

# TECHNISCHE ANFORDERUNGEN AN BAU UND UNTERHALT BEI FREILEITUNGEN

Helmut Flach

In dem Programm der Akademie wird das Thema meines Vortrages "Technische Anforderungen an Bau und Unterhalt bei Freileitungen" genannt.

Nachdem aber heute beim Thema Freileitungen sofort auch die Verkabelung angesprochen wird, habe ich die grundsätzlichen physikalischen Unterschiede der Kabel zu den Freileitungen in meinen Vortrag aufgenommen.

Ich bitte Sie, diese kleine Eigenmächtigkeit zu entschuldigen, aber meiner Meinung nach sind diese Unterschiede von größter Bedeutung für das Verständnis eines Außenstehenden.

## I. Netzstrukturen im Stadt- und Überlandgebiet

Zuerst ein paar allgemeine Erklärungen:

Die Netzstrukturen im Bereich der Energieversorgung ähneln dem Ausbau des Straßennetzes:

<u>Straßennetz</u>	<u>Stromverteilungsnetz</u>
Autobahn/Bundesstraßen	400/220-kV-Leitungen
Staatsstraßen	110-kV-Leitungen
Kreisstraßen/Ortsverbindungsstraßen	20-kV-Leitungen
Ortsstraßen	Niederspannungsleitungen

Den Verbindungspunkten bei den Straßen - Auf- und Abfahrten von einer Straße zur anderen - entsprechen in der Energieversorgung die Umspannwerke; sie bilden die Verknüpfungspunkte der verschiedenen Spannungsebenen. Entsprechend dem Verkehrsaufkommen ist die Straßendichte einer Großstadt viel größer als auf dem freien Land. Analog dazu ist der Ausbau der Stromverteilungsanlagen im Bereich der Großstadt wesentlich enger als auf dem Lande, weil der Bedarf an elektrischer Energie auch wesentlich größer ist.

Großstädtische Versorgungsgebiete sind durch eine große Bevölkerungsdichte, eine sehr dichte Bebauungsstruktur und durch hohe Flächenbelastungen gekennzeichnet. Entsprechend der Nutzung von Stadtgebieten bewegen sich die Flächenbelastungen zwischen ca. 30 MW/km<sup>2</sup> und darüber in Kernzonen und wenigen MW/km<sup>2</sup> in Stadtteilen mit aufgelockerter Bebauung. Demgegenüber sind ländliche Gebiete durch Belastungsdichten gekennzeichnet, die noch unter 50 kW/km<sup>2</sup> liegen können, also einen Belastungsunterschied der 3 Zehnerpotenzen umfaßt (das ist das Tausendfache).

Dieser großen Flächenbelastung, den teuren Grundstückskosten und den knappen Platzverhältnissen in der Großstadt muß sich auch die Stromversorgung anpassen und ihre Netze entsprechend aufbauen. Aus diesen Gründen ergibt sich zwangsläufig ein anderes Netzkonzept als im Bereich der Überlandversorgung. In den knappen zur Verfügung stehenden Räumen in der Großstadt können keine Freileitungen zwischen den Häusern erstellt werden.

Einen Ausweg aus diesem Dilemma bietet die Kabeltechnik.

Die benötigte elektrische Energie im Gebiet einer Großstadt wird von den Kraftwerken über die Energieautobahnen - 400/220-kV-Freileitungen zu Umspannwerken am Rand der Großstadt transportiert, auf die 110 kV-Ebene heruntertransformiert und über 110-kV-Kabel in die Belastungsschwerpunkte transportiert. Hier erfolgt eine erneute Umspannung auf meistens 10 kV. Mit dieser Spannungsebene werden wieder über Kabel die Großabnehmer und die Wohngebiete mit den 10 kV/400 V-Transformatorstationen versorgt.

Es ist deshalb die Frage naheliegend, ob diese Übertragungstechnik nicht auch im weiteren Bereich der Überlandversorgung Anwendung finden könnte, zumal sich ja die Energieversorgungsunternehmen bemühen, jeden versorgungswirtschaftlich notwendigen Eingriff in die Natur so gering wie möglich zu halten. Oft wird in diesem Zusammenhang der Vorwurf laut, die Energieversorgungsunternehmen seien nur aus Kostengründen nicht zur Verkabelung im Überlandgebiet bereit. Sicher zählen auch Kosten zu den Argumenten, mit denen Stromversorgungsunternehmen diesen Standpunkt rechtfertigen, zumal diese Kosten vom Verbraucher zu tragen sind.

Vor allem sprechen jedoch versorgungswirtschaftliche und technische Argumente gegen 110 kV-Verkabelungen im Überlandgebiet. Es fehlen oft wesentliche Voraussetzungen, ohne die 110-kV-Kabel nicht ausreichend betriebssicher eingesetzt werden können.

Die Netzvermaschung ist in diesem Zusammenhang eine der wichtigsten Beurteilungskriterien; sie ist in den 110-kV-Stadtnetzen wesentlich dichter als in den 110-kV-Überlandnetzen. Nach Angaben des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Verkehr hatte die Stadt München 1980 ein Versorgungsgebiet von rd. 380 km<sup>2</sup>. Es wurde über ein 110-kV-Kabelnetz von rd. 200 km Länge versorgt.

#### Bild 1\*: Netzstruktur im Stadt- und Landbereich

Um beim Raum Oberbayern zu bleiben, möchte ich hier die Zahlen der Isar-Amperwerke nennen, die 1980 einen Raum von rd. 13 000 km<sup>2</sup> mit einem 110-kV-Leitungsnetz von etwa 1 500 m Länge versorgten. Die auf die Flächeneinheit bezogene Leitungslänge des Stadtnetzes ist damit 5mal größer als die des 110-kV-Überlandnetzes.

Ähnliche Relationen ergeben sich auch bei einem Vergleich anderer 110-kV-Stadt- und Überlandnetze. Weiterhin ist die Zahl von Umspannwerken in Stadtversorgungsnetzen erheblich größer. Als Richtwert kann man angeben, daß in Stadtnetzen etwa auf 6 km 110-kV-Leitungslänge ein 110-kV-Umspannwerk entfällt im Überlandbereich sind es dagegen rd. 23 km Leitungslänge.

110-kV-Stadtnetze bestehen also aus vielen kleineren Kabel-Teillängen, die mit einer größeren Anzahl von Umspannwerken verknüpft sind. Hier läßt sich aber bei Ausfall einzelner Kabelstrecken viel einfacher gegenseitige Reserve durch Umschaltungen schaffen, als in vergleichsweise weiträumigen Überlandgebieten mit wesentlich geringerer Netzdichte. Die bereits öfter erwähnte enge Netzvermaschung ist somit ein wesentlicher Grund für die auch in den Stadtnetzen vorhandene Versorgungssicherheit, trotz der bestehenden technischen Probleme.

Neben diesen technischen Inponderabilien muß bei diesem Problem der Verkabelung von Freileitungen auf dem flachen Lande auch die wirtschaftliche Seite betrachtet werden.

---

\* Bilder siehe Anhang (Seite 91-97)

Aus einer Studie, die das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr im Jahre 1981 für den Bayerischen Landtag erarbeitete, geht hervor, daß eine Verkabelung des bestehenden bayerischen Überland-Freileitungsnetzes (Stand 1979) rund

55 Milliarden DM

kosten würde. Umgerechnet auf Jahreskosten und auf eine kWh bezogen, ergibt dies eine erhebliche Mehrbelastung von ca. 100 %. Der Arbeitspreis einer kWh betrug im Jahre 1979 in Bayern etwa 14 Pfg.; d.h. der Strompreis würde sich bei einer Gesamtverkabelung mehr als verdoppeln. Ich möchte Sie bitten zu bedenken, daß wir heute ein Industrieland und auf unseren Export angewiesen sind; wir müssen nicht nur die Rohstoffe zu Weltmarktpreisen kaufen, wir zahlen auch die höchsten Löhne und haben damit sehr hohe Produktionskosten.

Ich darf die ketzerische Frage an Sie stellen: Wie wollen wir auf dem Weltmarkt konkurrenzfähig bleiben, wenn neben höchsten Lohnkosten auch noch unsere Strompreise enorm über das internationale Strompreinsniveau angehoben werden?

Je Arbeitsstunde beträgt heute der durchschnittliche Energieverbrauch ca. 14 kWh. Der Energieverbrauch ist damit bei den Produktionskosten ein wesentlicher Faktor. Auf jeden einzelnen von uns würde deshalb ein höherer Strompreis nicht nur mit der Stromabrechnung zukommen, sondern mit jedem Produkt, dessen Herstellung mit dem Einsatz elektrischer Energie verknüpft ist.

## **2. Anforderungen an Freileitungsgestänge und technische Lösungen**

Bevor wir uns mit den Anforderungen an Freileitungsgestänge und deren Lösungen befassen, ein paar allgemeine Bemerkungen.

Die elektrische Energie ist leitungsgebunden und muß im Moment des Bedarfs im Kraftwerk erzeugt werden; sie kann nicht im wirtschaftlichen Umfang gespeichert werden.

Da die Standorte der Kraftwerke meistens nicht in den Verbraucherschwerpunkten liegen, muß die dort erzeugte elektrische Energie über Leitungen an die Abnehmer herantransportiert werden. Diese Übertragungsanlagen müssen so beschaffen sein, daß sie gleichzeitig eine preiswerte, sichere und unterbrechungsfreie Versorgung der Stromabnehmer gewährleisten.

Wie sieht nun der Weg vom Kraftwerk zum Abnehmer aus?

Über Höchstspannungsleitungen (220 u. 380 kV) wird die elektrische Energie zu den Netzscherpunkten = Umspannwerken transportiert. Von hier geht es über Hochspannungsleitungen zu den regionalen Umspannwerken und dann weiter über das Mittelspannungsnetz zu den einzelnen Dörfern und größeren Abnehmern. Von den örtlichen Trafostationen werden dann mit Niederspannung die Endverbraucher versorgt. Diese einzelnen Transportstufen und Spannungsebenen sind notwendig, um auf den manchmal sehr langen Transportwegen die auftretenden Verluste durch Erwärmung und Spannungsabfall möglichst klein zu halten und vernünftige Seilquerschnitte zu erhalten.

Bei den Freileitungen unterscheiden wir wie bereits erwähnt:

Höchstspannungsleitungen	380 und 220 kV
Hochspannungsleitungen	110 kV
Mittelspannungsleitungen	10/20 kV
Niederspannungsleitungen	220/380 V.

**Bild 2:** Masten verschiedener Spannungsebenen

Hauptbestandteile dieser Leitungen sind:

1. Masten
2. Leiterseile
3. Isolatoren, Verbindungs- und Lichtbogenschutzarmaturen.

Masten bestehen aus verschiedenen Werkstoffen. Hauptsächlich in der Nieder- und Mittelspannung werden Holz-, Beton- und Stahlmasten, im Hoch- und Höchstspannungsbereich überwiegend Stahlgittermasten verwendet.

**Bild 3:** Mastkopfbilder

Es gibt verschiedene Bauformen der Masten, sog. Mastbilder, die sich im Laufe der Zeit entwickelt haben:

Einebene - Mastbild  
Donau - Mastbild  
Tonnen - Mastbild.

Die Masten müssen alle auftretenden vertikalen Lasten (Gewicht der Leiterseile und zusätzliche Lasten aus Aneisung) und horizontalen Lasten (Windbelastung und Seilzugkräfte) aufnehmen können und in die Fundamente ableiten.

**Bild 4:** Trag- und Abspannmasten

Bei den Masten unterscheidet man die zwei Hauptformen:

Der Tragmast übernimmt vertikale und horizontale Wind-Belastungen. Er ist für jeden von uns durch die vertikal angeordneten Isolatoren erkennbar.

Der Abspannmast übernimmt ebenfalls vertikale und horizontale Belastungen aus Wind und Seilzugkräften. Außerdem muß er die Winkelzüge in den Eckpunkten mit Richtungsänderung aufnehmen. Er ist an den horizontal angeordneten Isolatoren erkennbar.

**Bild 5, 6, 7:** Alu-Stahl-Seil, Verbinder, Klemme

Leiterseile bestehen heute überwiegend aus den Werkstoffen Aluminium und Stahl. Dabei werden die guten Leitereigenschaften des Aluminiums und die hohen Festigkeiten der Stahldrähte ausgenutzt. Um einen störungsfreien Betrieb gewährleisten zu können, müssen physikalisch bedingte Abstände zwischen den einzelnen Leiterseilen am Mast eingehalten werden. Die Leiterseile sollten sich auch bei den kritischsten Belastungsverhältnissen nicht zu stark annähern, um Überschlüge zu vermeiden.

**Bild 8, 9:** Kunststoffisolatoren, Hängekette im Versuch

Isolatoren bestehen aus Porzellan, Glas oder Kunststoff und sind das Isoliermittel zum Mast bzw. Erde. Als billiges und zuverlässiges Isoliermittel zwischen den Leitern fungiert die Luft. Als Isolator ist in Deutschland zum größten Teil der Porzellanlangstabisolator üblich, Kunststoffisolatoren kamen bisher nur in Einzelfällen zum Einsatz. Daneben sind auch im Mittelspannungsbereich Glasisolatoren im Einsatz. Um Lichtbogeneinwirkungen auf die Isolatoren zu vermeiden, werden Schutzarmaturen eingebaut.

Durch eine sinnvolle Wahl des Mastbildes, des Mastanstrichs und der Leitungstrasse läßt sich bei Masten bis zur Hochspannungsebene eine geringfügige Beeinflussung der Landschaft erreichen. Ausschlaggebend ist dabei die Masthöhe, die eine Funktion des Mastabstandes ist. Das heißt, bei großen Mastabständen ergeben sich große Seildurchhänge und als Folge größere Masthöhen, wobei die Masthöhen etwa mit dem Quadrat der Mastabstände ansteigen.

#### Bild 10: Horizontale und vertikale Bündelung

Von Raumplanern und Naturschützern wird immer wieder eine Bündelung der Leitungstrassen verlangt, die dann zu den sogenannten Mehrfachgestängen führt. Das heißt, man versucht 4 oder 6 Leitungssysteme auf einem Gestänge unterzubringen und damit eine neue Leitungstrasse zu sparen. Diese Variante führt zu sehr hohen und damit zu weit sichtbaren Masten.

Durch eine Bündelung entstehen betriebliche und versorgungstechnische Schwierigkeiten. Zur Durchführung von Wartungs- und Reparaturarbeiten müssen zum Schutz des arbeitenden Personals die benachbarten Systeme abgeschaltet werden. Dabei entstehen sehr problematische Engpässe in der Stromversorgung, die sich sehr rasch zu Stromausfällen auswirken können. Besonders kritisch wird die Situation bei Mastumbrüchen durch Naturkatastrophen oder Sabotageakte.

### **3. Kabeltechnik und ihre Einsatzmöglichkeit in verschiedenen Spannungsebenen**

#### Bild 11: Isolierung und Wärme bei Freileitung und Kabel

Zum Unterschied gegenüber dem blanken Leiter bei der Freileitung, wo die Luft die Isolierung übernimmt, ist beim Kabel der mit Isolierstoff umhüllte metallische Leiter das wesentliche Kennzeichen.

Die physikalischen Verhältnisse sind beim Aufbau des Kabels wesentlich komplizierter als bei der Freileitung. Der mit Isolierstoff umhüllte Leiter kann die beim Stromfluß entstehende Wärme sehr viel schlechter an die Umgebung abgeben als der blanke Leiter, da die Isolierstoffe meist schlechte Wärmeleiter sind. Überschreitet die Kabeltemperatur 70° C, so beginnt ein verstärkter Alterungsprozeß – wird es wegen der Stromwärmeverluste zu warm, kommt es irgendwann zum Durchschlag der Isolationsstrecke und damit zum Schaden und zur Unterbrechung des Stromtransportes. Der Schaden muß durch eine Beseitigung der Durchschlagstelle behoben werden, gleichzeitig erleidet auch die gesamte Kabelstrecke einen latenten Dauerschaden, der zum vorzeitigen Ausfall führt. Kabel dürfen deshalb nur sehr begrenzt überlastet werden; eine starke Beeinträchtigung für den Netzbetrieb in Ausnahmesituationen.

Kabel bestehen aus den Leitern, der Isolierung und den Mänteln bzw. Schirmen. Als Leiterwerkstoff wird Kupfer oder Aluminium verwendet, als Leiterformen werden mehrdrähtige Rund- oder Sektorleiter verwendet. Man unterscheidet aufgrund des Isoliermediums verschiedene Kabelbauarten: die papierisolierten Kabel, die gasisolierten Kabel, die kunststoffisolierten Kabel.

#### Bild 12, 13, 14, 15: Niedersp.-, Mittelsp.-, Öldruck- und PE-Kabel

Die älteste Bauart, das papierisolierte Massekabel, das zum ersten Mal um 1890 in England gebaut wurde, wird heute im allgemeinen bis zu einer Mittelspannung von 30 kV eingesetzt. Der Leiter wird durch eine

ölgetränkte, geschichtete Papierisolierung umwickelt. Bei diesem Kabel können sich durch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten des Leiters, der Isolierung und des Mantels Hohlräume bilden. Es würden bei höheren Spannungen Glimmerscheinungen entstehen, die die Isolierung beschädigen. Zur Vermeidung dieser Hohlräume beim papierisolierten Kabel wurden die Druckkabel entwickelt.

Die wichtigsten und gebräuchlichsten Kabel:

Beim Ölkabel wird das Dielektrikum Papier mit dünnflüssigem Öl imprägniert, welches im Kabel unter Druck steht. Bei Höhenunterschieden in der Kabeltrasse besteht jedoch die Gefahr der Ölabwanderung zu den tiefsten Stellen; deshalb müssen Sperrmuffen eingebaut werden.

Das Gasaußendruckkabel ist ein in ein Stahlrohr eingezogenes ölimprägniertes Massekabel, das unter einem äußeren Gasdruck steht. Durch das Stahlrohr ist ein guter Schutz gegen Beschädigungen vorhanden.

Das Gasinnendruckkabel unterscheidet sich vom Ölkabel darin, daß zur Vermeidung von Lufträumen im Papierdielektrikum Stickstoff statt Öl verwendet wird. Bei Abfall des Gasdruckes ist nur ein kurzzeitiger Betrieb von maximal einer Stunde möglich.

Bei den kunststoffisolierten Kabeln hat sich Polyethylen PE und vernetztes Polyethylen VPE durchgesetzt. Der Vorteil der Kunststoffkabel liegt im geringeren Blindleistungsbedarf und die maximal zulässige Leitertemperatur beträgt 90° C, damit ist eine höhere Strombelastbarkeit und größere Übertragungsfähigkeit möglich.

Um beim Kabel höhere Übertragungsleistungen zu erreichen, die bei der Freileitung durch große Leiterquerschnitte möglich sind, muß man beim Kabel neben entsprechenden Leiterquerschnitten zusätzlich die künstliche Kühlung anwenden. Die Kühlung kann an der Kabeloberfläche als Außenkühlung oder im Innern des Leiters erfolgen.

Im Nieder- und Mittelspannungsbereich ist heute bei entsprechender Vermaschung des Netzes die Verkabelung kein besonders technisches, sondern eher ein wirtschaftliches Problem. Die Kostenrelation Freileitung/Kabel liegt im Verhältnis von 1 : 2 bei günstigen Verhältnissen und bewegt sich bis 1 : 4 beim Zusammentreffen mehrerer ungünstiger Umstände gegen das Kabel. Wie die Leitungsstatistik zeigt, ist in den letzten Jahren das Kabel im Aufwärtstrend, während die Freileitung stagniert bzw. sogar abnimmt.

Bild 16: Stromkreislängen des Freileitungs- und Kabelnetzes der JAW

Im Hochspannungsbereich kommt das Kabel in stark vermaschten Stadtnetzen zum Einsatz, wo es keine andere Versorgungsmöglichkeit gibt. Das Kostenverhältnis Freileitung zu Kabel beträgt 1 : 5 bis 1 : 8. Nachteilig für das Kabel ist infolge der großen Kapazität der hohe Ladestrom, der ca. 25 – 40mal höher als bei der Freileitung ist. So erreicht z.B. bei einem unbelasteten 110-kV-Kabel der Strom am Kabelanfang bereits bei einer Kabellänge von 70 km den Wert des thermisch zulässigen Stromes, so daß damit keine Energie mehr übertragen werden kann. Bei einer 110-kV-Freileitung wäre dies erst nach ca. 3 400 km der Fall. Dazu kommt noch, daß bei 110-kV-Netzen, die mit Erdschlußlöschung durch Petersen-Spulen betrieben werden, der Erdschlußstrom mit den verlegten Kabellängen sehr steil ansteigt.

Im Höchstspannungsbereich, 220 und 380 kV, wurden bisher nur Niederdruckölkabel im Kraftwerksbereich eingesetzt. Eine Versuchsstrecke wird

derzeit im Stadtbereich von Berlin getestet. Von einem zuverlässig sicheren Betrieb kann daher nicht gesprochen werden. Bei Störungen muß mit dem Austritt von erheblichen Ölmengen gerechnet werden.

Abschließend kann man sagen, daß man in der Freileitung und im Kabel keine sich ausschließenden Gegensätze sehen sollte, sondern sich ergänzende Techniken, wobei jedes spezielle Übertragungsproblem gesondert betrachtet werden muß. Hierbei sind neben den technischen Gesichtspunkten natürlich auch andere Argumente, wie Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Betriebsweise des Netzes, maßgebend.

#### **4. Betrieb, Wartung und Störungsbehebung in Freileitungs- und Kabelnetzen**

Der Betrieb von Freileitungen ist verhältnismäßig problemlos, dagegen von Kabelnetzen weitaus schwieriger. Eine Reihe zusätzlicher Einrichtungen sind erforderlich und bringen zusätzliche Störungsmöglichkeiten.

Die Freileitung ist im Gegensatz zum Kabel ein sehr wartungsfreundliches Stromtransportmittel. Durch regelmäßige Sichtkontrollen können Veränderungen, bzw. Schäden festgestellt werden, bevor sie eine Störung auslösen. Bei den Sichtkontrollen, die durch Begehen oder mit dem Hubschrauber erfolgen, ist besonders darauf zu achten, daß

- a) die Leiterseile und Isolatoren nicht beschädigt sind (z.B. durch Beschuß können Adern des Leiterseils oder der Porzellankörper des Isolators beschädigt sein);
- b) der vorhandene Bewuchs unter und seitlich der Leitung einen genügenden Abstand zu den Leiterseilen hat, um Überschläge zu vermeiden, die Personen gefährden und zu Waldbränden führen können;
- c) bei Bauvorhaben im Leitungsschutzbereich genügende Abstände zwischen Baukränen und Leiterseilen eingehalten werden;
- d) am Mast keine Beschädigungen festzustellen sind (z.B. verbogene Diagonalen durch Anfahren mit dem Schlepper, Betonmast auf Risse kontrollieren, Holzmast auf Faulstellen prüfen);
- e) der Schutzanstrich der Mastteile in Ordnung ist, um eine Schwächung der Mastteile durch Abrosten zu verhindern;
- f) in der Nähe der Maste keine Abgrabungen ausgeführt werden, die die Standsicherheit der Maste gefährden.

Die festgestellten Mängel werden dann kurzfristig, nach Rücksprache mit der Netzleitstelle und Freischaltung der Leitung, beseitigt, bevor ein größerer Schaden entstehen kann.

Im Falle einer Störung, deren Ursache nicht bekannt ist, kann durch Sichtkontrollen, z.B. vom Auto aus, die Fehlerstelle, z.B. ein Seilriß, ein gebrochener Isolator oder ein umgebrochener Mast, sehr schnell gefunden werden. Das bei den Versorgungsunternehmen rasch verfügbare Personal für die Schadensbehebung und die einfache Ersatzteilhaltung bieten die Gewähr für eine kurzfristige Durchführung der Reparatur.

Beim Kabel ist die Überwachung und Wartung wesentlich umfangreicher. Durch Sichtkontrollen im Trassenverlauf des Kabels können Aufgrabungen, Senkungen, Überbauungen und unzulässiger Bewuchs festgestellt werden.

Öl- und Gasdruckkabel benötigen bauartbedingt eine Drucküberwachung des Isoliermediums. Für diese Überwachung müssen Nachrichtenwege für die Fernübertragung von Störmeldungen zu einer dauernd besetzten Stelle geschaffen werden.

Beim Einsatz von Kabeln ist somit zumindest ab der 110-kV-Spannungsebene, verglichen mit der Freileitung, mit erheblich größerem Überwachungsaufwand im Betrieb zu rechnen.

#### Bild 17, 18: 110-kV-Kabel-Fehler

Das Auffinden von Fehlerstellen gestaltet sich bei Kabeln erheblich schwieriger und aufwendiger als bei Freileitungen. Zu ihrer Ortung sind zuerst einmal umfangreiche Prüf- und Meßeinrichtungen notwendig, die von Spezialisten mit großer Erfahrung bedient werden müssen. Um einen Fehler zu orten, ist es oft notwendig, die Fehlerstelle "einzubrennen" und damit die Auswirkungen des Fehlers noch zu vergrößern. Erst nach dem Lokalisieren des Fehlers kann mit den Ausgrabungsarbeiten begonnen werden. Diese sind bei Straßenkreuzungen und Unterdückungen besonders schwierig und zeitraubend. Im Winter werden diese Arbeiten durch Frost und Schnee zusätzlich beeinträchtigt und verzögert. Ersatzkabel müssen bei Temperaturen unter + 5° C zuerst angewärmt werden, bevor sie eingelegt werden können.

#### Bild 19, 20: Aufwand bei Muffenmontage

Für die Reparatur von Nieder- und Mittelspannungskabel hat jedes EVU entsprechende Spezialmonteure und Kabelgarnituren zur Verfügung, was bei Hochspannungskabeln ab 110 kV nicht mehr der Fall ist. Die Verfügbarkeit der benötigten Spezialmonteure, die vom Lieferanten des gestörten Kabels kommen müssen, ist sehr beschränkt, außerdem kann nur der frühere Kabellieferant die benötigten Reparaturteile bereitstellen, weil diese Kabel von der Bauart her nicht genormt sind.

Aus diesen Gründen dauern Kabelreparaturen schon in der Mittelspannungsebene mehrere Tage, in der 110-kV-Hochspannungsebene mindestens eine Woche, in komplizierten Fällen u.U. erheblich länger. Eine 110-kV-Kabelreparatur im Stadtgebiet Augsburg nur Endverschlüsse - dauerte 4 Tage; im Stadtgebiet Ingolstadt 21 Tage und eine Kabelreparatur bei der Einführung ins Umspannwerk Erding 106 Tage.

In der 380-kV-Spannungsebene ist mit Reparaturzeiten von einem Monat und länger zu rechnen. Wegen dieser langen Reparaturzeiten ist auch in einem mitgeführten zweiten Stromkreis ein weiterer, gleichzeitig auftretender Kabelschaden nicht mehr auszuschließen, was bei Stichanschlüssen zu Versorgungsstörungen größeren Umfangs mit erheblichen wirtschaftlichen Folgen führen kann.

Während die Nichtverfügbarkeit von Freileitungen, das ist das Produkt der durchschnittlichen Schadenshäufigkeit und der durchschnittlichen Reparaturdauer, in allen Spannungsebenen relativ gering ist, steigt sie bei Kabelleitungen entsprechend der Betriebsspannung an. In den verschiedenen Statistiken ergibt sich eine Nichtverfügbarkeit im Verhältnis zur Freileitung bei der

Mittelspannung	5	1
Hochspannung	10	1
Höchstspannung	100	1.

Das bedeutet, daß das Versorgungsrisiko bei Verkabelungen nur bei engvermaschten Netzen in den Verdichtungsräumen vertretbar ist.



Im Überlandnetz könnten längerfristige Stromausfälle bei Verkabelungen nur dann vermieden werden, wenn eine ähnliche Netzstruktur wie in den Verdichtungsräumen wirtschaftlich möglich wäre.

## 5. Problematik der Teilverkabelung

Im Laufe einer Leitungsplanung wird von verschiedenen Seiten gefordert, Teile einer Freileitungsstrecke zu verkabeln, wenn die Leitung auf bestimmten Trassenabschnitten als besonders störend empfunden wird. Dies hat jedoch zur Folge, daß sich die Nachteile beider Betriebsmittel addieren.

Ein Kabelstück innerhalb einer Freileitungsstrecke ist ein Schwachpunkt und setzt die Betriebssicherheit der ganzen Verbindung herab, da es zu den genannten Nachteilen auch noch den atmosphärischen Überspannungswellen (z.B. Blitzeinwirkungen), die über die Freileitung einlaufen können, ausgesetzt wird. Überspannungen werden an diesen Übergangsstellen Freileitung/Kabel wegen deren unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften (Wellenwiderstand) - besonders hoch und gefährden die Kabelstrecke sowie deren Armaturen. Auch zusätzliche Überspannungsableiter gewährleisten die erforderliche Betriebssicherheit nicht immer. Durch eine Teilverkabelung gehen wichtige Vorteile der Freileitungsstrecke verloren.

### Bild 21: Übergangsstelle Freileitung-Kabel

Bei einer Kabelstörung kommt es zu dem reparaturbedingt längeren Ausfall der gesamten Leitungsstrecke, wobei in so einem Fall die Ausfallwahrscheinlichkeit besonders hoch ist.

Die Übertragungsfähigkeit der gesamten Strecke wird durch das Kabelstück eingeschränkt, denn die Belastbarkeit und die Überlastbarkeit von Kabeln ist geringer als bei Freileitungen.

Besonders gefährdet sind Teilverkabelungen von Leitungen auf einer baulich noch nicht berührten Trasse. Bei Teilverkabelungen im Hochspannungsnetz ist ein weiterer Nachteil der hohe Grundstücksbedarf von ca. 500 - 1 000 m<sup>2</sup> für die Übergangsstelle Freileitung/Kabel zur Unterbringung der notwendigen Hilfseinrichtungen. Dazu gehört der Überspannungsschutz, die Überwachung des Öl- oder Gasdrucks und die Übertragung dieser Kriterien an eine besetzte Stelle, Ankopplungseinrichtungen für die Betriebstelefone und dergleichen mehr. Diese Einrichtungen erschweren den Netzbetrieb und beeinträchtigen die Betriebssicherheit.

Außerdem wird meistens dabei verkannt, daß diese Übergangsstelle Freileitung/Kabel mit ihren zusätzlichen Hilfseinrichtungen viel auffälliger als ein Leitungsmast ist. Dieser Punkt ist besonders zutreffend, wenn der letzte Abschnitt vor einem Umspannwerk verkabelt werden soll.

Aus diesen Aussagen folgt, daß Teilverkabelungen aus Gründen der Stromversorgungssicherheit vermieden werden sollten und daß sie um so störungsanfälliger sind, je höher die Spannungsebene ist.

Diese Darstellung von Schwierigkeiten bei Teilverkabelungen sollten Sie nicht als grundsätzliche Ablehnung betrachten, sondern als Hinweise, welche Gefahren für die Versorgungssicherheit sich hinter solchen, für den Laien scheinbar problemlosen, Lösungen für eine sichere und zuverlässige Stromversorgung verstecken.

## **6. Schlußbetrachtung**

Ich hoffe, daß ich mit meinen Ausführungen dazu beitragen konnte, die Realitäten und Probleme im Bereich der Stromversorgungsunternehmen für Sie etwas verständlicher und durchsichtiger zu machen. Außerdem möchte ich Ihnen versichern, daß wir die Stromversorgung nicht nur von der technischen Seite her sehen, sondern durchaus auch Verständnis für Ihre Belange zum Schutz unserer gemeinsamen Umwelt haben. Wir haben den guten Willen, mit Ihnen zusammenzuarbeiten und die auftretenden Probleme sowohl technisch als auch naturschonend zu lösen.

### Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing. Helmut Flach  
Lech-Elektrizitätswerke  
8900 Augsburg

## Hochspannungsversorgung im Stadt- und Überlandbereich

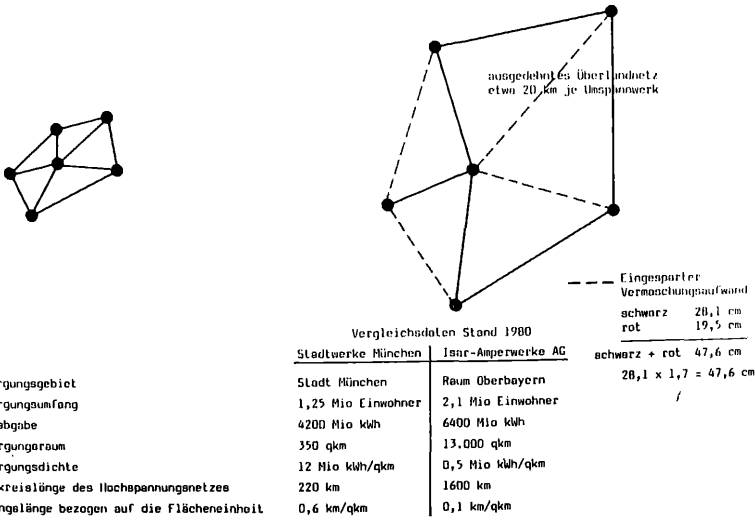


Bild 1

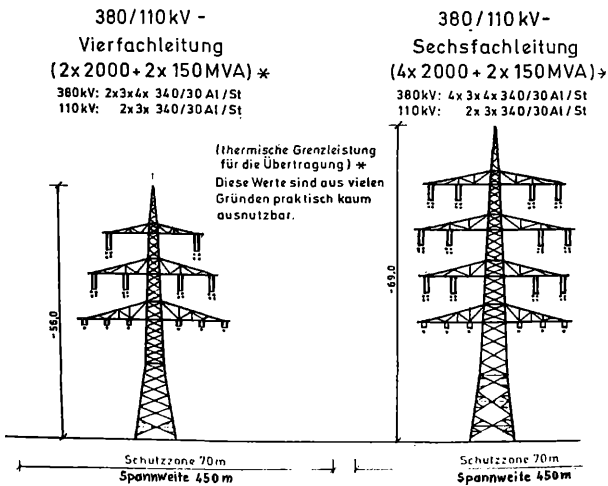
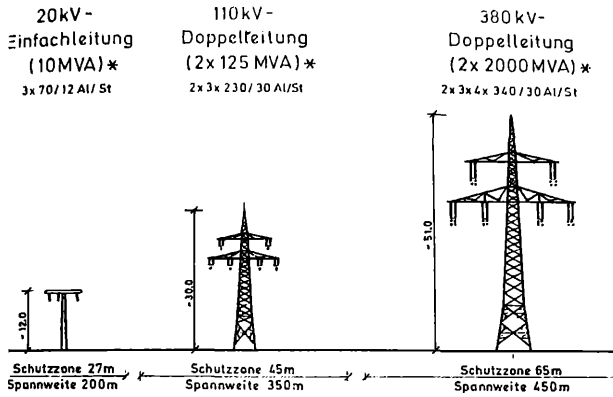


Bild 2

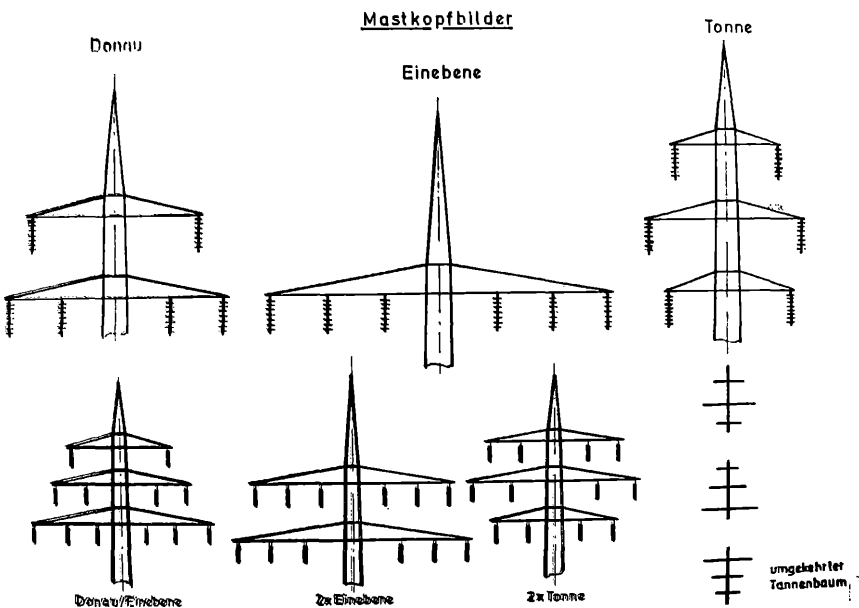


Bild 3

Prinzip des Tragmastes

Prinzip des Abspannmastes

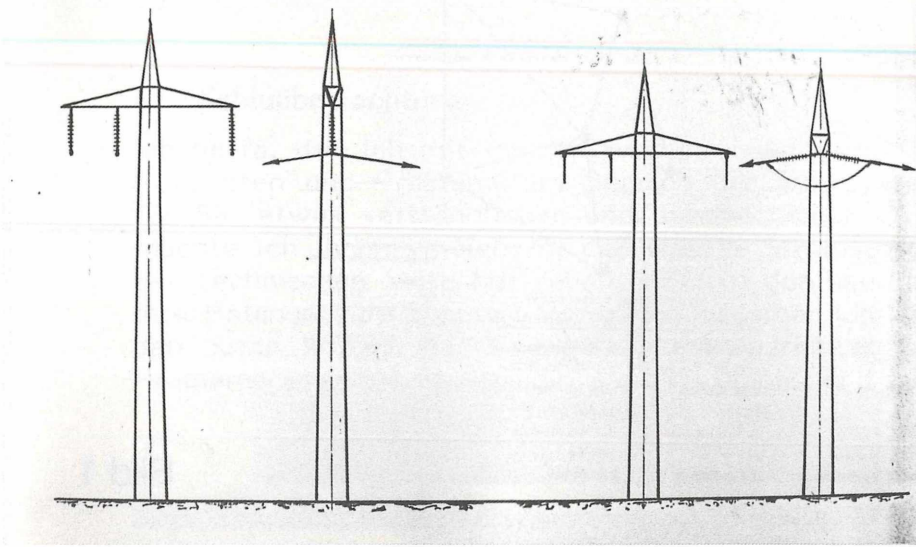


Bild 4



Bild 5

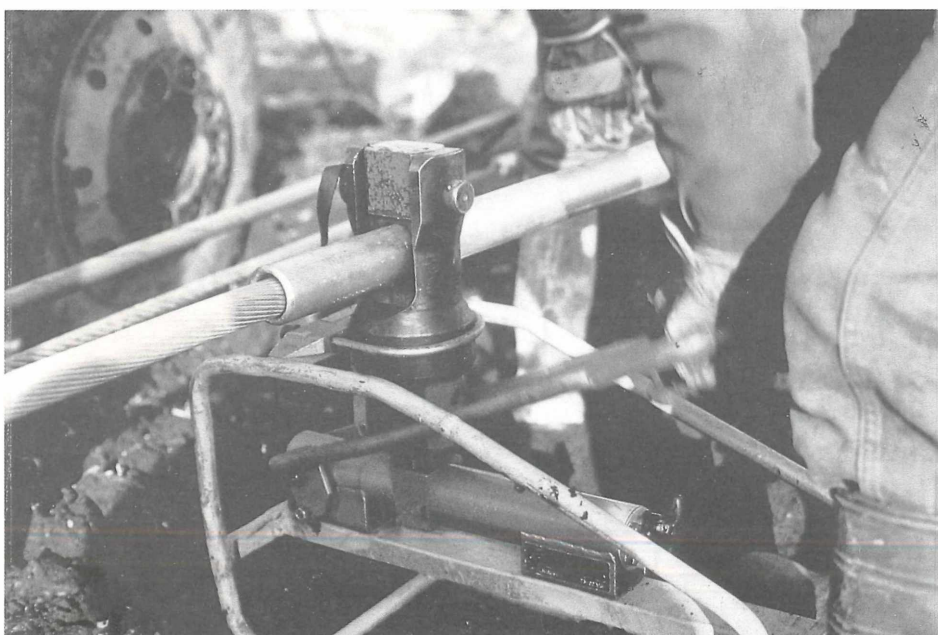


Bild 6



Bild 7

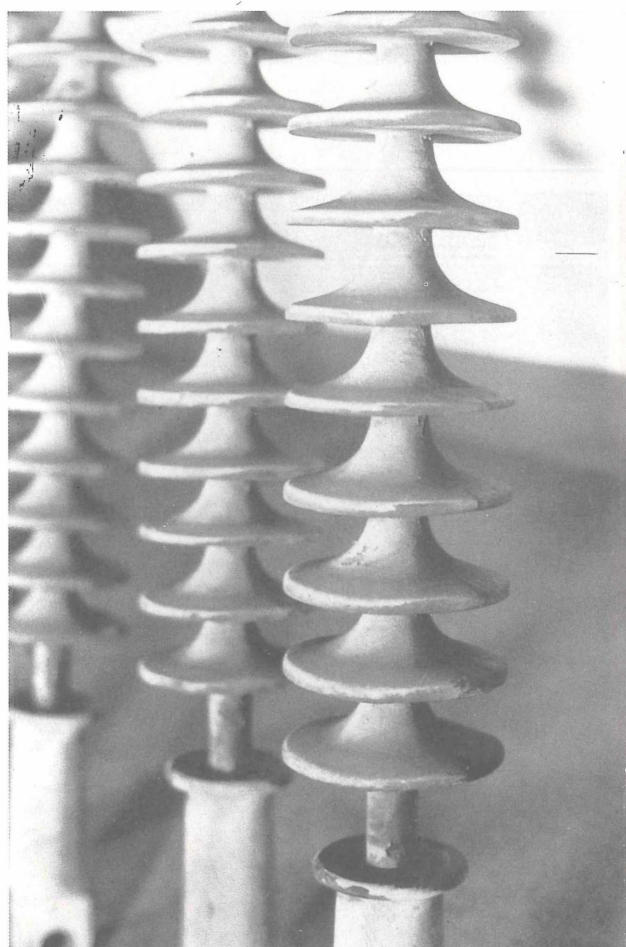


Bild 8

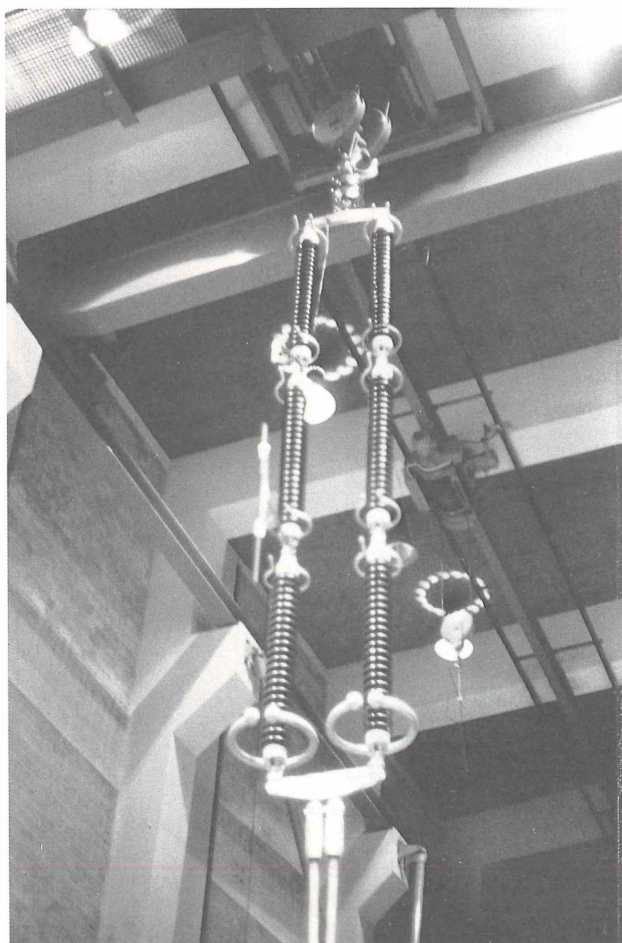


Bild 9

### Leitungsbündelung

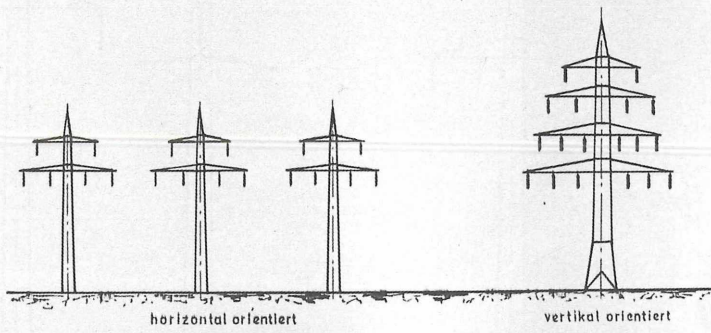


Bild 10

### Isolations- und Wärmeprobleme bei Freileitung und Kabel

Bild 11

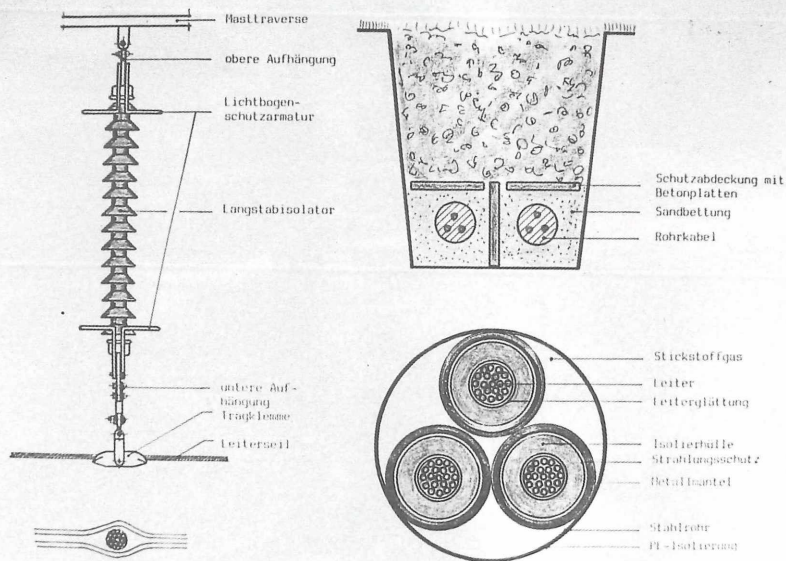


Bild 11

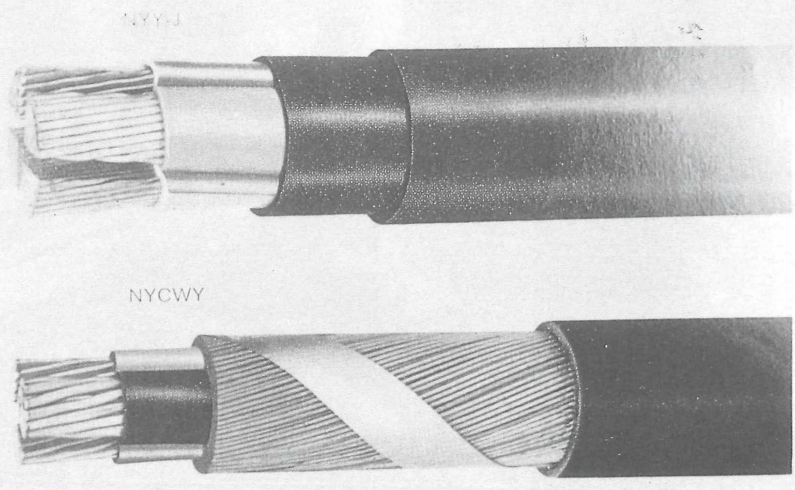


Abb. 17: Kunststoff-Niederspannungskabel (Brosch.)

Bild 12

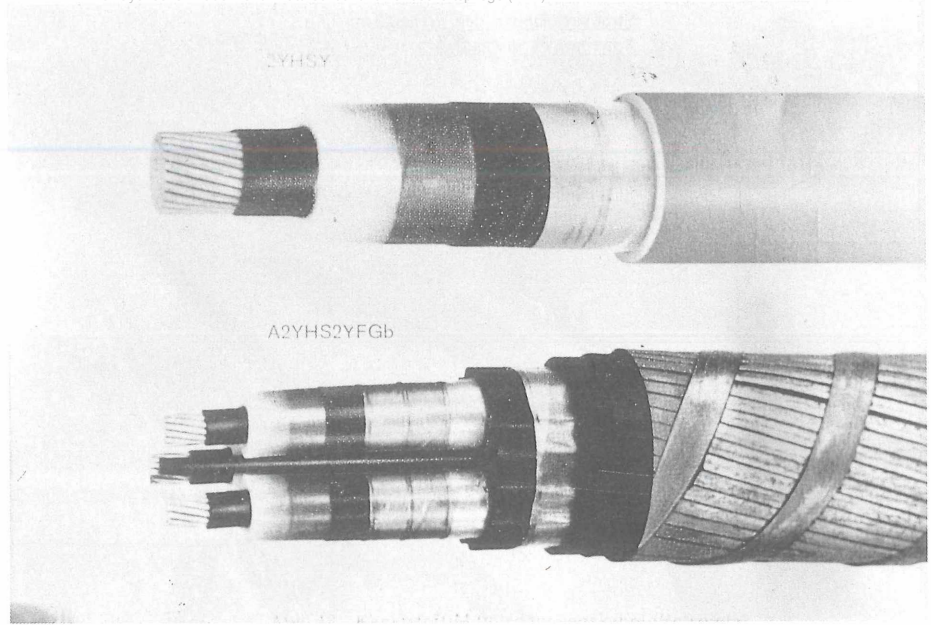
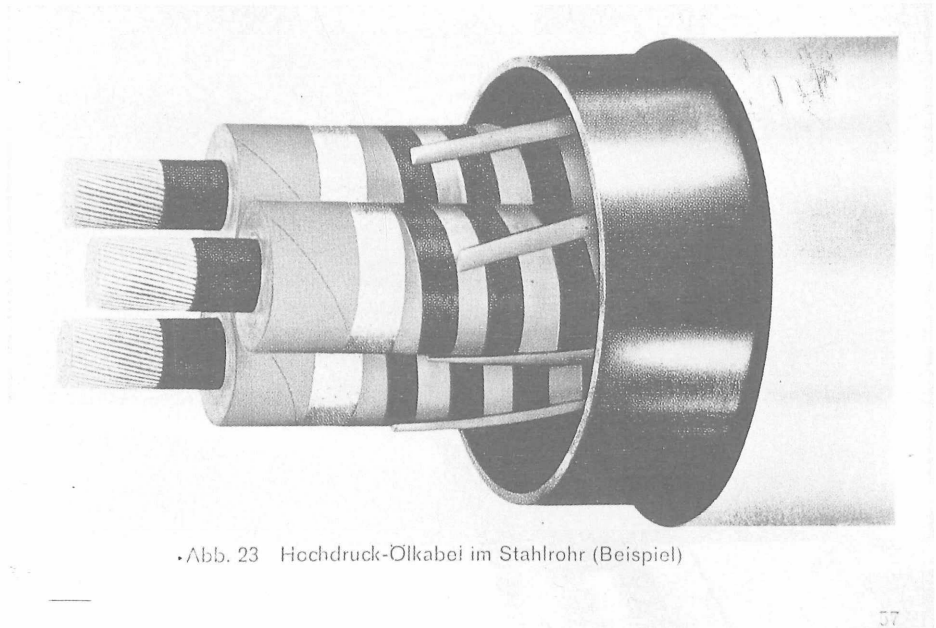


Bild 13



•Abb. 23 Hochdruck-Ölkabel im Stahlrohr (Beispiel)

Bild 14

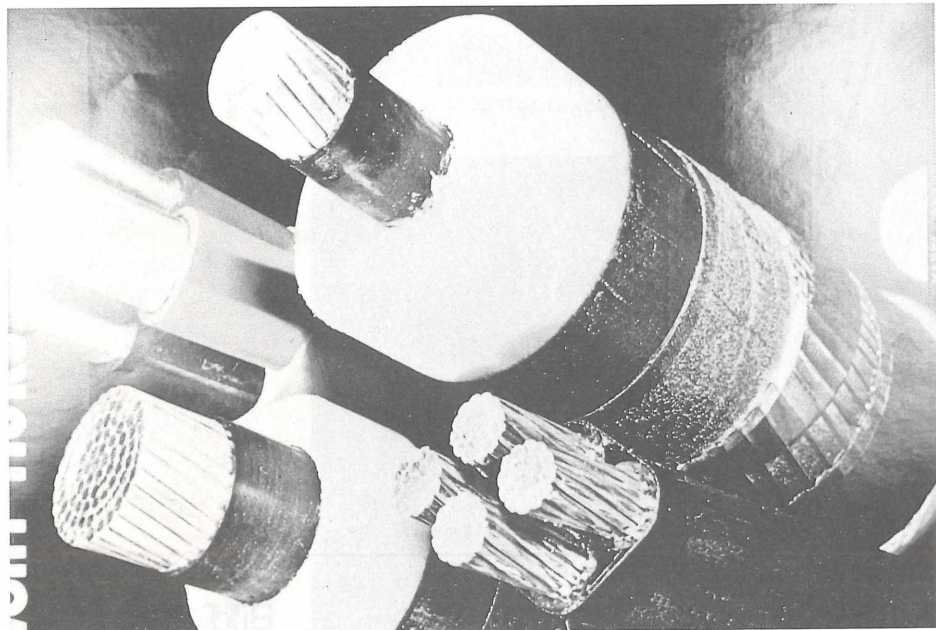


Bild 15

Stromkreislängen des Freileitungs- und  
Kabelnetzes der Isar-Amperwerke AG

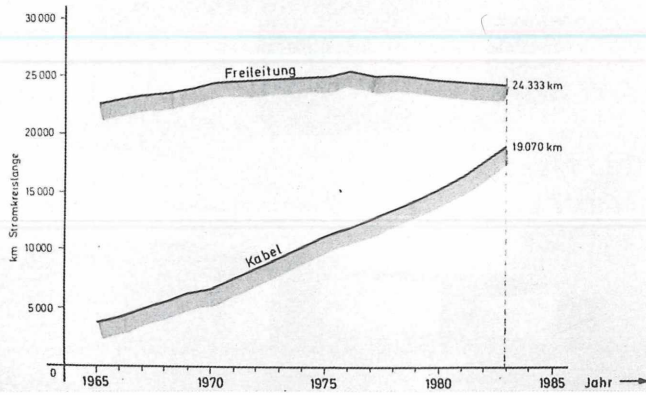


Bild 16

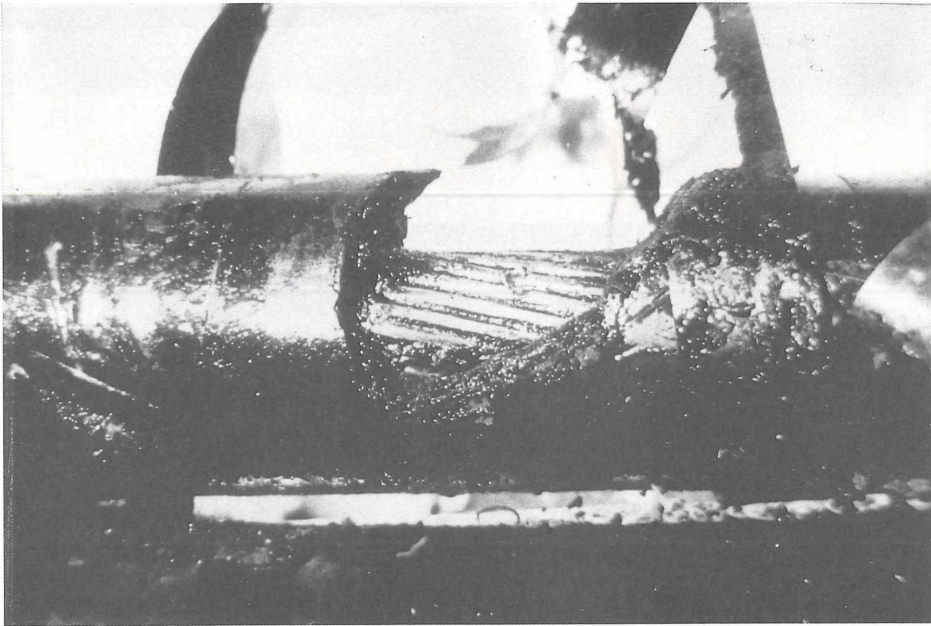


Bild 17



Bild 18



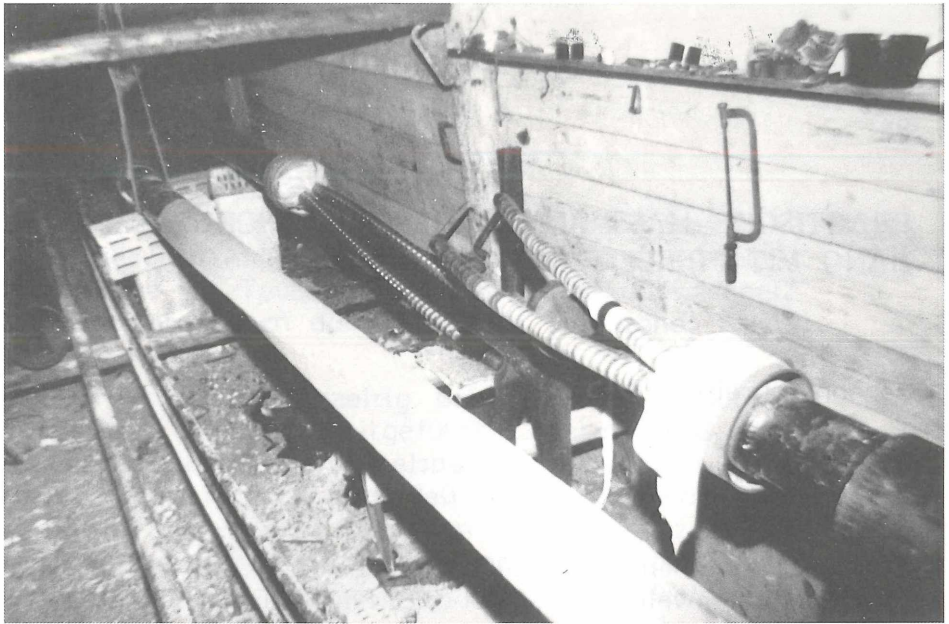


Bild 19

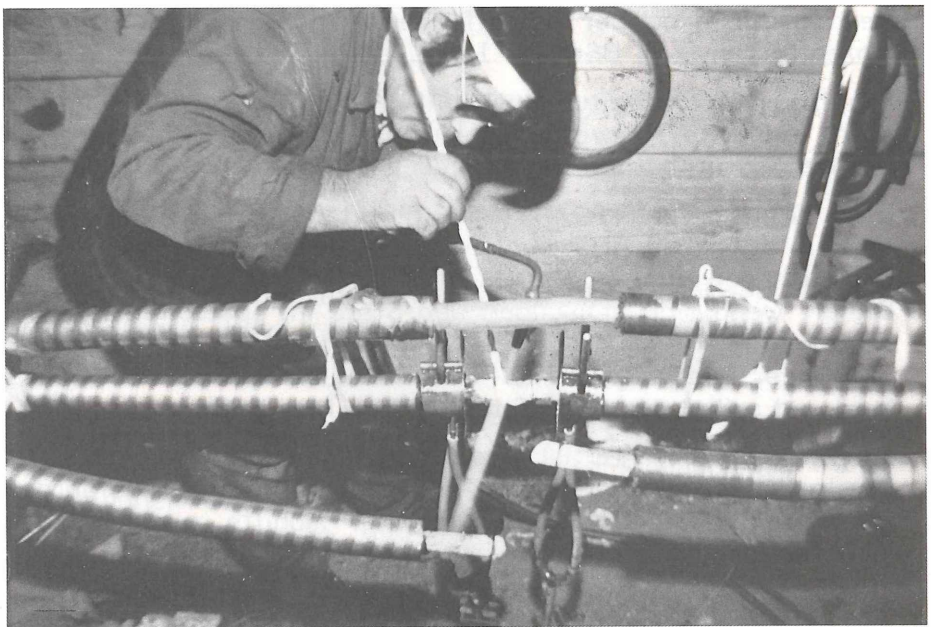


Bild 20

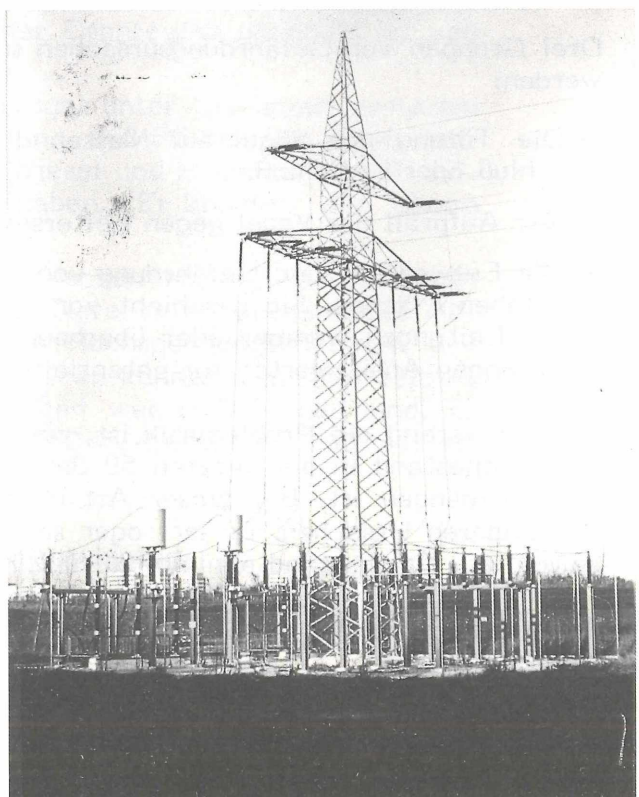


Bild 21

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: [6\\_1986](#)

Autor(en)/Author(s): Flach Helmut

Artikel/Article: [Technische Anforderungen an Bau und Unterhalt bei Freileitungen 81-97](#)