählerkabel, Meß- und Einführungskabel, Fernmelde- und Signalkabel, abgepaßte Mikrotelefon- und Anschlußschnüre. Verlangen Sie unseren ausführlichen Prospekt:

**Drähte und Kabel
für Telefonie und Elektronik** *Dätwyler*

Dätwyler AG, Schweizerische Kabel-, Gummi- und Kunststoffwerke, 6460 Altdorf-Uri

Was ist SIMATIC NB?

Ein System elektronischer Bausteine zum Aufbau logischer Steuerungen. Ein neues Schaltkreissystem, das Sie kennenlernen sollten. Es lohnt sich.

Denn SIMATIC NB ist nicht nur besonders wirtschaftlich, sondern auch sehr robust: unempfindlich gegen Erschütterungen, gegen aggressive Atmosphäre und gegen Staub.

Sie möchten SIMATIC NB kennenlernen.

Schneiden Sie einfach den Gutschein aus und schicken Sie ihn an: Siemens AG, 8021 Zürich, Postfach, Informationsabteilung. Die Unterlagen gehen dann sofort an Sie ab.

Sie wollen an unserem SIMATIC Seminar (1 Tag in Zürich) teilnehmen:

Bitte nur ankreuzen.

Wir werden Sie dann rechtzeitig über die Einzelheiten informieren.

Bitte senden Sie mir Informationsmaterial über SIMATIC NB.

Ihr SIMATIC Seminar interessiert mich. Teilen Sie mir bitte Einzelheiten mit.

Name _____

Firma _____

Adresse _____

SEV

Bitte ausschneiden und abschicken, Information kommt sofort von Siemens