

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	80 (1989)
<b>Heft:</b>	13
<b>Artikel:</b>	Die Bedeutung der Verteilnetzführung für den optimalen Netzbetrieb
<b>Autor:</b>	Schaffer, G.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-903691">https://doi.org/10.5169/seals-903691</a>

### **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:** 26.01.2026

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

# Die Bedeutung der Verteilnetzführung für den optimalen Netzbetrieb

G. Schaffer

**Netzbetrieb heisst Betriebsführung im Spannungsfeld Zuverlässigkeit-Kosten-Qualität. Ihre Aufgabe ist es, innerhalb dieses Spannungsfeldes aus allen möglichen Betriebspunkten den optimalen herauszufinden und einzustellen. Dies gilt auch für die Führung von Verteilnetzen. In ihnen beeinflusst jedoch das Verbraucherverhalten massgeblich den Betrieb. Und gerade dieses Verbraucherverhalten ist weitgehend unbekannt. Vermehrte Kommunikationsmöglichkeiten würden die Betriebsführung erleichtern und unter Umständen die Betriebskosten senken.**

**L'exploitation optimale du réseau signifie sa conduite sous les champs de contraintes de la fiabilité, du coût et de la qualité. Ceci est également valable pour la conduite du réseau de distribution. Néanmoins, ce dernier est considérablement influencé par le comportement de l'utilisateur, qui est relativement peu connu. La multiplication des possibilités de transfert de données devrait notamment faciliter l'exploitation du réseau de distribution et le cas échéant en réduire les coûts.**

Die Aufgabe eines elektrischen Energieversorgungsunternehmens (EVU) ist es, die Verbraucher mit elektrischer Energie zu versorgen und dies

- so zuverlässig wie nötig
- so billig wie möglich
- mit ausreichender Qualität.

Eine kurze Definition dieser Begriffe in Zusammenhang mit der Führung elektrischer Netze scheint angebracht: Zuverlässigkeit der Energieversorgung ist definiert als die Fähigkeit des Systems, denkbare und mögliche Fehler ohne totalen oder teilweisen Netzzusammenbruch zu verkraften. Kosten der Energieversorgung sind die Gesamtkosten eines EVU für die Bereitstellung der benötigten elektrischen Energie. Diese Kosten können aufgeteilt werden in konstante Kosten (Investitionen, Personalkosten) und Kosten, die vom Verbrauch abhängen (Brennstoffkosten). Qualität der Energieversorgung ist definiert als die Fähigkeit des Systems, jederzeit die Verbraucher mit genügend Energie von ausreichender Qualität – d.h. mit genü-

gend kleinen Spannungs- und Frequenzschwankungen – zu versorgen. Jedes EVU hat daher die Aufgabe

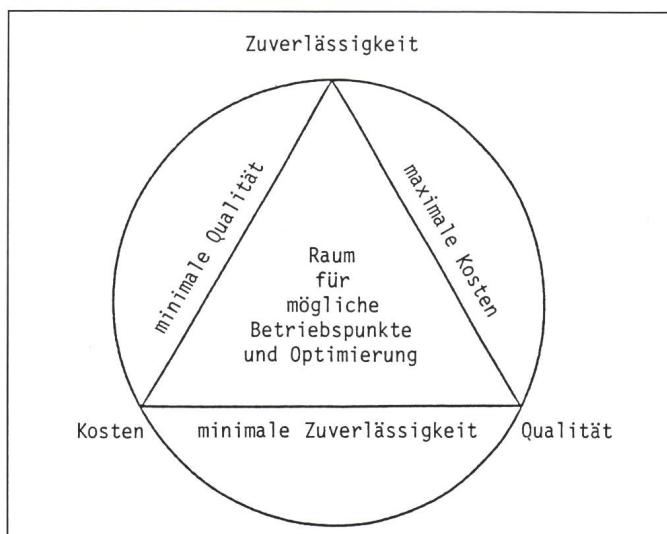
- die bestehenden Betriebsmittel maximal zu nutzen, um die benötigten Investitionen zu minimieren, und
- die zur Verfügung stehende Primärenergie maximal zu nutzen, um die variablen Betriebskosten zu minimieren.

Die Nebenbedingungen sind dabei

- die benötigte Zuverlässigkeit und
- die ausreichende Qualität der Energieversorgung.

Dies verlangt die Lösung einer Optimierungsaufgabe mit Nebenbedingungen. Die Betriebsführung arbeitet daher immer im Spannungsfeld Zuverlässigkeit-Kosten-Qualität. Ihre Aufgabe ist es, innerhalb dieses Spannungsfeldes aus allen möglichen Betriebspunkten den optimalen herauszufinden, der natürlich von der momentanen Belastungssituation des Netzes abhängt (Figur 1).

Die Zuverlässigkeit der Energieversorgung ist vor allem bestimmt durch



**Figur 1**  
Betriebsführung elektrischer Netze im Spannungsfeld Zuverlässigkeit - Kosten - Qualität

## Adresse des Autors

Dr. G. Schaffer, Asea Brown Boveri AG,  
Abt. ELT-VA, 5412 Gebenstorf.

eine entsprechende Planung des Ausbaues sowohl der Kraftwerke als auch des Übertragungs- und Verteilnetzes und durch zeit- und sachgerechte Wartung der Netzelemente wie z.B. Turbinen, Generatoren und Leistungsschalter. Dies sind aber vorwiegend offline-Aufgaben, also Aufgaben, die mit der Netzführung und damit der Netzeleittechnik relativ wenig zu tun haben.

Die sogenannten festen Kosten der Energieversorgung sind grossteils durch die langfristige Planung (Investitionen) gegeben und können durch die Netzführung praktisch nicht beeinflusst werden. Hingegen können die variablen Kosten, also die belastungsabhängigen Kosten, durch die momentane Betriebsführung eines Netzes minimiert werden. Dies ist eine erste Hauptaufgabe der Betriebsführung. Man unterscheidet bei dieser Optimierung zwei Zielfunktionen, nämlich minimale Erzeugungskosten und minimale Übertragungsverluste. Für die Zielfunktion «minimale Erzeugungskosten» werden naturgemäß nur die Kosten der Wirkleistungserzeugung berücksichtigt. Das Ziel minimale Übertragungsverluste bringt im allgemeinen ein hohes Spannungsprofil im gesamten Netz, wofür aber der Wirk- und vor allem der Blindlastfluss im gesamten Netz berücksichtigt werden muss.

Die Sicherstellung einer ausreichenden Qualität der elektrischen Energieversorgung ist die zweite Hauptaufgabe der Betriebsführung. Ihr Ziel ist es, die Verbraucher, falls überhaupt, nur so kurz wie möglich abzuschalten und die Spannung beim Verbraucher und die Netzfrequenz möglichst konstant zu halten.

## Optimaler Netzbetrieb

Netzführung kann in die folgenden Grundaktivitäten aufgeteilt werden:

- Überwachen
- Steuern und Regeln
- Beurteilen
- Verbessern
- Planen

Um diese Aufgaben erfüllen zu können, oder mit anderen Worten, um das Netz optimal führen zu können, stellt die Netzeleittechnik die notwendigen Unterstützungsfunctionen zur Verfügung.

Für die *Netzüberwachung* benötigt der Operator zuverlässige Informatio-

nen aus dem Netz. Die dazu notwendigen wichtigsten leitechnischen Funktionen sind:

- Datenerfassung
- Datenübertragung
- Datenverarbeitung
- Datenanzeige
- Alarmbehandlungen.

Um aktiv in das Netzverhalten eingreifen und das Netz *steuern* und *regeln* zu können, braucht der Operator die Möglichkeit der

- Befehlsausgabe
- Befehlsüberwachung
- Befehlsrückmeldung
- Spannungsregelung
- Laststeuerung
- Lastbeeinflussung.

Die *Beurteilung* der Zuverlässigkeit und der Wirtschaftlichkeit des momentanen Betriebes stellt grosse Anforderungen an den Operator. Er braucht dafür Antworten auf die Fragen: Was geschieht, wenn jetzt ... z.B. eine Leitung ausfällt, ein Kurzschluss abgeschaltet werden muss? Die sog. Anwenderfunktionen wie Ausfallrechnung und Kurzschlussstromberechnung sollen die benötigten Antworten geben.

Der Operator wird versuchen, die Wirtschaftlichkeit des Betriebes zu *verbessern*, wobei jedoch die Einhaltung der notwendigen Zuverlässigkeit der Energieversorgung garantiert werden muss. Dies ist nun die oben bereits erwähnte Optimierungsaufgabe mit Nebenbedingungen, für deren Lösung das Programm «Optimaler Lastfluss» eingesetzt wird.

Um schliesslich den Betrieb richtig *planen* zu können, braucht der Operator eine Antwort auf die Frage: Was geschieht, wenn morgen ...? Dazu wird normalerweise die geplante Netz- und Belastungssituation mit Hilfe einer Lastflussberechnung simuliert und anschliessend mittels Ausfallrechnung und Kurzschlussstromberechnung die Zuverlässigkeit des geplanten Betriebes überprüft.

## Führung von Verteilnetzen

### Aufgaben der Verteilnetzführung

Wie auch an einer kürzlich abgehaltenen Tagung der Energietechnischen Gesellschaft des SEV [1] betont wurde, benötigt man eine noch wirkungsvollere Führung der Verteilnetze:

- Verbesserung der Versorgungsgüte (Qualität) durch rasche Eingren-

zung von Fehlern und durch rasche Änderung der Topologie mit dem Ziel möglichst kurzer Stromunterbrechungen beim Verbraucher

- Verminderung der Übertragungsverluste
- Wirksames Energiemanagement mit der Möglichkeit der Spannungssteuerung und der Spannungsänderung zur Lastspitzensteuerung
- Rationalisierung des Arbeitseinsatzes des Unterhaltdienstes (Reparatur und Wartung)
- Verbesserung der Netzübersicht.

Diese Aufgaben entsprechen weitgehend den aus der Führung von Übertragungsnetzen bekannten Anforderungen. Die für ihre Durchführung zur Verfügung stehenden Mittel und Methoden sind jedoch oft spezifisch für Verteilnetze.

### Wechselwirkung Verbraucher-Netz

Für den Betrieb eines Verteilnetzes ist die Wechselwirkung zwischen Verbraucher und Netz besonders wichtig. Der Verbraucher fordert vom Netz:

- konstante Frequenz
- konstante Spannung
- sinusförmige Spannungsform ohne grosse Verzerrungen oder Oberwellen.

Andererseits verursacht der Verbraucher aber

- Laständerungen
- Flicker und Oberwellen in der Spannung.

Grundsätzlich folgt die Erzeugung dem Verbrauch, was zur Folge hat, dass der Verbraucher die jeweilige Lastfluss situation im Verteilnetz weitgehend mitbestimmt.

Für die Betriebsführung eines Verteilnetzes wäre es optimal, wenn die Lastkurve möglichst konstant gehalten werden könnte. Um dies zu erreichen, wird Laststeuerung und Lastführung eingesetzt. Der Unterschied zwischen Laststeuerung und Lastführung besteht darin, dass Laststeuerung diskrete Eingriffe bezeichnet, z.B. Zu- oder Abschalten von einzelnen Lasten, Verbrauchern oder Verbrauchergruppen, während die Lastführung kontinuierlich den Verbrauch beeinflusst, z.B. durch Spannungsabsenkung oder -anhebung. Beide Verfahren können entweder unabhängig von der aktuellen Last oder lastabhängig eingesetzt werden.

## Der Verbraucher, das unbekannte Wesen

Bei allen diesen Aufgaben stellt sich jedoch das Problem, dass sowohl das Verhalten des Verteilnetzes als auch das Verbraucherverhalten weitgehend unbekannt ist. So ist die Ausbreitung von Oberwellenströmen, die Entstehung von Blindleistungsringflüssen, Spannungshaltung und Spannungsabfall in vermaschten Netzen oft nicht a priori bekannt. Anderseits kann das Verhalten der Verbraucher bei Spannungsunterbrechung – wie gross ist die Leistung, wenn die Spannung wieder kommt? – und Spannungsänderungen nur statistisch erfasst werden. Auch das Verhalten der Lasten bei Frequenzänderungen hängt sehr von der momentanen Zusammensetzung der Last ab und ist im allgemeinen zeitabhängig. So wird der ohmsche Anteil der Last in der Heizperiode sicher grösser sein als vormittags an einem warmen Sommertag. Die jeweilige Verbraucherlast, und dabei auch das Verhältnis zwischen Wirk- und Blindleistung, ist im allgemeinen abhängig von Frequenz, Spannung und Zeit. Quantitativ kann diese Abhängigkeit nur durch statistische Auswertung von Belastungskurven bestimmt werden [2;3]. Dem steht aber die Tatsache entgegen, dass Verteilnetze normalerweise wesentlich weniger aufwendig gemessen werden als Übertragungsnetze. So werden oft nur die Einspeisungen in das Verteilnetz – Wirk- und Blindleistung – und der maximale Strom pro Abzweig (oft mit Schleppzeiger und manueller Rückstellung) gemessen. An kritischen Stellen wird zusätzlich die Spannung gemessen, unter Umständen auch einige ausgewählte Ströme. Von den einzelnen Verbrauchern ist die max. Wirkleistungsaufnahme nur aus der Planung bekannt. Tatsächlich wird aber in längeren Zeitabständen nur die verbrauchte Energie (Zählerstandablesung) gemessen.

Die Kommunikationssysteme, die im Verteilnetz verwendet werden, sind bisher vor allem Einwegkommunikationssysteme. Ihr Vorteil ist, dass sie relativ einfach und daher auch billig sind, ihr Nachteil aber, dass mit ihnen weder Rückmeldungen noch Messun-

gen übertragen werden können. Zweiwegkommunikationssysteme können Rückmeldungen und Messungen übertragen. Ihr Nachteil ist, dass sie naturgemäß komplizierter und daher teurer sind.

Um das Verbraucherverhalten mit ausreichender Genauigkeit bestimmen zu können, ist es aber voraussichtlich nicht nötig, alle Lasten eines Netzes kontinuierlich zu messen. Wahrscheinlich genügt es, einen repräsentativen Querschnitt von Verbrauchern (ca. 5%) zu messen und das Verhalten der restlichen Verbraucher durch eine Hochrechnung zu bestimmen. Dabei könnten im Prinzip die gleichen Rechenverfahren, wie sie bei der Hochrechnung von Ergebnissen politischer Wahlen verwendet werden, eingesetzt werden. Auch dort kann das Gesamtergebnis aufgrund der Ergebnisse weniger Wahlkreise relativ genau hochgerechnet werden.

## Einfluss der Verteilnetzführung auf optimalen Netzbetrieb

Eine genauere Kenntnis des Verbraucherverhaltens ermöglicht:

- genauere Lastvorhersage
- weniger Reservehaltung
- bessere Beurteilung der Auswirkungen von Laststeuerung und Lastbeeinflussung

und damit eine bessere Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Primärenergie oder der Stromlieferverträge und Abnahmevereinbarungen mit anderen EVUs.

In letzter Zeit wurde von verschiedenen Stellen vorgeschlagen, das Verbraucherverhalten durch variable Energiepreise stärker zu beeinflussen. Ein erster Schritt in diese Richtung sind die bereits vielfach eingeführten Mehrfachtarife. Weiterführende Vorschläge gehen in Richtung Spot-Preise. Dem Verbraucher wird der momentan gültige Preis für elektrische Energie angezeigt, und es liegt an ihm, sein Konsumverhalten dem Preis entsprechend anzupassen.

Abschliessend sei noch das Problem des Lastmanagements erwähnt. Lastmanagement wird dann aktuell, wenn die mögliche Erzeugung von elektrischer Energie kleiner ist als der Bedarf, das heisst, wenn zu wenig elektrische Energie im Netz zur Verfügung steht. Dann müssen Verbraucher abgeschaltet werden, falls die Frequenz nicht unzulässig absinken soll. In so einem Fall drängt sich die Einteilung der Verbraucher in verschiedene Prioritätsklassen auf. Eine höhere Prioritätsklasse ist mit höheren Energiekosten und dafür weniger oder kürzeren Stromabschaltungen verbunden.

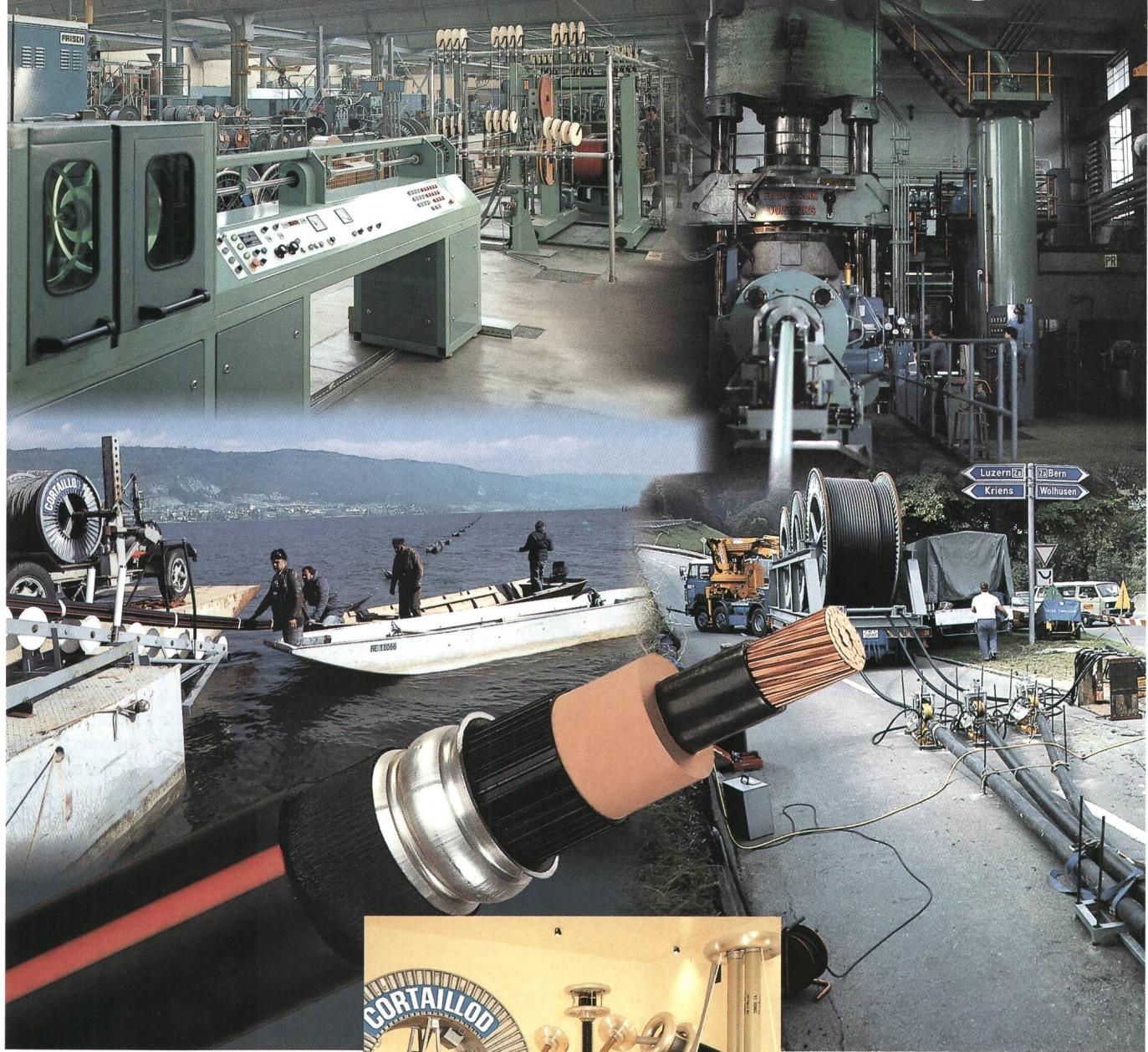
## Schlussfolgerungen

Die effiziente Führung von Verteilnetzen erleichtert nicht nur deren zuverlässigen und wirtschaftlichen Betrieb, sondern hat auch Rückwirkungen auf die Netzführung des übergeordneten Netzes. Eine genauere Lastvorhersage kann unter Umständen die Verminderung der rotierenden Reserven erlauben. Auch sollten die möglichen Auswirkungen von Massnahmen zur Laststeuerung und Lastbeeinflussung (Spannungsregelung) besser abgeschätzt werden können. Wie weit Spot-Preis-Methoden und Lastmanagement in der Praxis Eingang finden, wird die Zukunft zeigen. Eines kann jedoch vorausgesagt werden: Neue, wirtschaftlich günstige Kommunikationssysteme werden unsere Kenntnisse über das Verhalten der Verbraucher und des Verteilnetzes wesentlich verbessern.

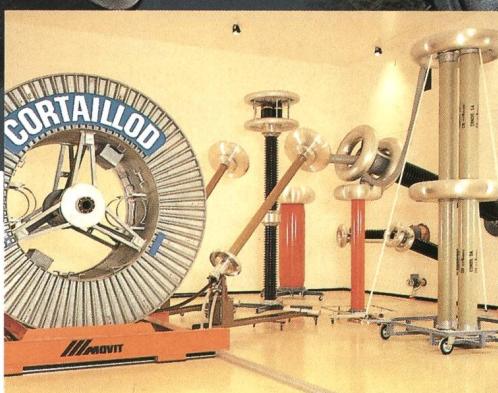
## Literatur

- [1] H. Lienhard: Leistungsschalter im traditionellen oder automatisierten Netzbetrieb im Mittelspannungsbereich eines Elektrizitätswerkes. Referat der SEV-ETG-Tagung «Moderne Löschtechniken bei Mittelspannungsschaltern», Zürich, 22. September 1988. Zürich, SEV, 1988.
- [2] E. Handschin, A. Kubbe and T. Reissing: Electric load modelling: analysis, identification and validation. Proceeding of the Ninth Power Systems Computation Conference, Cascais/Portugal, 30 August...4 September 1987; p. 549...555.
- [3] E. Handschin and C. Dörnemann: Bus load modelling and forecasting. IEEE Trans. on Power Systems 3(1988)2, p. 627...633.

# Das Innere dieses Kabels birgt das Geheimnis seiner Langlebigkeit



Der Unterschied zwischen zwei HS-Kabeln lässt sich weder an ihrem Äusseren noch in einem Schnitt erkennen. Dazu muss man schon das Kabelinnere ins kleinste Detail und vor allem auf seiner ganzen Länge untersuchen. Câbles Cortaillod verlässt sich nicht allein auf äussere Schutzmassnahmen bei der Konzeption und Fabrikation seiner Kabel. Sie investieren verstärkt in Messungen, Versuche und Kontrollen. Mit leistungsstarken Ausrüstungen



*Exklusiv bei Câbles Cortaillod:  
Prüflabor für die Teilentladungsmessung an Kabeln bis 480 kV*

dotierte Labors und Prüffelder bestimmen die Eigenschaften und Qualität, die für das Betriebsverhalten und die Lebensdauer der Kabel ausschlaggebend sind.

Câbles Cortaillod steht für fortschrittliche Technologie, Dienstleistungen und Sicherheit.

CH-2016 CORTAILOD/SUISSE  
TÉLÉPHONE 038 / 44 11 22  
TÉLÉFAX 038 / 42 54 43  
TÉLEX 952 899 CABC CH



CABLES CORTAILOD  
ÉNERGIE ET TÉLÉCOMMUNICATIONS