

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 48 (1957)
Heft: 2

Artikel: Shunt-Kondensatoren-batterien in Mittel- und Hochspannungsnetzen
Autor: Minder, P.M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060588>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

GEMEINSAMES PUBLIKATIONSORGAN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS (SEV) UND
DES VERBANDES SCHWEIZERISCHER ELEKTRIZITÄTSWERKE (VSE)

Shunt-Kondensatoren-batterien in Mittel- und Hochspannungsnetzen

Von P. M. Minder, Basel

621.316.727 : 621.311.1 : 621.319.4

Es werden einige technische Grundlagen der Anwendung von Shunt-Kondensatoren in Mittel- und Hochspannungsnetzen erörtert. Die Beziehungen, wie sie bei den Phasenschieber-Niederspannungskondensatoren herrschen, werden vorausgesetzt und neue, bisher weniger bekannte Relationen, die in Hochspannungsnetzen grosse Bedeutung haben, gezeigt. Insbesondere werden die mit der Spannung zusammenhängenden Probleme, Spannungsverlust, Spannungsverteilung und Übertragungsfähigkeit von Leitungen erörtert und auf den grossen Bedarf an Hochspannungs-Kondensatoren-batterien hingewiesen.

L'auteur expose quelques principes concernant l'emploi des condensateurs dans les réseaux moyenne et haute tension. Après un rappel des conditions régissant les condensateurs BT, il fait mention de quelques notions en général peu connues jusqu'ici qui jouent un rôle important dans les réseaux HT. Les problèmes concernant les chutes de tension, la répartition de tension et la capacité de transport des lignes, sont traités de façon détaillée. L'auteur mentionne pour terminer la nécessité de faire un large emploi de condensateurs dans les réseaux HT.

Die Praxis der Aufstellung von Kondensatoren-batterien in Hochspannungsnetzen beginnt auch in der Schweiz Fuss zu fassen. Im übrigen Westeuropa und ganz speziell in Nordamerika ist die Hochspannungs-Kondensatoren-batterie seit Jahren ein vielbenütztes, wichtiges Glied der Hochspannungsnetze.

Der nützliche Einfluss von Kondensatoren zur Verbesserung des Leistungsfaktors und zur Verminderung der Verluste in elektrischen Anlagen, sollen als bekannt vorausgesetzt werden. Ebenso werden als bekannt vorausgesetzt die prozentuale Ausnützung der möglichen Wirkleistung bei verschiedenem Leistungsfaktor, die benötigte Kondensatorleistung zur Änderung eines bestehenden auf einen gewünschten Leistungsfaktor, die benötigte Kondensatorleistung für eine gewünschte Erhöhung der Wirkleistungsübertragung, die Abhängigkeit der Verlustleistung von Leitungen und Transformatoren vom Leistungsfaktor der Belastung. Alle diese Beziehungen sind von grösster Wichtigkeit bei der Behandlung von Phasenschieber-Problemen in Niederspannungsnetzen. Sie haben aber die gleiche Bedeutung in Hochspannungsnetzen; jedoch treten hier noch weitere Gesichtspunkte hinzu.

Es wird im allgemeinen angenommen, dass für die Kompensation auf einen Leistungsfaktor von $\cos \varphi = 1$ oder nahe daran unökonomisch hohe Kondensatorleistungen nötig sind. Daher wird in Niederspannungsanlagen meistens nur auf einen Leistungsfaktor von $\cos \varphi \approx 0,9$ kompensiert. In Hochspannungsanlagen kommt ein neuer Faktor dazu, nämlich die Spannungshaltung. Diese erfordert erheblich höhere Kompensationsgrade als dies niederspannungsseitig üblich ist. Infolge der grossen Serie-Reaktanzen von Überlandleitungen und

Hochspannungstransformatoren fallen die Spannungsabfälle viel stärker ins Gewicht als bei Niederspannungsanlagen. Bei genauer Untersuchung zeigt sich, dass die Forderung nach flacher Spannungsverteilung in einem ganzen Netz eine Kompensierung auf $\cos \varphi = 1$ oder sogar etwas darüber hinaus (Überkompensation) verlangt. Es zeigt sich weiterhin, dass die grössten Gewinne in der Erhöhung der Spannung und in der Verbesserung der Übertragungsfähigkeit von Leitungen im Gebiet von $\cos \varphi = 0,9$ bis 1 erreicht werden. In Niederspannungsnetzen würde eine Kompensation von $\cos \varphi = 0,9$ auf $\cos \varphi = 1,0$ ungerechtfertigt grosse Kondensatoren-batterien benötigen. Bei der Hochspannungsübertragung ist jedoch dieser grosse Aufwand verantwortbar. Die Wünschbarkeit einer flachen Spannungsverteilung in einem ganzen Netz ist durch die dabei erzielte grösste Wirtschaftlichkeit im Betrieb begründet, eine Theorie der Elektrotechnik, die allgemein bekannt sein dürfte.

Die erwähnten Probleme können berechnet und die Resultate in Kurvenform aufgezeichnet werden. Diese gestatten einen recht interessanten Einblick in die Wirkungsweise von Shunt-Kondensatoren-batterien in Hochspannungsanlagen.

Fig. 1 zeigt den Spannungsverlust in Funktion des Belastungs- $\cos \varphi$ ¹⁾ bei Serioreaktanzen von 10, 20 und 30 % bei einer Belastungsimpedanz von 100 %. Wenn man bedenkt, dass grosse Hochspannungstransformatoren allein Kurzschlußspannungen von 10 bis 20 % haben, so kann die Reaktanz von Transformator—Leitungs-Kombinationen leicht mehr als 30 % ausmachen, wobei dann ohne Kom-

¹⁾ Mit «Belastungs- $\cos \varphi$ » soll in dieser Arbeit der Leistungsfaktor im Abnahmepunkt der Hochspannungsleitung bezeichnet werden (z. B. der $\cos \varphi$ eines Verteilnetzes in einer Unterstation).

pensation durch Kondensatoren unhaltbare Spannungs- und natürlich auch Scheinleistungsverluste entstehen würden. Der Ohmsche Seriewiderstand ist der Einfachheit halber in den den Kurven der Fig. 1 zu Grunde liegenden Berechnungen vernachlässigt worden, was in Anbetracht des im allgemeinen kleinen Verhältnisses von R/X_L^2) statthaft ist.

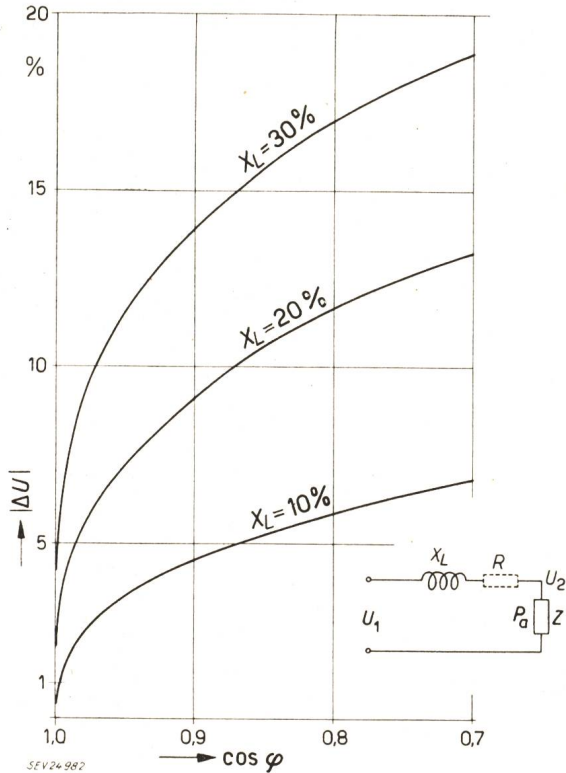


Fig. 1

Spannungsverlust ΔU in Funktion des Belastungs- $\cos \varphi$ bei Serioreaktanzen $X_L = 10, 20$ und 30%

P_a Belastung am Abnahmeort; R Seriewiderstand der Transformator—Leitungskombination (vernachlässigt); X_L Serioreaktanz der Transformator—Leitungskombination; Z Belastungsimpedanz (= 100 %); U_1 Eingangsspannung; U_2 Ausgangsspannung; $\Delta U = |U_1| - |U_2|$ Spannungsverlust in Prozenten von U_1

Wenn die Forderung nach Spannungsgleichheit in allen wichtigen Netzpunkten erfüllt werden soll, bedeutet das, dass der Belastungs- $\cos \varphi$ überkompensiert sein muss, wie dies auch in Fig. 2 angedeutet ist. Diese Figur zeigt die für die Überkompensierung erforderliche kapazitive Blindleistung in Funktion der Serioreaktanz. Im allgemeinen wird eine Leitungsreaktanz $X_L > 70\%$ der Belastungsimpedanz recht selten sein; trotzdem ist die Kurve der Fig. 2 bis $X_L = 100\%$ gezeichnet, da es manchmal vorkommen kann, dass Stickleitungen, bei denen die Stabilität keine Rolle spielt, vorübergehend übermässig beansprucht werden müssen. Für solche Notfälle kann eine fahrbare Kondensatorenbatterie grosse Dienste leisten.

Sehr instruktiv ist Fig. 3. Sie zeigt die übertragbare Scheinleistung einer Hochspannungsleitung in Funktion des Belastungs- $\cos \varphi$ bei gegebenen Spannungsbedingungen. Man beachte, dass bei Zulassung eines 5%igen Spannungsabfalles und unter

Annahme eines R/X_L -Verhältnisses von 0,25 die Übertragungsfähigkeit bei $\cos \varphi = 0,95$ nur 56% derjenigen bei $\cos \varphi = 1$ ist. Bei kleinerem Verhältnis von R/X_L als 0,25 (was im allgemeinen der Fall ist für Leitungen von 220 kV und mehr), wird

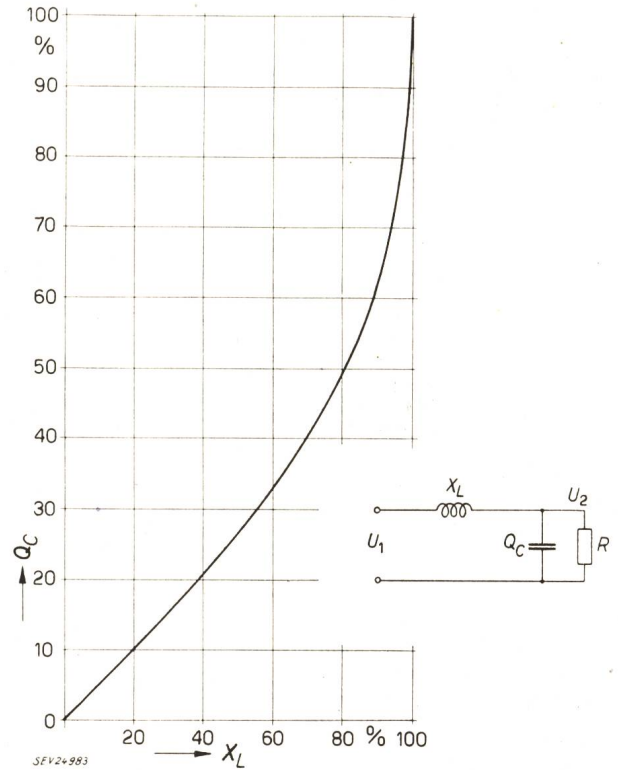


Fig. 2

Für die Überkompensierung benötigte kapazitive Blindleistung Q_C in Funktion der Serioreaktanz zur Einhaltung der Bedingung $|U_1| = |U_2|$

X_L Serioreaktanz in Prozenten von R ; R Ohmscher Widerstand der Belastung = 100 %

Q_C kapazitive Blindleistung in Prozenten von U_2^2/R

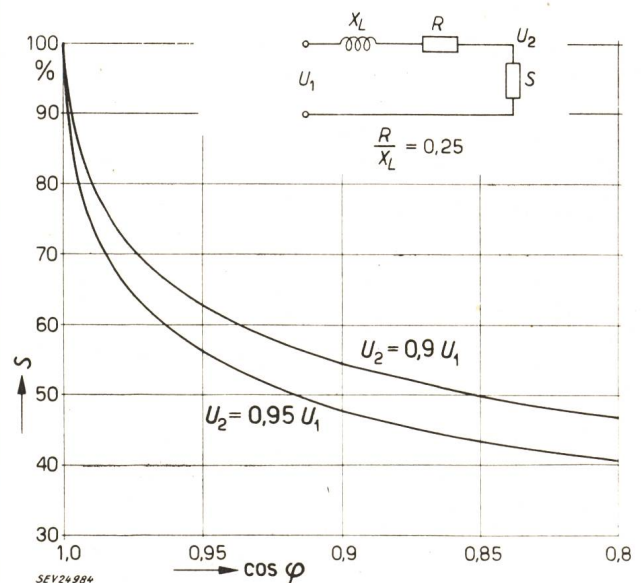


Fig. 3

Übertragbare Scheinleistung S einer Hochspannungsleitung in Prozenten der auf $\cos \varphi = 1$ kompensierten Leistung in Funktion des Belastungs- $\cos \varphi$ bei gegebenen Spannungsbedingungen X_L Serioreaktanz der Leitung; R Ohmscher Widerstand der Leitung; U_1 Spannung am Anfang der Leitung; U_2 Spannung am Ende der Leitung

²⁾ R Ohmscher Widerstand der Transformator—Leitungskombination, X_L Serioreaktanz derselben.

die prozentuale Abnahme der Übertragungsfähigkeit bei schlechtem Leistungsfaktor noch ausgeprägter; im Grenzfall von $R = 0$ reduziert sich der Prozentsatz von 56% auf 43% für sonst gleiche Verhältnisse. Natürlich ist die Übertragung von Wirkleistung bei gleichen Bedingungen noch um den Faktor $\cos \varphi$ kleiner.

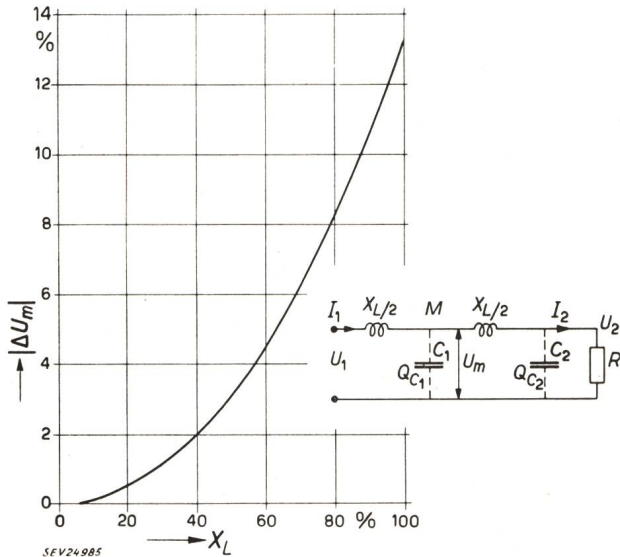


Fig. 4

Spannungsdifferenz $|\Delta U_m|$ (in Prozenten der Eingangs- bzw. der Ausgangsspannung) in Funktion der Seriереактанз X_L

$$|U_1| = |U_2|$$

U_m Spannung in der elektrischen Mitte M der Leitung—Transformator-Kombination; $|\Delta U_m| = |U_m| - |U_1|$ Spannungsdifferenz zwischen U_m und der Eingangs- bzw. Ausgangsspannung, angegeben in % von U_1 ;

Q_{C_2} , Q_{C_1} für die Übertragung benötigte kapazitive Blindleistung; X_L Seriереактанз in Prozenten der Impedanz $[R \parallel C_2]$; R Ohmscher Widerstand der Belastung

Bei langen Leitungen oder bei Leitung—Transformator-Kombinationen können Seriереактанzen auftreten, in deren elektrischer Mitte die Spannung erheblich abweicht von den Anfangs- und Endspannungen U_1 und U_2 . Die prozentuale Abweichung ist in Fig. 4 als Funktion der totalen Seriереактанз X_L in Prozent derjenigen Belastung, bei welcher die Bedingung $|U_1| = |U_2|$ erfüllt ist, gezeigt. Hierbei ist U_m , die Spannung in der elektrischen Mitte M der Seriереактанз, kleiner als U_1 und U_2 , wenn dort kein Kondensator installiert ist und in diesem Falle die Belastung mit Q_{C_2} entsprechend überkompensiert ist, um der Bedingung $|U_1| = |U_2|$ zu genügen. Ist hingegen der Leistungsfaktor der Belastung $\cos \varphi = 1$ und ist das System als Ganzes (von den Eingangsklemmen von U_1 aus gesehen) in der elektrischen Mitte der Seriереактанз mit einem Kondensator mit der Reaktanz $X_{C_1} = \frac{R^2 + X_L^2/4}{X_L}$

auf $\cos \varphi = 1$ kompensiert, so ist U_m grösser als $|U_1|$ und $|U_2|$. In diesem Fall ist $I_1 = I_2 = U_2/R = U_1/R$ und die Kondensatorleistung von C_1 ist gleich der Wirkleistung der Belastung R , multipliziert mit X_L/R .

Fig. 5 zeigt den kapazitiven Scheinleistungsbedarf Q_C zur vollständigen Kompensierung von

Hochspannungstransformatoren und Fig. 6 denselben für Hochspannungsleitungen verschiedener Spannung. Die den Kurven der Fig. 6 zu Grunde liegenden Daten beziehen sich alle auf einfache

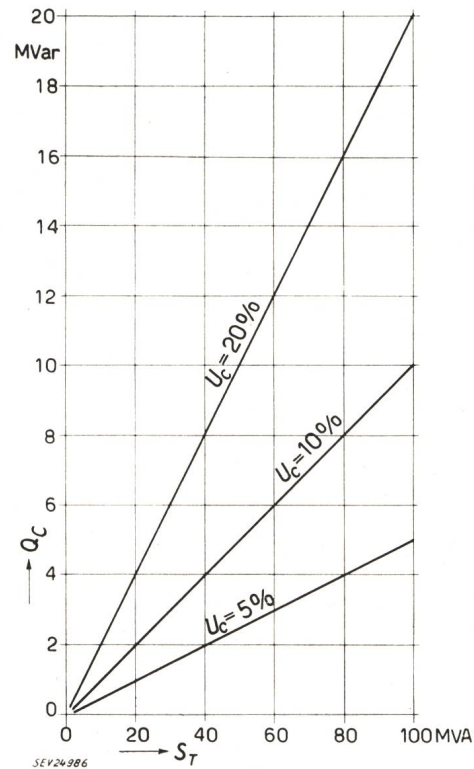


Fig. 5

Kapazitiver Blindleistungsbedarf Q_C zur vollständigen Kompensierung von Hochspannungstransformatoren

S_T Scheinleistung des Transformators; U_c Kurzschlußspannung

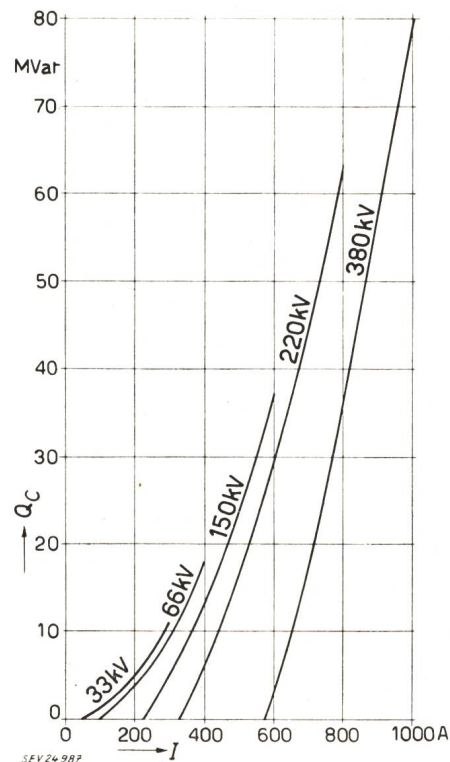


Fig. 6

Kapazitiver Blindleistungsbedarf Q_C pro 100 km Leitungslänge zur vollständigen Kompensierung von Überlandleitungen in Funktion des Belastungsstromes I der Leitung

Drehstromleitungen, also nicht auf Bündelleiter. Bei Bündelleitern ist die natürliche Leistung 20... 50 % höher und die Kurven der Fig. 6 verschieben sich entsprechend nach rechts.

Es ist eine Tendenz unserer Zeit, dass die Leitungen immer mehr ausgenützt und immer häufiger oberhalb ihrer natürlichen Leistung betrieben werden.

Die praktische Konsequenz der vorgehenden Ausführungen ist, dass Kondensatorenbatterien vorerst auf der Unterspannungsseite (5...60 kV) der grossen Unterwerke aufgestellt werden, die die gesamte Belastung an der Unterwerksammelschiene auf einen $\cos \varphi \rightarrow 1$ bringen. Mit dieser Massnahme werden die Spannungsverhältnisse geregelt und die bestmöglichen Übertragungsverhältnisse geschaffen. Dann müssen weiterhin an gewissen Stellen im Netz Kondensatorenbatterien eingebaut werden zur Spannungsstützung und, damit zusammenhängend, zur Schaffung besserer Übertragungsverhältnisse.

Im Interesse des Netzbetriebes sollen natürlich auch die Generatoren zur Blindenergielieferung herangezogen werden, d. h. deren mögliche Blindleistungserzeugung soll nicht durch statische Kondensatoren gedeckt werden. Eine solche Überlapung der Möglichkeiten der Blindleistungserzeugung wäre sowohl unwirtschaftlich als auch vom Standpunkt der Stabilität unerwünscht.

Diese erwähnten Massnahmen schliessen auf keinen Fall die Niederspannungs-Kompensation mittels Kondensatoren aus. Auch wenn alle lokalen Belastungszentren niederspannungsseitig auf $\cos \varphi = 1$ kompensiert wären (was selten geschieht), beträgt der Leistungsfaktor an der Unterwerk-Sam-

melschiene keineswegs 1 und gerade dort ist die Kompensation auf $\cos \varphi = 1$ am nötigsten und wirkungsvollsten.

Alle Hochspannungs-Kondensatoren-Batterien werden praktisch aus Spannungsgründen installiert. Es ist nun logisch, dass sie durch die Spannung gesteuert werden. Hiezu dient am besten ein empfindliches Kontakt-Voltmeter mit einem Einstellbereich zwischen 90 und 110 % der Nennspannung. Auch in den USA werden praktisch alle grösseren Hochspannungs-Kondensatorenbatterien automatisch durch die Spannung gesteuert.

Grosse Kondensatorenbatterien müssen im allgemeinen unterteilt werden, um die Blindleistung besser den jeweiligen Netzverhältnissen anpassen zu können. Dies geschieht durch Stufenschaltungen. Solche Stufenschaltungen verlangen im allgemeinen Hochspannungsschalter mit Vorkontakten. Bei rückzündungsfreiem Schalten genügen aber in die Zwischenverbindung geschaltete kleine Reaktanzen, die den Einschaltstromstoss verringern.

Auf Grund der hier besprochenen Verhältnisse geht hervor, dass mit dem Einbau von Shunt-Kondensatoren bedeutende Verbesserungen in Hochspannungsnetzen gewonnen werden können. Obige Überlegungen sollen anregen, die Vorteile von statischen Kondensatoren auch in den schweizerischen Hochspannungsnetzen vermehrt auszunützen, wie dies z. B. in den USA ³⁾ und Frankreich schon in bedeutendem Mass geschehen ist.

Adresse des Autors:

P. M. Minder, Ingenieur der Emil Haefely & Cie. A.-G., Basel.

³⁾ siehe Bull. SEV Bd. 46(1955), Nr. 4, S. 155...159.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Die Kraftwerke Zervreila

621.311.21(494).262.5)

Diese Kraftwerkgruppe wird von der Kraftwerke Zervreila A.-G. erstellt, die ihren Sitz in Vals hat, während die Direktion sich in St. Gallen befindet und verbunden ist mit derjenigen der Kraftwerke Sernf-Niedererbach A.-G. Die Kraftwerke Zervreila A.-G. wurde am 17. Mai 1952 mit einem Grundkapital von 50 Millionen Fr. gegründet. Die letztgenannte Gesellschaft erwarb die Konzession für den Bau der Kraftwerkgruppe im Anschluss an den Bau der Anlage Rabiusa-Realta ¹⁾. Jene Gesellschaft hat 1950 die Vorbereitungen getroffen für den Bau der Überleitungsstollen vom Valsertal ins Safiental. Die im Juli 1951 in Angriff genommenen Stollenstrecken wurden am 20. März 1954 durchgeschlagen ²⁾. Die Kraftwerke Zervreila A.-G. ³⁾, an der die Kraftwerke Sernf-Niedererbach mit 40 %, die Nordostschweizerischen Kraftwerke und die Motor-Columbus A.-G. mit je 30 % beteiligt sind, übernahm von der erstgenannten Gesellschaft die Stollen zwischen Valsler- und Safiental, sowie das 1949 in Betrieb genommene Kraftwerk Rabiusa-Realta ⁴⁾ (Egschi im Safiental bis Realta am Hinterrhein). Die Kraftwerkgruppe Zervreila wird somit nach Abschluss der gegenwärtigen Bauperiode, die in Tabelle I mit ihren Einzugsgebieten aufgeführten Kraftwerkstufen umfassen.

Von der Beschreibung der geologischen Verhältnisse und eingehender Erörterung der Bauobjekte wird abgesehen und

¹⁾ Bull. SEV, Bd. 39(1948), Nr. 26, S. 877.

²⁾ Bull. SEV, Bd. 45(1954), Nr. 7, S. 230.

³⁾ Bull. SEV, Bd. 43(1952), Nr. 1, S. 13.

⁴⁾ Bull. SEV, Bd. 40(1949), Nr. 23, S. 907.

Einzugsgebiete

Tabelle I

	Einzugsgebiete	
	km ²	km ²
<i>Seekraftwerk Zervreila</i> natürliches Einzugsgebiet	63,9	
Einzugsgebiet der in den Stausee- und den Überleitungsstollen eingeleiteten Bäche	29,2	
Einzugsgebiet des Valserrheins		93,1
<i>Kraftwerk Wanna—Safien-Platz</i> Einzugsgebiet der Rabiusa in Wanna .	21,5	
<i>Kraftwerk</i> <i>Safien-Platz—Rothenbrunnen</i> Einzugsgebiet der Rabiusa in Safien-Platz	57,1	
<i>Kraftwerk Rabiusa—Realta</i> Resteinzugsgebiet der Rabiusa bei Egschi	29,1	
Einzugsgebiet der Rabiusa		107,7
Totales Einzugsgebiet		200,8

auf andere Publikationen verwiesen ⁵⁾. Hier sind in aller Kürze und deshalb in tabellarischer Darstellung die wichtigsten Baudaten angegeben. Es ist in Aussicht genommen, den elektromechanischen Teil der Kraftwerkgruppe in einem späteren Zeitpunkt ausführlicher darzustellen.

Die Gefällsverhältnisse, Ausbaugrößen, installierten Leistungen und möglichen Energieerzeugungen sind in Tabelle II zusammengestellt (Fig. 1 und 2).

⁵⁾ Wasser- und Energiewirtschaft 46. Jg. (1954), Nr. 3. S. 41...51.