

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band:	48 (1957)
Heft:	6
Rubrik:	Energie-Erzeugung und -Verteilung : die Seiten des VSE

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: 20.01.2026

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

Energie-Erzeugung und -Verteilung

Die Seiten des VSE

Die schweizerische Elektrizitätswirtschaft trauert um zwei ihrer bedeutendsten Vertreter. Beide hatten nahezu vierzig Jahre ihre ganze Kraft in den Dienst ihrer Unternehmung gestellt und unseren Fachverbänden wie auch internationalen Organisationen unschätzbare Dienste geleistet.



Robert-Albert SCHMIDT †

Dr. sc. techn. h. c., Ingenieur
7. 11. 1883 — 10. 2. 1957

Präsident der «S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS)»

Präsident der «Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE)»

Ehemaliger Präsident des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)



Henri NIESZ †

Dr. sc. techn. h. c., Ingenieur
30. 10. 1886 — 11. 2. 1957

Vizepräsident des Verwaltungsrates
der Motor-Columbus A.-G. für elektrische
Unternehmungen

Ehemaliger Präsident des Schweizerischen
Nationalkomitees der Weltkraftkonferenz

ROBERT-ALBERT SCHMIDT †

Ehrenmitglied des SEV

Mit aufrichtigster Anteilnahme hat die Leserschaft des Bulletin vernommen, dass Dr. sc. techn. h. c. *Robert-Albert Schmidt*, Ingenieur, Präsident der «S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS)», Präsident der CIGRE, am 10. Februar 1957 in Lausanne verschieden ist.

Robert-Albert Schmidt wurde am 7. November 1883 in Lausanne geboren und verlebte eine glückliche Jugend in einem freundlichen Heim und im Kreise einer zahlreichen Geschwisterschar. Er besuchte die Schulen seiner Heimatstadt und setzte seine Studien — nach Absolvierung der Maturität — an der «Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne» fort, die er im Jahre 1905 mit dem Diplom als Elektro-Ingenieur verliess.

Bereits in jungen Jahren war Robert-Albert Schmidt eine äusserst gesellige Natur; er trat als eifriges Mitglied der Studentenverbindung «Lémania» und später der «Vieille Lémania» bei, die er eine Zeitlang präsidierte.

Robert-Albert Schmidt begann seine berufliche Laufbahn bei der Firma Brown Boveri & Cie. A.-G., Baden. Nach vierjähriger Tätigkeit wanderte er nach den Vereinigten Staaten aus. Im Jahre 1909 trat er bei der «Westinghouse Electric & Manufacturing Co.», Pittsburg, in Dienst und fand so Gelegenheit, sich mit den amerikanischen Arbeitsmethoden und der amerikanischen Technik vertraut zu machen. Seine ausgesprochene Sprachbegabung, sowie sein umgängliches Wesen, verschafften ihm in den Vereinigten Staaten zahlreiche Freunde. Im Jahre 1912 kehrte er zurück und fand Anstellung bei der Maschinenfabrik Örlikon, Zürich.

Als im Jahre 1919 die «S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse» gegründet wurde, hätte Herr Direktor Landry keine geeigneteren Persönlichkeit als Oberingenieur finden können. Von 1922 an stand er dem Unternehmen als Direktor vor; in dieser Eigenschaft hat Robert-Albert Schmidt wesentlich zur Entwicklung der EOS beigetragen. Er wurde im Jahre 1932 zum Sekretär und 1951 zum Präsidenten des Verwaltungsrates gewählt; dieses Amt hat er bis zu seinem Tod ausgeübt.

Wir möchten von seiner mannigfaltigen Tätigkeit bei der EOS lediglich die Projektierung und die Erstellung des seit 1934 in Betrieb stehenden Kraftwerkes Chandoline-Dixence erwähnen; der Bau dieses Werkes, das bekanntlich das höchste Gefälle der Welt besitzt, war eine kühne Leistung; auch auf dem Gebiete der Frequenz/Leistungs-Regulierung wurde beim Kraftwerk Chandoline-Dixence bahnbrechende Arbeit geleistet. Wir erinnern weiter an die Schaffung des 130-kV-Einheitsnetzes, das die Verbindung zwischen den Zentren der Elektrizitäts-erzeugung im Wallis mit denjenigen des Verbrauchs in der Westschweiz herstellt und sich gleichzeitig an die grossen Netze der deutschen Schweiz, Frankreichs und Italiens anschliesst.

In klarer Voraussicht des gewaltigen Anstiegs des Verbrauchs elektrischer Energie, sowie der immer grösseren Bedeutung, die der Erzeugung hydraulischer

Energie im Rahmen der Volkswirtschaft unseres Landes zukommt, brachte Robert-Albert Schmidt dem vom Eidgenössischen Amt für Wasserwirtschaft angeregten Ausbau der Grande-Dixence lebhaftes Interesse entgegen. Er betrieb die Vorstudien für dieses Werk zusammen mit Herrn Lorétan, seinem Mitarbeiter bei der Direktion der EOS; bei der Gründung der «Grande-Dixence S. A.» im Jahre 1950 wirkte er massgeblich mit. Seine Ansichten fanden beim leitenden Ausschuss und beim Verwaltungsrat grösste Beachtung. Er verfolgte auch die übrigen hydro-elektrischen Unternehmungen, an denen die EOS interessiert ist, mit grösster Aufmerksamkeit und war Mitglied des Verwaltungsrates der «Salanfe S. A.» der «Energie Electrique du Simplon S.A.» und der «Electricité de la Lienne S.A.».

Im gleichen Geiste befasste er sich auch mit den Möglichkeiten der Verwirklichung eines Verbundbetriebes auf internationaler Ebene, sowie mit der Spannungswahl und mit dem Ausbau eines schweizerischen Höchstspannungs-Netzes. Robert-Albert Schmidt erkannte, dass die Spannungsdifferenz zwischen 150 und 220 kV zu gering ist, und wies anhand zahlreicher Untersuchungen nach, dass die für schweizerische Verhältnisse am besten geeignete Spannung 300 kV beträgt, eine Spannung, die im Netz der Vereinigten Staaten schon seit mehr als zwanzig Jahren verwendet wird.

Durch sein erfolgreiches Wirken wurde Robert-Albert Schmidt zu einer allgemein anerkannten Autorität, und es konnte nicht ausbleiben, dass er auch zu den Arbeiten der eidgenössischen Kommissionen, und der grossen, sowohl nationalen als auch internationalen Fachverbände gerne beigezogen wurde. So war er Mitglied der Eidgenössischen Kommission für elektrische Anlagen, der Eidgenössischen Kommission für die Ausfuhr elektrischer Energie, sowie der beratenden Delegation beim Eidgenössischen Amt für Elektrizitätswirtschaft.

Im Jahre 1931 wählte ihn der Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) zum Präsidenten und bat ihn dann inständig, seine Kräfte auch während der Dauer des Zweiten Weltkrieges weiterhin in den Dienst des Verbandes zu stellen. Er widmete sich während fünfzehn Jahren dieser schweren Aufgabe mit jener vornehmen Herzlichkeit, die ihm eigen war. Von 1932 bis 1934 war Robert-Albert Schmidt Präsident der «Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (UNIPEDE)», in welcher Eigenschaft er auch die Organisation des Kongresses von 1934 in der Schweiz leitete.

Im Jahre 1945 wurde er zum Ehrenmitglied des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins ernannt, in dessen Rahmen er aktiv bei den Arbeiten der technischen Kommissionen und Ausschüsse, insbesondere des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees, mitgewirkt hat.

Das «Institut Polytechnique de Grenoble» verlieh ihm anlässlich der Feier seines 50jährigen Bestehens im Jahre 1950 den Titel eines Doktor honoris causa.

Robert-Albert Schmidt bekleidete auch das Amt eines Vizepräsidenten der Vereinigung exportierender Elektrizitätsunternehmungen, war Mitglied des leitenden Ausschusses des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes, Mitglied des Schweizerischen Nationalkomitees der Weltkraftkonferenz und arbeitete eng mit dem Schweizerischen Energie-Konsumenten-Verband zusammen.

Er war bei der Schaffung des «Office de l'électricité de la Suisse romande» massgebend beteiligt und stand diesem während zehn Jahren als Präsident vor. Im weitern präsidierte er die Ausgleichskasse Schweizerischer Elektrizitätswerke und war auch Gründungspräsident der Familienausgleichskasse Schweizerischer Elektrizitätswerke.

Robert-Albert Schmidt wirkte auch bei der Gesellschaft zur Förderung der Forschung an der Eidgenössischen Technischen Hochschule aktiv mit; er gehörte auch dem leitenden Ausschuss dieser Gesellschaft an. Ferner war er Mitglied des Stiftungsrates des Nationalfonds für die Förderung der schweizerischen Wirtschaft.

Die zahlreichen Funktionen, zu denen er beigezogen wurde, bilden einen Beweis dafür, wie gross die Wertschätzung war, die er in der ganzen Schweiz genoss.

Von entscheidender Bedeutung jedoch wurde das Schaffen von Dr. h. c. Schmidt an der «Con-

férence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE)», die im Jahre 1921 unter dem Patronat der Internationalen Elektrotechnischen Kommission ins Leben gerufen wurde. Im Jahre 1950 wurde er einstimmig zum Präsidenten dieser wichtigen Organisation gewählt, die zum Arbeitsorgan der Elektroingenieure der ganzen Welt werden sollte. Als Nachfolger von zwei der berühmtesten Persönlichkeiten der französischen Elektroindustrie, den Herren Ernest Mercier und Ulrich, entledigte sich Robert-Albert Schmidt, der das Räderwerk und den Geist der CIGRE von Grund auf kannte, dieser schwierigen Aufgabe mit grossem Geschick und Erfolg. Seine meisterhafte Eröffnungsansprache anlässlich der letzten Session im Juni 1956 in Paris fand mindestens so viel Beachtung, wie diejenige seiner Vorgänger und war nicht nur die Krönung seiner glänzenden Karriere, sondern auch sein Schwanengesang. Sein Erfolg gereichte auch unserem Lande zur grössten Ehre.

Seine lebhafte Intelligenz, seine vorzügliche berufliche Eignung, seine äuserste Liebenswürdigkeit im Umgang, verbunden mit der grössten Bescheidenheit, machten ihn zum Ingenieur, der sich die Hochachtung und die Sympathie seiner gesamten Umwelt zu erwerben wusste und der unserem Lande unschätzbare Dienste erwiesen hat.

E. H. Etienne/Br.

HENRI NIESZ †

Ehrenmitglied des SEV

Am 11. Februar entschlief nach längerer, mit grosser Geduld ertragener Krankheit Dr. sc. techn. h. c. Henri Niesz im Alter von 70 Jahren in seinem Heim in Ennetbaden.

Henri Niesz wurde am 30. Oktober 1886 in Genf geboren, wo er die Primarschule und das Gymnasium besuchte. Seine höheren Studien schloss er 1911 in München mit dem Diplom eines Elektroingenieurs ab. Er beschäftigte sich hierauf während einiger Jahre in Bayern, Österreich und dem heutigen Gebiet der Tschechoslowakei mit der Projektierung und Bauleitung von hydraulischen und thermischen Kraftwerken sowie von Hoch- und Niederspannungsleitungen. Im Alter von 30 Jahren, am 15. März 1916, trat Henri Niesz in die Dienste der Motor-Columbus A.-G., Baden, ein, um das in Entwicklung begriffene Energiegeschäft zu betreuen. Im Jahre 1927 wurde er zum Vizedirektor, 1930 zum Direktor und 1951 zum Direktionspräsidenten ernannt. Nach seinem im Jahre 1954 erfolgten Rücktritt wurde er in den Verwaltungsrat und zu dessen Vizepräsidenten gewählt.

Henri Niesz befasste sich namentlich mit energiewirtschaftlichen Problemen. Er war auf diesem Gebiet weit über die Grenzen unseres Landes hinaus als hervorragender Fachmann anerkannt und trat durch verschiedene bemerkenswerte Publikationen und Vorträge hervor. Er hat damit auch einen massgebenden Einfluss auf die Entwicklung der Energiewirtschaft ausgeübt, die in den letzten Jahrzehnten so gewaltige Fortschritte erzielt hat und von ihren führenden Männern, von denen der

Verstorbene einer der bedeutendsten war, immer wieder neue und mutige Ideen und Entschlüsse verlangte.

Mit unermüdlichem Eifer und grosser Sachkenntnis setzte er sich aber auch für alle anderen, vielgestaltigen Aufgaben und Probleme der Motor-Columbus A.-G. und deren Tochtergesellschaften ein. Durch diese und andere Tätigkeiten wurde er im Laufe der Jahre in zahlreiche Verwaltungsräte, Vorstände und Kommissionen berufen, wo seine Mitarbeit sehr geschätzt war. Besonders erwähnt seien die internationalen Gremien, in welchen er wesentlich zum Ansehen unseres Landes beitrug: die Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique (UNIPEDE), Paris, das schweizerische Nationalkomitee der Weltkraftkonferenz, dessen Präsident er seit 1952 war, der leitende Ausschuss der Weltkraftkonferenz sowie die Mitgliedschaft beim Energiekomitee der OECE.

Während des zweiten Weltkrieges wurde Henri Niesz vom Bundesrat zum Sonderbeauftragten des KIAA für die Elektrizitätswirtschaft berufen. In dieser Eigenschaft sorgte er mit grosser Sachkenntnis für die bestmögliche Ausnützung der verfügbaren Energie. In Würdigung seiner hervorragenden Verdienste um die Entwicklung der Elektrizitätsversorgung sowie in Anerkennung seiner erfolgreichen Tätigkeit zur Sicherstellung der Landesversorgung mit elektrischer Energie während der Kriegs- und Nachkriegsjahre verlieh ihm die Eidg. Technische Hochschule 1950 die Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften.

Im Militär war er während des ersten Weltkrieges Offizier bei den Festungstruppen. Während des letzten Aktivdienstes war er Kommandant einer Minengruppe.

Trotz all seinen Ämtern und Ehren blieb Dr. Niesz Zeit seines Lebens ein bescheidener, edler und feiner Mensch. Er war ein lieber Kollege und ein Vorgesetzter von vornehmer Gesinnung, dessen schlichte Art ein wohltuendes Arbeitsklima schuf. Er widmete sich mit grossem Interesse auch dem Wohl der Angestellten und war für viele unter ihnen ein wahrhaft väterlicher Freund.

Neben seiner anstrengenden Berufssarbeit lebte der nun Verstorbene aber ganz für seine Familie, wo ihm eine treu besorgte Gattin, zwei Töchter und ein Sohn ein schönes Heim schufen. Er war ein grosser Freund der schönen Künste und begeisterter

Besucher von Theateraufführungen und Konzerten. Wie vielleicht nur wenigen bekannt ist, machte er ad usum internum in seinen seltenen freien Stunden gerne Aquarelle und Farbstiftzeichnungen und versuchte sich sogar am Modellieren. Seinem edlen Charakter entsprach auch eine stets hilfsbereite Hand, und manch bedürftiges Kind fand in seinem Hause liebevolle Aufnahme. Obwohl seit 1916 in Baden ansässig, zog es ihn als echten Genfer in den Ferien doch immer wieder nach seiner altvertrauten lieben Vaterstadt am Léman.

Ein heimtückisches Leiden zwang den sonst Nimmermüden seit einigen Monaten zu unfreiwilliger Musse. Gern hätte man ihm, dessen Leben in gesunden Tagen nur Pflicht und Arbeit gekannt hatte, einen langen und unbeschwertem Lebensabend geschenkt.

P. U.

Blindstromkompensation bei der Aare-Tessin A.-G. für Elektrizität

Von R. Leresche und F. Schär, Olten

621.316.727

In der vorliegenden Arbeit wird an Hand eines praktischen Diagramms auf die Bedeutung der Blindleistungs- und Spannungsverluste auf Leitungen hingewiesen. Es wird auf Messungen am Netzmodell eingegangen. Die Vorteile von Synchronkompensator und Kondensatorbatterie werden kurz gestreift.

Vom Synchronkompensator wird das Anlaufverfahren kurz beschrieben. Schliesslich werden Betriebserfahrungen mitgeteilt und wirtschaftliche Aspekte erwähnt.

A l'aide d'un diagramme, les auteurs attirent l'attention sur l'importance des pertes de puissance réactive et de tension dans les lignes; ils décrivent des essais exécutées sur un modèle de réseau, puis esquiscent les avantages du compensateur synchrone et de la batterie de condensateurs. Ils expliquent la manœuvre de démarrage d'un compensateur synchrone et donnent finalement les expériences d'exploitation avec leurs aspects économiques.

Allgemeines

Die aus Mittel- und Hochspannungsnetzen zu liefernde elektrische Energie weist im allgemeinen einen Leistungsfaktor von etwa 0,8 auf, sofern bei den Abnehmern nicht besondere Massnahmen zur Kompensation des Blindstromes vorhanden sind.

Solange die elektrische Energie zur Hauptsache relativ nahe bei den Verbrauchszentren erzeugt werden konnte und die Generatoren für einen Leistungsfaktor von auch etwa 0,8 gebaut wurden, bot die Deckung des entsprechenden Blindleistungsbedarfes keine besonderen Schwierigkeiten.

Mit der starken Zunahme des Verbrauchs muss jedoch die Energie aus immer weiter entfernten Kraftwerken heran transportiert werden, so ganz speziell auch bei der Aare-Tessin A.-G. für Elektrizität (ATEL). Ein grosser Teil ihrer Kraftwerke befindet sich im Tessin, das Hauptabsatzgebiet dagegen im Norden der Alpen. Zudem hat die Gesellschaft Energie für Dritte aus dem Süden nach Norden zu transitieren. Welche Rolle hiebei der Blindleistungstransport spielt, zeigen die nachfolgenden Darlegungen.

Blindleistungsbedarf und Spannungsverhältnisse von Übertragungsanlagen

Die Bestimmung des Blindleistungsbedarfes für die Kompensation eines einzelnen Verbrauchers ist einfach. Bei ausgedehnten Netzen sind die Verhältnisse etwas undurchsichtiger. Einen sehr guten Anhaltspunkt erhält man, wenn für die Haupttransportadern die *Wirk-Blindleistungsdiagramme*¹⁾ aufgestellt werden; diese werden vor allem in den

USA häufig angewendet. Fig. 1 zeigt das Diagramm für die 220-kV-Verbindung Mettlen-Lavargo.

Auf der Abszissenachse sind die Wirkleistungen, auf der Ordinatenachse die Blindleistungen aufgetragen. Die konzentrischen Kreisbögen, die vom unteren Zentrum aus gezogen sind, verbinden Punkte konstanter Sendespannung bei einer konstanten Empfangsspannung von beispielsweise 215 kV. Die Koordinaten eines Kreispunktes schneiden auf den Achsen die zugehörigen in Mettlen empfangenen Leistungen heraus. Man spricht daher auch von Kreisen der Empfangsleistungen.

Desgleichen verbinden die vom oberen Zentrum aus aufgezeichneten Kreisbögen Punkte gleicher Empfangsspannung bei einer Sendespannung von beispielsweise 246 kV in Lavargo. Die zugehörigen Koordinaten schneiden auf dem Achsenkreuz die sendeseitigen Leistungen heraus. Die Leistungsfaktoren werden leicht durch eine Gerade dargestellt. Sende- und empfangsseitig miteinander korrespondierende Leistungen werden unter gleichen Vektorwinkeln α und als Schnittpunkte mit den zugehörigen Spannungskreisen ermittelt.

Beispiel

Gegeben

Empfangene Leistung in Mettlen: 280 MW, 75 MVar, $\cos \varphi = 0,97$

Empfangsspannung: 215 kV.

Gesucht

Leistungen und Spannung in Lavargo

Resultat

Sendespannung: 246 kV (Punkt A)

Sendeleistungen: 290 MW, 165 MVar, $\cos \varphi = 0,86$ (Punkt B)

Winkel zwischen den Spannungsvektoren Lavargo und Mettlen: ca. 14°.

¹⁾ Siehe zum Beispiel: *Electrical Transmission and Distribution Reference Book*. Pittsburgh Pa.: Westinghouse 1950, 4. Aufl., S. 324.

Die Blindleistungsverluste einer 220-kV-Verbindung

Das Beispiel von Fig. 1 zeigt die recht beachtlichen Blindleistungsverluste von rund 90 MVar auf einer ca. 100 km langen 220-kV-Leitung, die wesentlich oberhalb ihrer natürlichen Leistung betrieben wird.

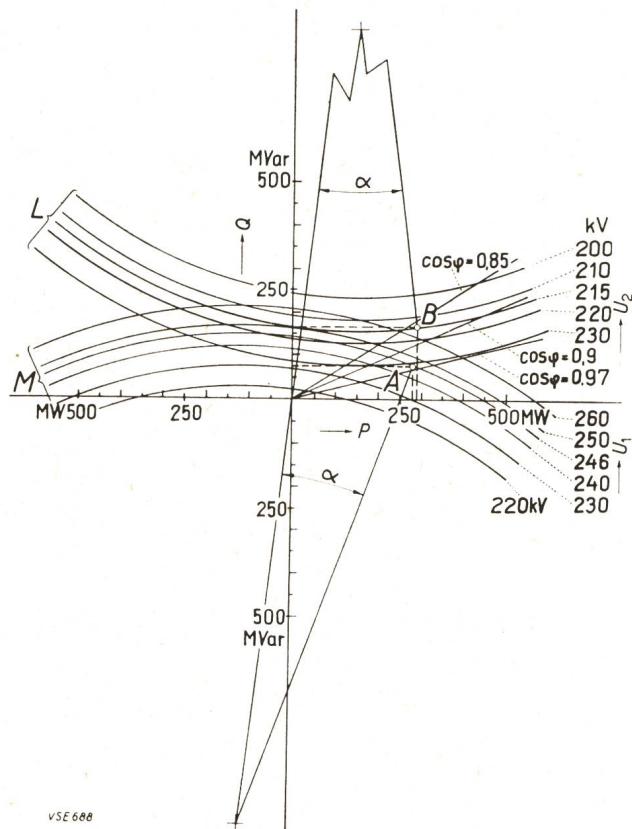


Fig. 1

Wirk-Blindleistungsdiagramm für die 220-kV-Leitung Lavorgo—Mettlen (Lukmanier-Strecke)

- L Kreise für den Sendeort Lavorgo
- M Kreise für den Empfangsort Mettlen
- P Wirkleistung
- Q Blindleistung
- U_1 Sendespannung in Lavorgo bei einer konstanten Spannung von 215 kV in Mettlen
- U_2 Empfangsspannung in Mettlen bei einer konstanten Sendespannung von 246 kV in Lavorgo
- $\cos \varphi$ Leistungsfaktor

Beispiel:

Bezug in Mettlen (Punkt A): 280 MW und 75 MVar bei einer Spannung von 215 kV.

Erforderliche Sendeleistung in Lavorgo (Punkt B): 290 MW und 165 MVar bei einer Spannung von 246 kV

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den *Transformatoren*. Ein Autotransformator für 125 MVA und 220/150 kV, wie er neuerdings in verschiedenen schweizerischen Netzen verwendet wird, hat eine Kurzschlussspannung von rund 7% bei den mittleren Stufen. Bei Nennstrom betragen die Blindleistungsverluste, abgesehen vom Magnetisierungsstrom:

$$Q_v = \frac{7}{100} \cdot S = \frac{7}{100} \cdot 125 = 8,75 \text{ MVar}$$

Bei Übertragungsleistungen in der Größenordnung von 250 MVA ergeben sich allein für die Auf- und Ab-Transformierung die vierfachen Verluste, also 35 MVar.

Da sich nun aber ein übergeordnetes 220-kV-Netz meist historisch aus den Bedürfnissen des Absatzes heraus entwickelt, wird es mindestens nicht an allen Stellen direkt von den Generatoren gespeist, sondern von einem 150-kV-Netz, und dieses eventuell nur zum Teil direkt. Das heisst, je höher sich die Betriebsspannung entwickelt, desto mehr Transformatoren nehmen an der Übertragung teil, und desto grösser werden im allgemeinen die Blindleistungsverluste sein. *Es ist daher unwirtschaftlich, die Blindleistung über Hoch- und Höchstspannungsanlagen zu transportieren.* Eine Kompensation möglichst in den Verbrauchszentren drängt sich bei gut belasteten Höchstspannungsnetzen erst recht auf.

Von diesem Gesichtspunkt aus hat es heute wenig Sinn, Generatoren in weit entfernten Zentralen ohne nennenswerte örtliche Belastung für einen unnötig tiefen Leistungsfaktor auszulegen. Dagegen sind kleinere Kurzschlussspannungen der Transformatoren, wie sie bei *Sparschaltung* leicht möglich sind, sehr erwünscht. Man erzielt damit überdies eine Verbesserung der Stabilität²⁾. Die daraus resultierenden grösseren Kurzschlussleistungen werden von den modernen Schaltern bewältigt.

Umgekehrt ist es sehr vorteilhaft, die Generatoren in Kraftwerken, die sich in der Nähe von Verbraucherschwerpunkten befinden, für einen möglichst tiefen Leistungsfaktor auszulegen. Meist kann nur ein kleiner Teil des Gesamtbedarfs in diesen Kraftwerken erzeugt werden; der grössere Teil muss über längere Leitungen herantransportiert und trotz Übertragung mit $\cos \varphi \approx 1$ mit einem Leistungsfaktor von ca. 0,8 verteilt werden. Beispiele dieser Art stellen *Bannwil*, *Birsfelden* und *Rheinau* dar. Die Generatoren dieser Kraftwerke sind teilweise sogar für einen $\cos \varphi$ von nur 0,45 ausgelegt.

Der Spannungsverlust einer 220-kV-Verbindung

Wie das Diagramm der Fig. 1 zeigt, hat die Blindlast einen grossen Einfluss auf den Längs- oder algebraischen *Spannungsabfall*, d. h. auf diejenige Komponente, die mit dem Vektor der Empfangsspannung in Phase ist.

Beim Bezug von 280 MW und 0 MVar mit einer Empfangsspannung von 215 kV in Mettlen muss zum Beispiel die Sendespannung in Lavorgo nur noch 230 kV betragen. Der Blindleistungstransport von 75 MVar nach dem ersten Beispiel verursacht also praktisch einen gleich grossen Spannungsabfall wie derjenige einer Wirkleistung von 280 MW.

Die von weit entfernten Zentralen in die Verbrauchszentren transportierte Blindenergie verursacht also auch noch *relativ grosse Spannungsverluste*. Diese kann man zwar durch die Stufenschalter an Transformatoren etwas ausregeln, aber nur für die über Transformatoren angeschlossenen unteren Spannungssysteme. Für die Primärspannung bleibt das grosse Spannungsgefälle bestehen. Welche Nachteile dies bringt, hat seinerzeit *W. Hauser* dargetan³⁾.

²⁾ Siehe zum Beispiel: *Hoard B. V., Lewis Weiner, Maching Mc Nary: Electrical Characteristics with Bonneville Transmission System. Electr. Engng. Bd. 68(1949), Nr. 9, S. 789...792.*

³⁾ Siehe *W. Hauser: Spannungshaltung und Kurzschlusschutz im Betrieb mit 380-kV-Anlagen. Bull. SEV Bd. 44(1953), Nr. 4, S. 137...141.*

Sinkt zum Beispiel die Oberspannung auf der Empfangsseite unter die Nennspannung der Transformatoren, dann laufen diese Gefahr, mit Strom überlastet zu werden, währenddem sie in der Spannung nicht ausgenützt sind. Auf der Sendeseite liegt umgekehrt die Grenze bei der maximal zulässigen Betriebsspannung. Ist diese schon erreicht, dann beschränkt der maximal zulässige Spannungsverlust die Übertragungsfähigkeit des Systems.

In der Tat werden in schweizerischen Verhältnissen die heute möglichen Transportleistungen sehr oft in erster Linie dadurch begrenzt. Eine Kompensation des Blindstrombedarfes am Verbrauchsstand drängt sich also auf. Die vielen Veröffentlichungen über Blindstromkompensation⁴⁾ zeigen, dass dieser Frage je und je Bedeutung beigemessen wurde.

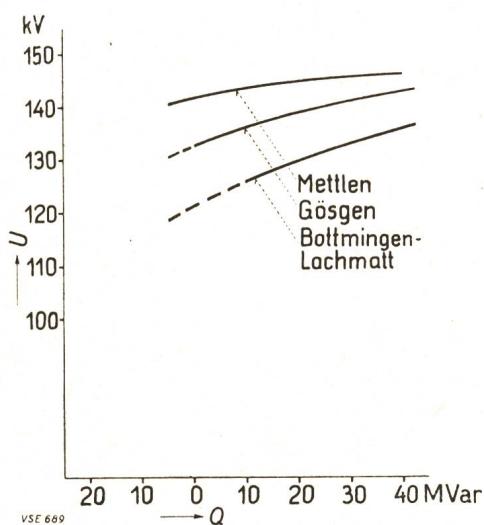


Fig. 2
Spannungskurven für das 150-kV-Netz der ATEL
(Betrieb Nord)

Q Blindleistung
U Netzspannung

Die Kurven stellen die Spannungen für einen bestimmten Betriebszustand an verschiedenen Netzpunkten im Abschnitt Nord in Funktion der zusätzlich eingeführten Blindleistung dar

Für die Hochspannungsnetze besteht natürlich die Frage der Wirtschaftlichkeit und Abschreibung der Kompensationsmittel durch Verlusteinsparung ebenfalls; sehr oft ist jedoch die Frage der Spannungshaltung viel bedeutungsvoller⁵⁾. Bei schon bestehenden Netzen geht es darum, eine Mehrlast, verursacht durch eine wichtige Industrie oder zu folge allgemein steigenden Konsums noch zu übernehmen und trotzdem die Spannung auf einem guten Niveau zu halten. Fig. 2 zeigt als Beispiel Spannungskurven des 150-kV-Netzes der ATEL für einen bestimmten Belastungszustand.

Netzmodellversuche

Einen recht guten Anhaltspunkt für die zu kompensierende Blindleistung liefern in erster Annäherung die für die wichtigsten Verbindungsleitungen

⁴⁾ Siehe die Literaturzusammenstellung am Schluss des Artikels.

⁵⁾ Siehe auch P. M. Minder: Shunt-Kondensatorenbatterien in Mittel- und Hochspannungsnetzen, Bull. SEV Bd. 48 (1957), Nr. 2, S. 37...40.

aufgestellten Ortskurven nach Fig. 1. Aus ihnen kann annähernd ermittelt werden, wie gross für einen bestimmten Fall die zu kompensierende Blindleistung ist. Auf diese Art hat die ATEL schon vor einigen Jahren einen zukünftigen Bedarf von ca. 70 MVar errechnet. Sie entschloss sich daraufhin, vorerst in Luterbach eine Kondensatorenbatterie von 10 MVar (siehe Fig. 3) und im Werk Gösgen einen Synchronphasenschieber von 30 MVar aufzustellen.



Fig. 3
Die Kondensatoren-Batterie in Luterbach

Diese Kondensatoren-Batterie ist auf dem Areal des AEK aufgestellt; sie ist für direkten Anschluss an 10 kV bestimmt

Um jedoch umfangreichere und zeitraubende Studien und Rechnungen zu ersparen, wurden vor ca. 3 1/2 Jahren unter Mitarbeit der ATEL Netzmodellversuche beim Comité Belge de la Table de Calcul électrique (Tablelec) in Brüssel durchge-

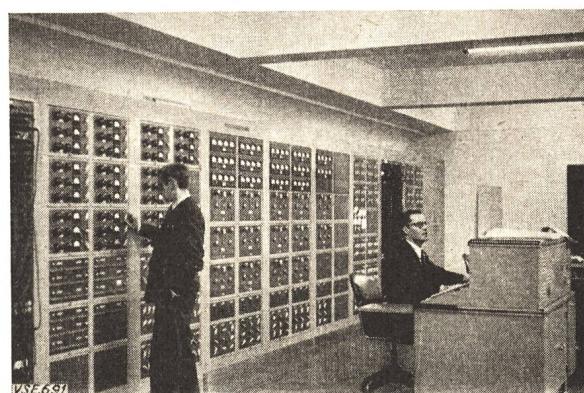


Fig. 4
Das Netzmodell der «Tablelec» in Brüssel
Die Netzelastungen werden gerade eingestellt

führt⁶⁾. Dort wurde das ganze Netz der ATEL mit den vorauszusehenden Belastungen nachgebildet (siehe Fig. 4). Es interessierten vor allem die Fragen:

1. Welche Blindleistungen müssen noch kompensiert werden, um die gewünschten Spannungen in den wichtigsten Abgabepunkten zu erreichen?

⁶⁾ Inzwischen ist auch in Baden (Aargau) ein modernes Wechselstromnetzmodell aufgestellt worden.

2. Welche sind die günstigsten Aufstellungsorte für die weiter zu installierenden Kompensationsmittel?

Versuchsgrundlagen

Folgende Unterlagen sind für eine Untersuchung am Wechselstromnetzmodell über die stationären Spannungsverhältnisse und die Lastverteilung eines Netzes notwendig oder wünschbar:

Für die Generatoren: Nennleistung, Nennspannung, Nennstrom, Reaktanzen

Für die Transformatoren: Nennleistung, Nennspannung, Nennstrom, Stufenspannungen und Kurzschlußspannung

Für die Leitungen: Nennspannung, Reaktanz, Ohmscher Widerstand und Kapazität, sofern diese einen nennenswerten Einfluss hat.

Von dem zu untersuchenden Netz wird am besten ein stark vereinfachtes Schaltbild gezeichnet, das zwischen den einzelnen Symbolen genügend Platz für Zahlenangaben aufweist. Die Figuren 5 und 6 zeigen solche Schaltbilder.

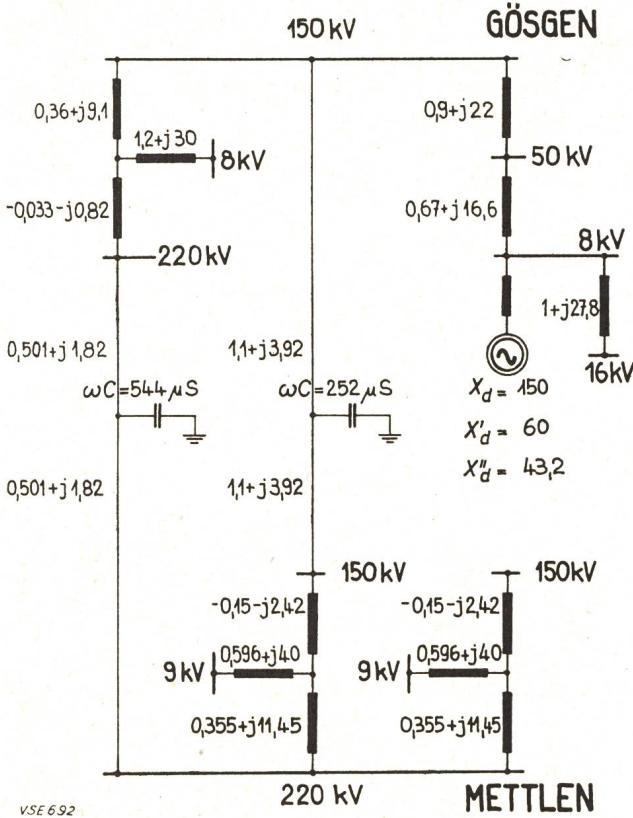


Fig. 5

Ausschnitt aus dem Netzplan für die Impedanzen des Mitsystems

Die Zahlen stellen die Impedanzen in Ω dar, bezogen auf eine Nennleistung von 100 MVA

X_d , X'_d , X''_d charakteristische Reaktanzen der Synchronmaschine, bezogen auf 150 kV und eine Nennleistung von 100 MVA

wC kapazitive Reaktanz der Leitungen in μS , bezogen auf eine Nennleistung von 100 MVA

(Über das Rechnen mit symmetrischen Komponenten siehe zum Beispiel [16]...[22] gemäß Literaturverzeichnis am Schluss dieser Arbeit).

Die im Schema der Fig. 5 notierten Zahlen stellen die Impedanzen, bezogen auf eine Nennleistung von 100 MVA, dar.

Die Umrechnungen ergeben sich leicht nach folgenden Gleichungen:

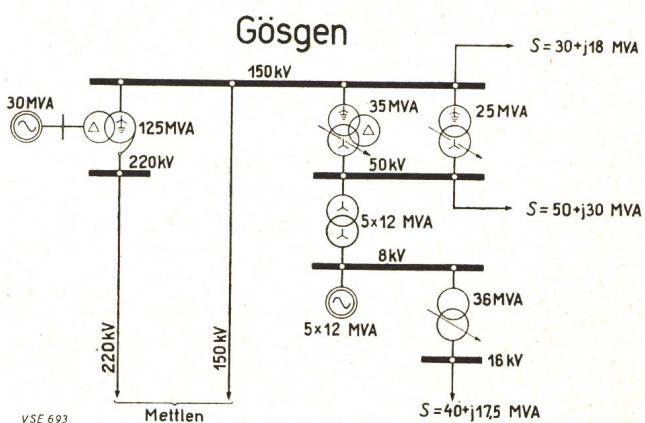


Fig. 6

Ausschnitt aus dem Netzplan

Die Zahlen neben den Maschinen und Transformatoren stellen ihre Nennleistung in MVA dar

S Scheinleistung in MVA (Belastung)

Daten der beiden Leitungen von Gösgen nach Mettlen:

Tracélänge 41,59 km
Leiterabstand 5,2 m
Leiterquerschnitt (Cu) 150 mm²

Bedeuten:

S die Scheinleistung in kVA
 U die verkettete Spannung
 U_n die Phasenspannung
 I_n der Nennstrom in A
 Z die Impedanz in Ohm
 wC der kapazitive Querleitwert in μS
 a die prozentuale Kurzschlußspannung

dann bestehen folgende Beziehungen:

$$Z = \frac{U_n}{I_n} \quad \text{oder} \quad Z = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_n}$$

Setzt man die Spannung in kV ein, so ergibt sich:

$$Z = \frac{1000 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_n} \quad I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

$$Z = \frac{1000 \cdot U^2}{S}$$

Besitzt der Übertrager (Transformator oder Leitung) eine Kurzschlußspannung von a Prozent, so wird schliesslich die Impedanz

$$Z = \frac{10 \cdot a \cdot U^2}{S}$$

oder

$$a = Z \cdot \frac{S}{10 \cdot U^2}$$

Aus dieser Gleichung geht hervor, dass mit der Änderung der Leistungsbasis S die Kurzschlußspannung ebenfalls proportional ändert.

Beispiel: Für die 220-kV-Leitung Gösgen–Mettlen sind gegeben:

$$R = 4,95 \Omega \quad X = 17,65 \Omega \quad wC = 112,3 \mu\text{S}$$

Daraus folgt:

$$Z = \frac{(4,95 + j 17,65) \cdot 100000}{10 \cdot 220^2} = 1,02 + j 3,64$$

$$wC = \frac{10 \cdot 112,3 \cdot 220^2}{100000} = 544 \mu\text{S}$$

Versuchsresultate

Die Abbildung der *Winterbelastung* zeigte, dass die erforderlichen Spannungen gut gehalten werden können. Dieses Resultat deckte sich mit unsren bisherigen Erfahrungen. Die günstige Situation röhrt hauptsächlich davon her, dass in den Laufwerken *Gösgen*, *Ruppoldingen* und *Ryburg-Schwörstadt* im Winter leicht die erforderliche Blindleistung erzeugt werden kann.

Die Abbildung der zu erwartenden *Sommerbelastung* liess erkennen, dass die Spannungen an den Abgabepunkten ohne zusätzliche Mittel nicht auf der erforderlichen Höhe gehalten werden können, obschon die Reguliertransformatoren in die Endstufen gefahren und in allen angeschlossenen Kraftwerken die maximal möglichen Spannungen und Blindleistungen eingestellt wurden, ein Optimum, das betriebsmäßig ohnehin kaum zu erreichen ist.

Es wurden daher vorerst einmal im Unterwerk *Lachmatt* 20 MVar an der 50-kV-Sammelschiene angeschlossen, wodurch die Abgabespannungen in diesen Verbrauchszentren etwas anstiegen und an den Transformatoren in Mettlen und Gösgen wieder etwas mehr Reguliermarge entstand. Gleichzeitig zeigte sich, dass die Wirkleistungsverluste um ca. 2,5 MW und die Blindleistungsverluste um ca. 19 MVar zurückgehen. Eine weitere Erhöhung der Kompensationsleistung im Unterwerk Lachmatt ergab noch bessere Resultate. Zudem liess die Ver-

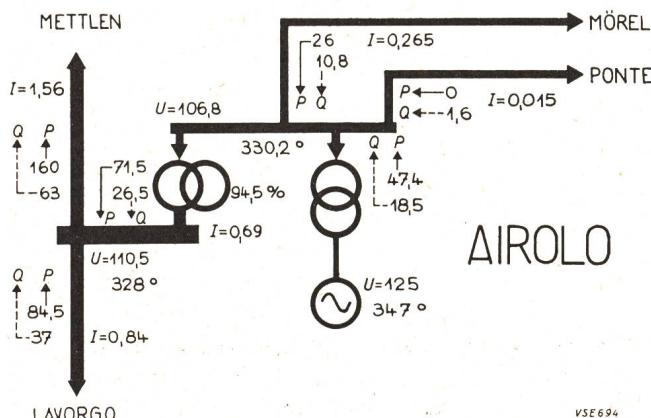


Fig. 7

Ausschnitt aus dem Netzplan mit den für einen bestimmten Fall am Netzmodell gefundenen Messwerten

P Wirkleistungsfluss in MW

Q Blindleistungsfluss in MVar

U Spannung in Prozent der Nennspannung

I Strom in A, bezogen auf eine Nennleistung von 100 MVA

Die Gradzahlen beziehen sich auf die Winkel der Spannung

Die Prozentzahlen neben den regelbaren Transformatoren geben die eingestellte Stufe an

lustverminderung erkennen, dass die für die richtige Spannungshaltung unbedingt erforderliche Blindleistungserzeugung auch vom Standpunkt der Verlustverminderung aus wirtschaftlich ist. Fig. 7 vermittelt den Ausschnitt eines Netzplanes, in welchem die in einen bestimmten Fall am Netzmodell abgelesenen Werte eingetragen sind.

Beispiel einer Netzmodell-Messung

Das gesamte ATEL-Netz ist bei normalen Betriebsverhältnissen, insbesondere mit normalen Belastungen abgebildet. An Kompensationsmitteln sind der Synchronphasenschieber von 30 MVar in *Gösgen* und die Kondensatorenbatterie von 10,5 MVar in *Luterbach* eingesetzt. Alternativ werden je 20 MVar in *Bottmingen* und *Lachmatt* ab- oder zugeschaltet.

Aus der Tabelle geht hervor, dass durch den Einsatz der Kondensatorenbatterien mit einer Gesamtleistung von 40 MVar an den Abgabepunkten, weitere 33 MVar durch Verlustverminderung eingespart werden können.

	Netz ohne Kondensatorenbatterie in Bottmingen und Lachmatt	Netz mit Kondensatorenbatterie in Bottmingen und Lachmatt von je 20 MVar, somit insgesamt 40 MVar
Wirkverluste in den Leitungen	19,6 MW	15,9 MW
Blindleistungsverluste in den Leitungen	91,2 MVar	72,6 MVar
Blindleistungsverluste in den Transformatoren.	54,5 MVar	41,7 MVar
Blindleistungserzeugung durch die Leitungen .	— 82,1 MVar	— 83,4 MVar
Blindleistungserzeugung durch Kondensatorenbatterien	0	— 40,0 MVar
Gesamter Blindleistungsbedarf	63,6 MVar	— 9,1 MVar

Stellt man die so gewonnenen Ergebnisse in einer Kurve dar, dann ergibt sich das Bild der Fig. 8.

Besondere Vorteile einer Netzmodelluntersuchung

Eine Netzmodelluntersuchung ist in verschiedener Hinsicht vorteilhaft:

- Je mehr ein Netz vermascht ist, um so grösser wird der Zeitgewinn, insbesondere dann, wenn, wie bei der Bestimmung von Kurzschlussleistungen, mit vielen Netzmäschten gerechnet werden müsste.
- Bei jeder Messung wird automatisch das *Verhalten des ganzen Netzes* ersichtlich. Dadurch treten unter Umständen Einflüsse oder Auswirkungen zutage, die man sonst vielleicht nicht beachtet hätte ⁷⁾.
- Im Wechselstrom-Netzmodell können nach Belieben Leitungen, Generatoren, Transformatoren oder Synchronphasenschieber ein- oder ausgeschaltet und die Auswirkungen dieser Schaltungen ohne Störung des «Betriebs» untersucht werden.

Auf Grund der rechnerischen Untersuchungen hatte die ATEL für die Zukunft ein Manko von 70 MVar festgestellt und daraufhin in Luterbach

⁷⁾ Auf die Schwierigkeit, solche Lücken bei der Lösung von komplexen Aufgaben zu vermeiden, hat kürzlich auch Herr Dr. Th. Boveri hingewiesen. Siehe Bull. SEV Bd. 46(1955), Nr. 21, S. 983...986.

eine Kondensatorenbatterie von 10 MVar aufgestellt, sowie für das KW Gösgen einen Synchronkompensator von 30 MVar bestellt. Die Netzmodelluntersuchungen haben die Richtigkeit der rechnerischen Ermittlungen bestätigt. Sie zeigten in eindrücklicher Weise neben der *Verlustverminderung* die *Spannungsverbesserung* an jedem Netzpunkt. Die sehr guten Auswirkungen von weiteren 40 MVar Kompensationsleistung im Raum Lachmatt-Bottmingen liessen die Vorteile einer solchen Massnahme deutlich erkennen, worauf die ATEL vorerst für diese beiden Unterwerke je eine Kondensatorenbatterie von 15 MVar in Auftrag gab.

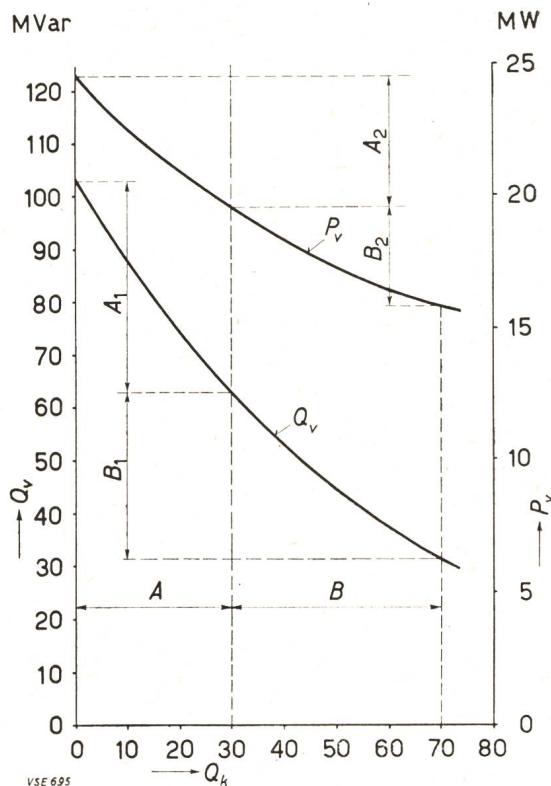


Fig. 8

Kurven der Verluste im gesamten ATEL-Netz
Einfluss der Kompensation

- Q_k Kompensationsleistung
- Q_v Blindleistungsverluste
- P_v Wirkleistungsverluste
- A Blindleistung des Synchronkompensators
- A_1 Minderverluste der Blindleistung durch den Synchronkompensator
- A_2 Minderverluste an Wirkleistung durch den Synchronkompensator
- B Blindleistung der Kondensatoren-Batterien im Raum Lachmatt-Bottmingen
- B_1 Minderverluste an Wirkleistung durch die Kondensatoren-Batterien
- B_2 Minderverluste an Blindleistung durch die Kondensatoren-Batterien

Vergleich zwischen Synchronphasenschieber und Kondensatorenbatterie

Man kann sich mit Recht fragen, warum die ATEL nicht einheitlich den einen oder den andern Typ von Blindleistungserzeugern gewählt hat.

Für die *kontinuierliche Regelung* ist der Synchronphasenschieber vorteilhafter. Mit ihm kann

jeder beliebige Wert der Netzspannung innerhalb des Kompensationsbereiches automatisch oder von Hand eingestellt werden. Er kann nicht nur als übererregte, sondern auch als untererregte Synchronmaschine betrieben werden. Somit kann nicht nur eine zu tiefe Spannung gehoben, sondern auch bei Schwachlast eine zu hohe Spannung gesenkt werden. Er benötigt allerdings etwas mehr Wartung als eine Kondensatorenbatterie, was jedoch in einer Zentrale wie Gösgen, wo andere Generatoren vorhanden sind, bedeutungslos ist.

Im Gegensatz dazu kann die Kondensatorenbatterie in Grossanlagen nur *in ganz groben Stufen* und mit einem umständlichen Schaltmanöver reguliert werden. Die Leistung einer solchen Batterie ändert sich quadratisch mit der Spannung. Dagegen erfordert sie praktisch keinen Unterhalt; sie ist leicht zu montieren; besondere Maschinenfundamente sind nicht nötig. Die Kondensatorenbatterie eignet sich daher besonders gut für unbediente Unterwerke.

Die ATEL hat durch Aufstellung beider Kompensationsmittel deren Vorteile kombiniert. Der Synchronkompensator erlaubt, die Spannung kontinuierlich zu regeln und einen Leistungsbereich von — 20 bis + 30 MVar zu bestreichen. Die Kondensatorenbatterien übernehmen, teilweise in unbedienten Unterwerken bei Konsumschwerpunkten, die Grundlast ganz nahe an den Verbrauchern.

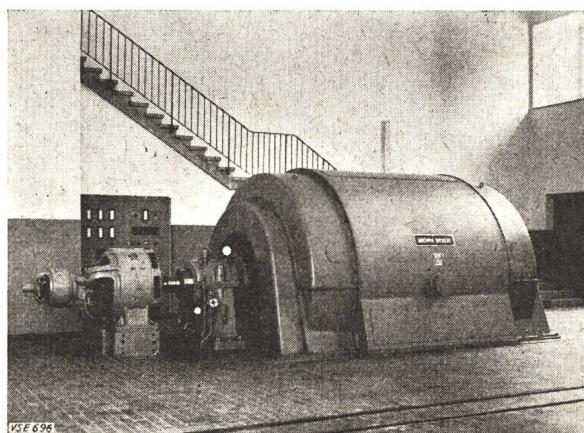


Fig. 9

Der Synchronkompensator von 30 MVar im Kraftwerk Gösgen
Spannung 8 kV, Nenndrehzahl 1100 U/m
Links der direkt gekuppelte Erreger; im Hintergrund
die Maschinenschalttafel

Der Synchronkompensator

Die Hauptdaten des Synchronkompensators von Gösgen (siehe Fig. 9) sind die folgenden:

- Nennleistung: kontinuierlich regelbar von — 20 bis + 30 MVar
- Nennspannung: 8 kV
- Polzahl: 6
- Drehzahl: 1000
- Verluste: Bei + 30 MVar 500 kW oder 1,67 %
Bei — 20 MVar 290 kW

Die Maschine kann entweder an die 8-kV-Sammelschienen der Generatoren oder an die Tertiärwicklung der 125-MVA-Transformatoren 220/150/8 kV angeschlossen werden.

Der Anlauf

Dieser erfolgt in etwas verbesserter *Korndörfer-Schaltung*, die in Gösgen erstmals zur Anwendung kam. Sie dürfte daher besonderes Interesse beanspruchen.

Bei dieser Schaltung (siehe Fig. 10) wird der Synchronkompensator *f* wie ein Asynchronmotor, jedoch mit verminderter Spannung ab einem Anlasstransformator *d* angeworfen. Die Rotor- oder Erregerwicklung ist während dieses Vorganges über einen Ohmschen Widerstand *h* kurzgeschlossen, wodurch der Leistungsfaktor des Rotorstromes und damit das Anlaufmoment verbessert wird.

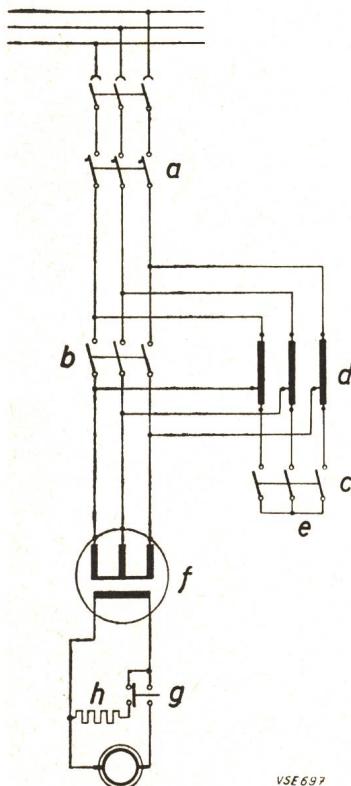


Fig. 10
Prinzipschema für den Anlauf des Synchronkompensators von Gösgen
Die Schaltung ist als Körndörferschaltung bekannt
f Synchronkompensator
d Anlasstransformator
h Widerstand
a, b, c, g Schalter
Weitere Einzelheiten siehe im Text

VSE 697

Der Anlassvorgang selbst kann an Hand von Fig. 10 und des von der ATEL aufgenommenen Oszillogrammes (Fig. 11) verfolgt werden.

Bei Punkt 1 (Fig. 11) erhält der Synchronkompensator über Schalter *a* und Anlasstransformator *d* Spannung. Bei Punkt 2 durchläuft der Rotor die halbe Nenndrehzahl. Bei Punkt 3 fällt das Polrad zufolge der ausgeprägten Pole in Tritt. Bei Punkt 4 wird das Magnetfeld über Schalter *g* eingeschaltet. Bei Punkt 5 hat sich die Maschine erregt. Hierauf wird bei Punkt 6 der Sternpunktsschalter *c* geöffnet, worauf der Anlasstransformator nur noch als Drossel wirkt. Er ist mit einem Luftspalt ausgeführt derart, dass die Maschine auch nach dem Öffnen dieses Schalters genug Spannung erhält, um ohne schädlichen Nacheilwinkel zwischen Maschinen-EMK und Sammelschienenspannung pendelfrei in Tritt zu bleiben.

Nach kurzer Zeit hat die Klemmenspannung der Maschine ebenfalls 8 kV erreicht (Punkt 8 des Oszillogrammes). Der Überbrückungsschalter kann geschlossen und die Maschine belastet werden. Der ganze Anlaufvorgang dauert nur etwas mehr als eine Minute.

Alle Schaltungen sind gegenseitig so verriegelt, dass die einzelnen Schaltungen zwangsläufig nur in der richtigen Reihenfolge vorgenommen werden können. Der Hauptschalter *a* kann nur eingelegt werden, wenn die Motoren für die Druckölpumpen zum Entlasten der Lager beim Anlauf eingeschaltet sind, wenn das Fliessen des Kühlwassers durch Strömungsanzeiger rückgemeldet ist und der Magnetregulator sich automatisch auf die richtige Erregung eingestellt hat. Diese Startbereitschaft wird durch eine grüne Startlampe auf dem Kommandopult gemeldet.

Der Anlaufvorgang kann vollautomatisch gesteuert durch einen Programmschalter, oder von Hand erfolgen. Der automatische Anlauf hat den Vorteil, dass die einzelnen Schaltungen einander praktisch ohne Zeitverzögerung folgen. Der Schaltwärter muss dann nur noch mit den Kommandoschaltern der Reihe nach quittieren.

Das Abstellen erfolgt durch Öffnen des Schalters *a*, worauf ebenfalls durch den Programmschalter alle übrigen Schalter automatisch in die Anlaufstellung gebracht werden; auch hier muss der Schaltwärter nur noch quittieren.

Die Kondensatorbatterie in Luterbach

Die erste Etappe der Blindstromkompensation bestand in der Aufstellung einer Kondensatorenbatterie von ca. 10 MVar in Luterbach auf dem Areal des Unterwerkes der *Gesellschaft des Aare- und Emmenkanals* im Jahre 1953 (Fig. 3). Die Batterie besteht aus 420 Einzelkondensatoren, die, in Stern geschaltet, eine Leistung von 10,5 MVar abgeben.

Die Batterie ist unterteilt in 3 Blöcke von 3, 3 und 4,5 MVar. Zugeschaltet werden kann nur die ganze Batterie auf einmal oder eine Teillast, wenn noch keine eingeschaltet ist. Die Zuschaltung einer Teillast zu einer schon vorhandenen Teillast ergäbe etwas grosse Stromstöße, da sich dann zwischen der im Betrieb stehenden Batterie und der zugeschalteten kurzzeitig hohe Ausgleichströme einstellen würden. Die separate Kondensator-Sammelschiene wird mit einem Druckluftschalter auf die eigentliche 10-kV-Sammelschiene geschaltet, von welcher viele Verbraucherleitungen abzweigen.

Der Anlageschutz besteht lediglich aus Überstromrelais, die bei schweren Störungen unverzögert den Abschaltbefehl erteilen. Der batterieseitig in jeder Phase eingebaute Spannungswandler dient neben der Messung gleichzeitig zum Entladen und Erden der Batterie nach dem Abschalten.

Der Einschaltstromstoss erreicht nur ganz kurz den 3,5fachen Wert des Nennstromes; er klingt in etwa einer Viertelperiode auf einen unbedeutenden Wert ab. Die Spannungserhöhung ist so geringfügig, dass von einer Überspannung nicht gesprochen werden kann.

Betriebsergebnisse

a) Mit den Kondensatorbatterien

Die Betriebsergebnisse sind gut; die Kondensatorenbatterien haben den gestellten Anforderungen

entsprochen. Beispielsweise betrug die Energieabgabe in den letzten Jahren am Ende der 50-kV-Leitungen in Luterbach ca. 180 GWh pro Jahr oder 0,5 GWh/Tag. Nach Einschaltung der Kondensatorenbatterie reduzierten sich die Verluste allein auf den Leitungen Gösgen–Luterbach von ca. 5,6 % auf 3,8 %, d. h. um 1,8 %. Diese Zahlen wurden an Hand der Zählervorschübe ermittelt; sie entsprechen ziemlich genau den rechnerisch ermittelten Mindestverlusten. Pro Jahr konnten somit 3 GWh durch Verlustersparnis zur Verfügung gestellt wer-

Verlustverminderung wirkt sich aber nicht nur auf die Leitungen *Gösgen–Luterbach*, sondern auch auf die Übertragungsanlagen nach dem Süden aus, da die Blindenergie zum Teil aus den Tessiner Werken bezogen werden musste; so konnte die Wirtschaftlichkeit eines grösseren Netzteils erhöht werden. Der Einfluss der Kondensatoren-Batterie von Luterbach auf die Spannung an der gleichen Stelle des Netzes zeigt Fig. 12.

In den Unterwerken *Bottmingen* und *Lachmatt* sind inzwischen ebenfalls je eine Kondensatorlei-

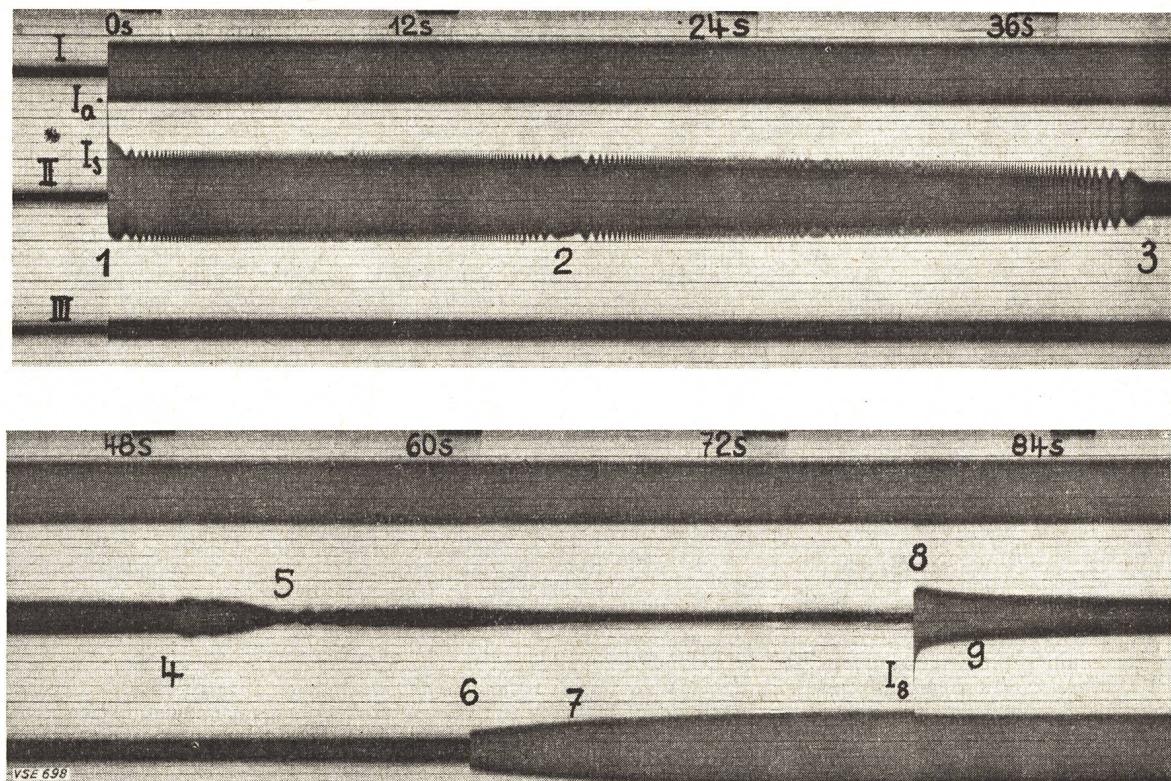


Fig. 11

Oszillogramm des vollautomatischen Anlaufes des Synchronkompensators von Gösgen (Aufnahme ATEL)

Speisung direkt von der 8-kV-Sammelschiene

- I Spannung kompensatorseitig am Hauptschalter *a*
 II Statorstrom, sammelschienseitig vom Anlasstransformator gemessen
 III Klemmenspannung des Synchronkompensators
 1 Der Synchronkompensator erhält den Startbefehl durch Einlegen des Hauptschalters
 2 Der Rotor durchläuft die halbe Nenndrehzahl
 3 Das Polrad wird in Tritt gezogen
 4 Der Magnetfeldschalter *g* schaltet auf den Erreger um; der Rotor wird erregt
 5 Das Magnetfeld des Polrades ist aufgebaut

6 Der Sternpunktsschalter *c* schaltet aus

- 7 Die Statorspannung wird aufgebaut
 8 Der Schalter *b* überbrückt den Anlasstransformator
 9 Der Stromstoss klingt ab
 I_a Grösster asymmetrischer Scheitelwert: 3520 A, Dauer ca. 0,05 s
 I_s Grösster symmetrischer Effektivwert: 1080 A, klingt nach ca. 18 s langsam ab
 I_s Grösster asymmetrischer Momentanwert: 2260 A
 Grösster symmetrischer Effektivwert: 700 A

Wie das Oszillogramm zeigt, haben die Anlaufströme auf die Sammelschiene spannung keinen Einfluss

den; der Wert dieser Energie kann mit ungefähr Fr. 80 000.— bis 100 000.— beziffert werden. Die Jahreskosten der Anlage betragen Fr. 50 000.— bis 60 000.—, so dass die Möglichkeit besteht, die Übertragungsanlagen etwas rascher zu amortisieren. Die

stung von 15 MVar eingebaut worden. Über ihre Auswirkungen orientierten Tabelle I und die mit Hilfe des Netzmodells gewonnenen Kurven der Figuren 2 und 8, deren Richtigkeit inzwischen durch Betriebsmessungen bestätigt wurde.

b) Mit dem Synchronkompensator

Diese Anlage kam im Juli 1954 in Betrieb und hat seither zur besseren Spannungshaltung und Regulierung wesentlich beigetragen. Die Verbesserung der Spannung entsprach auch hier den Erwartun-

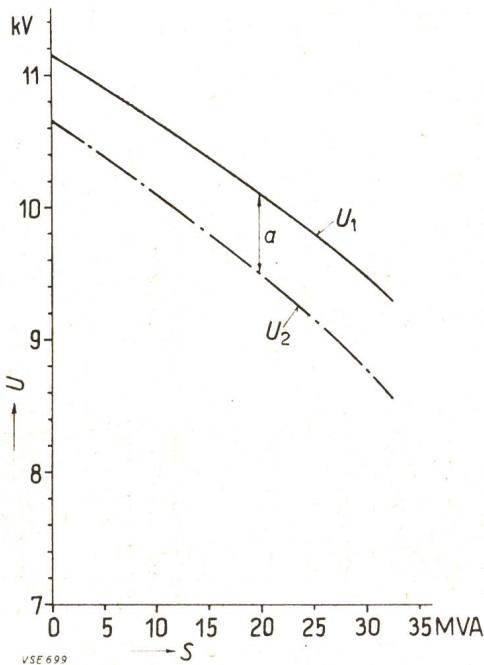


Fig. 12

Spannungsverlauf an den 10-kV-Sammelschienen des Unterwerkes Luterbach in Funktion der Belastung, bei $\cos \varphi = 0,8$

Die Kurven sind mit Hilfe des Netzmodells gemessen worden. Sie zeigen den Einfluss des Einbaues der 10-MVar-Kondensatoren-Batterie von Luterbach.

Die Spannung in Gösgen wird konstant gehalten

- S Scheinleistung (Belastung) mit $\cos \varphi = 0,8$
- U Spannung an der 10-kV-Schiene in Luterbach
- U_1 Spannung mit der Kondensatoren-Batterie
- U_2 Spannung ohne Kondensatoren-Batterie

gen, dargestellt in den Kurven der Figur 2. Die Einsparungen an Wirk- und Blindenergieverlusten sind mindestens so gross wie die nach der Kurve von Figur 8 ermittelten. Da die Maschine gut gekühlt ist, kann sie je nach Bedarf, speziell auch im Sommer, eine Mehrleistung von bis zu 16 % dauernd abgeben. Der vollautomatische Anlauf funktioniert stets einwandfrei.

Literatur

- [1] Minder, P. M.: Shunt-Kondensatorenbatterien in Mittel- und Hochspannungsnetzen. Bull. SEV Bd. 48(1957), Nr. 2, S. 37...40.
- [2] Schmidt, R. A.: D-C Circuit Gives Easy Method of Determining Value of Capacitors in Reducing I²R Losses. Trans. AIEE Bd. 75(1956), Part 3: Power App. & Syst., Nr. 26, S. 840...848.
- [3] Fehlmann, H.: 30-MVA-Synchronkompensator im Kraftwerk Gösgen. Brown Boveri Mitt. Bd. 43(1956), Nr. 12, S. 542...549.
- [4] Cuttino, W. H. und Miles Maxwell: The Natural Frequency of Parallel Capacitors Banks. Trans. AIEE Bd. 75(1956), Part 3: Power App. & Syst., Nr. 25, S. 662...666.
- [5] Sheppard, N. R. und N. R. Schultz: Some Considerations in the Protection of High-Voltage Capacitor Banks. Trans. AIEE Bd. 75(1956), Part 3: Power App. & Syst., Nr. 25, S. 686...694.
- [6] AIEE Committee Report. Bibliography on Power Capacitors 1952...1954. Trans. AIEE Bd. 75(1956), Part. 3: Power App. & Syst., Nr. 23, S. 26...28.
- [7] Brown, P. G., G. W. Otte, L. E. Saline und V. C. Talley: Economics of Switched Shunt Capacitors and Synchronous Condenser Kilovar Supply for Transmission Systems. Trans. AIEE Bd. 73(1954), Part 3: Power App. & Syst., Nr. 16, S. 1553...1563.
- [8] Rathsmann, B. G.: Stabilität und Blindleistung schwedischer Übertragungen. Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 14, S. 570...578.
- [9] Anonym: Finanzierung der Anlagen zur Verbesserung des Leistungsfaktors in Frankreich. Bull. SEV Bd. 54(1954), Nr. 20, S. 855.
- [10] Moraw, K.: Aufstellung einer 110-kV-Kondensatorenbatterie im Umspannwerk Bisamberg. ÖZE Bd. 4(1951), Nr. 9, S. 323.
- [11] Hauser, W.: Spannungshaltung und Kurzschluss-Schutz im Betrieb mit 380-kV-Anlagen. Bull. SEV Bd. 44(1953), Nr. 4, S. 137...141.
- [12] Maret, A.: Réglage par compensateur synchrone d'une ligne de transport haute tension. Le nouveau compensateur 30 000 kVA du poste de Richmond Terminal de la State Electricity Commission of Victoria à Melbourne (Australie). Bull. SEV Bd. 33(1942), Nr. 12, S. 336...346.
- [13] Grieb, F.: Synchronkompenatoren als Spannungsregler. Brown Boveri Mitt. Bd. 12(1925), Nr. 1, S. 10...14.
- [14] Frey, Wolfgang: Die Stabilitätsprobleme des Parallelbetriebes. Diss. ETH. Zürich: Truninger 1956.
- [15] Nissel, Hans: Der Einfluss des $\cos \varphi$ auf die Tarifgestaltung der Elektrizitätswerke. Diss. TH Berlin. Berlin: Springer 1928.
- [16] Wagner, C. F. und R. D. Evans: Symmetrical Components. New York: 1933.
- [17] Illiovici, A.: Les coordonnées symétriques en électrotechnique. Paris: 1934.
- [18] Lyon, W. V.: Application of the Method of Symmetrical Components. New York; London: 1937.
- [19] Rothe, Frederick S.: An Introduction to Power System Analysis. New York: Wiley; London: Chapman & Hall 1953.
- [20] Laible, Th.: Die Theorie der Synchronmaschine im nicht-stationären Betrieb mit Anwendungsbeispielen und unter Berücksichtigung der modernen amerikanischen Literatur. Berlin: Springer 1952.
- [21] Laible, Th.: Die Reaktanzen und andere Konstanten der Synchronmaschine. Bull. Oerlikon Bd. —(1953), Nr. 300, S. 59...71.
- [22] Electrical Transmission and Distribution Reference Book. Pittsburgh Pa.: Westinghouse 1950, 4. Aufl.

Adresse der Autoren:

R. Leresche, Vizedirektor, Aaré-Tessin A.-G. für Elektrizität, Olten; F. Schär, Aare-Tessin A.-G. für Elektrizität, Olten.

Aus dem Kraftwerkbau

Durchschlag des Druckschachtes Castasegna der Bergeller Kraftwerke

Ende Februar ist der Druckschacht der Zentrale Castasegna der Bergeller Kraftwerke der Stadt Zürich durchgeschlagen worden. Dieser 85 % steile Druckschacht weist ein Länge von 950 Meter auf; er ist der längste Schacht, der bis heute in der Schweiz ohne Zwischenfenster ausgebrochen wurde.

Redaktion der «Seiten des VSE»: Sekretariat des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke, Bahnhofplatz 3, Zürich 1, Postadresse: Postfach Zürich 23, Telefon (051) 27 51 91, Postcheckkonto VIII 4355, Telegrammadresse: Electrunion Zürich.

Redaktor: Ch. Morel, Ingenieur.

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