Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 23 (1932)

Heft: 2

Artikel: Kraftwerk Wäggital

Autor: Leuch, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059310

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: 02.10.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

VERLAG UND ADMINISTRATION:
Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G., Zürich 4
Stauffacherquai 36/38

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXIII. Jahrgang | N° 2 | Mittwoch, 20. Januar 1932

Kraftwerk Wäggital.

Von Dipl.-Ing. *H. Leuch*, Oberingenieur des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich.

621.311.21(494)

Am 25. November 1931 waren seit der Gründung der A.-G. Kraftwerk Wäggital zehn Jahre verflossen, wovon fünf als volle Betriebsjahre des Wäggitalwerkes gelten können. In verdankenswerter Weise verfasste der Autor bei diesem Anlass und auf unseren besonderen Wunsch hin den folgenden Artikel, der einen Ueberblick über das Werk gibt. Als Quelle diente der ausführliche Bericht der Bauleitung. Der Aufsatz erhebt in seiner gedrängten Form keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Le 25 novembre 1921 s'est fondée la S. A. Kraftwerk Wäggital. Des dix années qui se sont écoulées depuis, cinq peuvent être considérées comme années entières d'exploitation des usines du Wäggital. A cette occasion, et sur notre demande expresse, l'auteur a bien voulu rédiger l'article ci-dessous qui donne un aperçu de l'entreprise et dont une partie des indications sont tirées du rapport détaillé de la direction des travaux. Sous sa forme concise, l'article ne prétend aucunement être complet.

I. Vorgeschichte.

Die erste Konzession zur Ausnützung der Wasserkraft der Wäggitaler-Aa wurde im Jahre 1896 einigen Industriellen, dem sogenannten Wetzikoner Konsortium, erteilt. Verschiedene Projekte für die Schaffung eines Staubeckens im Innertal entstanden im Verlauf der Jahre, während welcher die erteilte Konzession weitergegeben wurde, nämlich an die Maschinenfabrik Oerlikon, an die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich und nach deren Gründung an die Nordostschweizerischen Kraftwerke (NOK). Mit der Vergrösserung des Stauraumes, die von Projekt zu Projekt weitergetrieben wurde, kam auch die Tendenz zum Durchbruch, das Staubecken vorwiegend in den Dienst der Winterenergieversorgung zu stellen. Nach dem Weltkrieg wurden neuerdings Sondierungen vorgenommen und neue Projekte ausgearbeitet, die von der im November 1921 gegründeten A.-G. Kraftwerk Wäggital (AKW) übernommen wurden. Gründer der Gesellschaft sind die NOK und die Stadtgemeinde Zürich, welche je die Hälfte des Aktienkapitals von Fr. 40 000 000.— übernahmen. Die Rollen, welche den NOK und dem Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (EWZ) der Tochtergesellschaft AKW gegenüber zufallen, sind diejenigen vollkommener Gleichberechtigung. Die Entwicklung des Energieabsatzes in der Ostschweiz und die Notwendigkeit, Winterenergie zu beschaffen, haben zur Verwirklichung eines Akkumulierwerk-Projektes geführt. Dass die Wahl auf das Wäggitalwerk als erstes grosses Werk dieser Art gefallen ist, hat es seiner Lage zum Absatzgebiet zu verdanken. Der Bau musste zum grössten Teil in der verhältnismässig kurzen Zeit von 1922 bis 1924 ausgeführt werden. Die Inbetriebnahme der Maschinenanlage erfolgte schrittweise zwischen April 1924 und Januar 1926.

Der Verwaltungsrat ist das oberste Organ der Gesellschaft, dem eine Kontrollstelle zur Seite steht. Eine Bauleitung amtete während der Bauzeit; sie ist kurz nach der Inbetriebsetzung aufgelöst worden und hat seither einen ausführlichen Bericht herausgegeben, welcher Ende 1930 im Verlag der AKW erschienen ist. Diese Zeilen stellen eine kurze Zusammenfassung seines Inhaltes unter besonderer Hervorhebung des elektromechanischen Teils dar. Für Aufschlusserteilung über bauliche Anlagen, besondere Einzelheiten der elektromechanischen Einrichtungen und die Ergebnisse ihrer Abnahmeprüfungen wird auf den genannten Bericht verwiesen, der einen Umfang von 235 Seiten besitzt und mit 269 Figuren ausgeschmückt ist [1]).

II. Projektgrundlagen.

Das Kraftwerk Wäggital ist als ein ausgesprochenes Winter-Akkumulierwerk projektiert worden. Sein Hauptspeicherbecken und sein Leistungsausbau sind derart bemessen, dass die gesamte Energieproduktion auf fünf Wintermonate zusammengezogen werden kann. Der Stauraum ist ausreichend gross, um einen Ausgleich nasser und trockener Jahre zu ermöglichen; er ist also in der Lage, eine dem Wasserzufluss mittlerer Jahre entsprechende Produktionsmöglichkeit zu sichern. Das Projekt nahm mangels Messresultaten aus dem

[1]) Zu beziehen bei der A.-G. Kraftwerk Wäggital, Siebnen. Preis Fr. 12.—.

Wäggital Vergleichsrechnungen zu Hilfe und setzte das langjährige Mittel der Abflusshöhe des natürlichen Einzugsgebietes des Stausees Innertal auf 2030 mm fest.

Die Besonderheit des Wäggitalwerkes liegt darin, dass etwa in der Mitte des verfügbaren Gesamtgefälles der wasserreiche Trebsenbach in die Aa einmündet, dessen Zufluss nach Förderung über

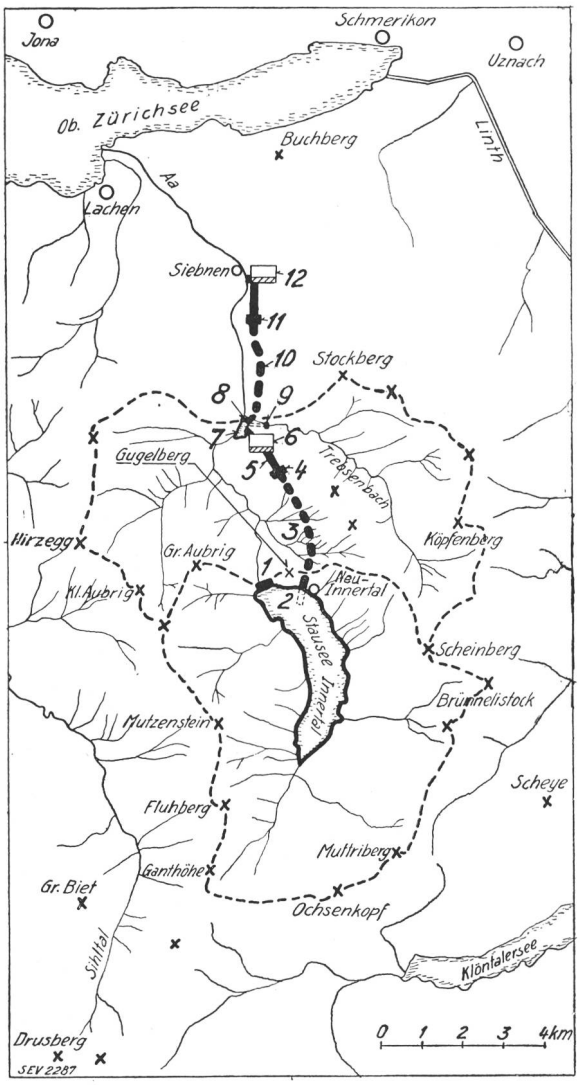

Fig. 1.
Situationsplan.

Obere Stufe:
1 Staumauer Schräh.
2 Wasserfassung.
3 Druckstollen.
4 Wasserschloss und Apparatenhaus.
5 Druckleitung.
6 Maschinenhaus Rempen.

Untere Stufe:
7 Ausgleichbecken Rempen.
8 Staumauer Rempen.
9 Trebsenbach-Wasserfassung.
10 Druckstollen.
11 Wasserschloss.
12 Maschinenhaus Siebnen.

die obere Stufe im grossen Speicherbecken Innertal zu konzentrierter Winterenergieerzeugung in beiden Stufen herangezogen werden kann. Im Projekt 1921, welches der Zürcher Bürgerschaft am 20. November 1921 zur Abstimmung vorgelegt wurde, war die Einleitung des oberen Trebsenbaches in den Stausee Innertal vorgesehen und deshalb mit einem natürlichen Zufluss von $107 \cdot 10^6$ m^3/Jahr gerechnet. Ferner war eine Pumpanlage für eine Förderleistung von 6 m^3/s in Aussicht genommen, mit welcher aus dem nur 30,2 km^2 grossen Einzugsgebiet des Rempenbeckens rund $33 \cdot 10^6$ m^3/Jahr gepumpt werden sollten. Bei einem höchsten Stau auf Kote 900 m betrug der nutzbare Stauraum $147{,}4 \cdot 10^6$ m^3. In der Ausführung des Bauprojektes ergaben sich Aenderungen durch Weglassung der Ueberleitung des oberen Trebsenbaches in den Stausee Innertal und Beschränkung der gesamten Pumpenförderleistung auf 5 m^3/s. Dem Werke liegt folgender jährlicher Wasserhaushalt zugrunde:

	m^3
Obere Stufe:	
Natürlicher Zufluss aus 42,7 km^2 .	86 700 000
Pumpenzufluss aus 40,0 km^2 . . .	39 800 000
Gesamtzufluss	126 500 000
Verluste durch Versickerung, Verdunstung und Seeüberfall . . .	9 000 000
Zweistufig ausnützbare Jahreswassermenge	117 500 000
Untere Stufe:	
Winterzufluss	16 300 000

Entsprechende Winterenergie 102 400 000 kWh.

Diese Winterenergie ist mit einem theoretischen Gesamtwirkungsgrad für Turbinen, Generatoren und Transformatoren von 73 % berechnet. Die Betriebsergebnisse sind wegen praktisch höherer Wirkungsgrade etwas günstiger ausgefallen. Es kann damit gerechnet werden, dass 1 m^3 Wasser in der oberen Stufe 0,5 kWh und in der unteren 0,4 kWh ergibt.

Die Zweckbestimmung des Akkumulierwerkes verlangte einen Leistungsausbau, der den Umsatz des Energievorrates und des Winterzuflusses innerhalb fünf Wintermonaten ermöglicht. Der Einsatz des Werkes während der Fabrikarbeitszeit ergibt etwa 50 Betriebsstunden pro Woche oder rund 1100 Stunden in fünf Wintermonaten. In Wirklichkeit ist das Werk für eine Leistung von 108 000 kW bei mittlerem Seestand Innertal und für eine ideelle Gebrauchsdauer des Maximums von 1020 Stunden gebaut worden. Die Druckstollen beider Stufen sind so gross bemessen worden, dass an sie je eine dritte Druckleitung angeschlossen werden kann. Durch Aufstellen je zweier weiterer Maschineneinheiten in beiden Werken würde die installierte Leistung auf rund 150 000 kW heraufgesetzt.

Für die Anlage eines Stausees von rund $147 \cdot 10^6$ m^3 Fassungsvermögen waren die Ergebnisse der geologischen Untersuchungen grundlegend. Prof. Schardt von der Eidgenössischen Technischen Hochschule, der sich von 1918 an mit dem Bau einer grossen Staumauer «Im Schräh» befasste, erstattete 1921 ein günstig lautendes Gutachten, welches die Herbeiführung des Baubeschlusses erleichterte. Während frühere Projekte die einstufige Ausnützung des natürlichen Gefälls der Wäggitaler Aa vorsahen, wurde der zweistufige Ausbau vorgezogen. Das Einzugsgebiet der oberen Stufe, Rempen, misst 42,7 km^2 und besitzt seinen tiefsten

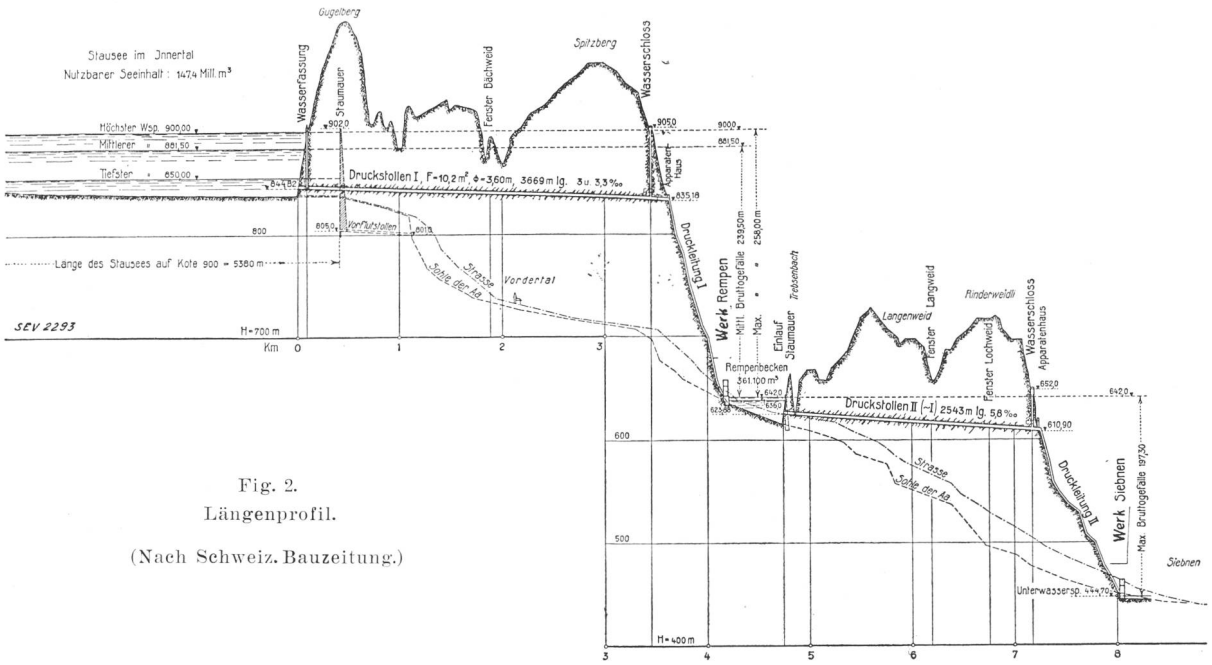

Fig. 2.
Längenprofil.

(Nach Schweiz. Bauzeitung.)

Punkt an der Staumauer im Schräh. An dieser hat sich der Stausee Innertal mit seinem Nutzinhalt von $147{,}4 \cdot 10^6$ m³ zwischen den Koten 850 und 900 m gebildet. Die Konzession für diese oberste Staukote ist im Mai 1920 erteilt worden.

Die obere Stufe liegt zwischen dem Stausee Innertal und Kote 642 m des Ausgleichbeckens Rempen, an welchem das Maschinenhaus liegt. Die Beteiligung zweier Partner am Werkbau und -betrieb sprach für die Projektierung einer geraden Maschinenzahl. Erstrebenswert war die Aufstellung weniger, aber grosser und rationell arbeitender Maschinengruppen. Die Aufstellung von nur zwei Turbinengruppen in den Maschinenhäusern der beiden Stufen musste verworfen werden, weil der Leistungsausfall bei Maschinenschaden zu gross und die Maschineneinheiten im Vergleich zu denen vorhandener Werke der Partner zu gewaltig gewesen wären. Um den Wasservorrat während des grössten Winterbedarfs in kürzester Betriebsstundenzahl verarbeiten zu können, wurde die Leistungsfähigkeit der oberen Stufe zu 60 000 kW und diejenige der unteren Stufe zu 48 000 kW festgelegt (Turbinenleistungen). Aus Betriebsrücksichten wurden je vier Turbinengruppen pro Maschinenhaus aufgestellt und einheitlich mit Generatoren von je 16 500 kVA ausgerüstet. Für die Wahl der Anzahl Pumpengruppen der oberen Stufe waren die gleichen Ueberlegungen massgebend. Der ursprüngliche Gedanke, die gesamte Förderleistung von 6 m³/s zur besseren Anpassung an das anfallende pumpbare Wasser in 3 Einheiten von 3, 2 und 1 m³/s aufzuteilen, musste gegenüber der einheitlichen Ausrüstung mit 4 gleichen Pumpengruppen zu je 1,25 m³/s zurücktreten.

Allgemeine technische Daten der Turbinen und Generatoren.

Tabelle I.

	Maßeinheit	Obere Stufe (Rempen)			Untere Stufe (Siebnen)		
		Min.	Norm.	Max.	Min.	Norm.	Max.
Turbinen:							
Nettogefälle .	m	203	230	260	176	185	197
Wassermenge .	l/s	6850	7300	7750	7400	7600	7850
Leistung . .	kW	11500	14000	16500	11000	12000	13000
Drehzahl . .	U/m	—	500	—	—	500	—
Generatoren:							
Leistung . .	kVA	—	16500	19800	—	16500	19800
Klemmenspann.	V	—	8800	9700	—	8800	9700
Stromstärke .	A	—	1082	1300	—	1082	1300
Leistungsfaktor	—	0,5	0,8	1,0	0,5	0,68	1,0
Drehzahl . .	U/m	—	500	—	—	500	—
Frequenz . .	Per./s	—	50	—	—	50	—

Das Ausgleichbecken Rempen nimmt als natürlichen Zufluss den Trebsenbach auf, welcher ein Gebiet von 40 km² entwässert. Um die Zuflüsse des Trebsenbaches und die in den Turbinen der oberen Stufe verarbeiteten Wassermengen zur Förderung durch die Pumpen oder zur Ausnützung in der unteren Stufe in möglichst grossem Umfang aufspeichern zu können, lag die Aufgabe vor, beim Werk Rempen ein angemessen grosses Ausgleichbecken mit geringen Kosten zu schaffen. Es besitzt eine 32 m hohe Staumauer, welche etwa 230 m oberhalb der Einmündung des Trebsenbaches in die Aa auf im Flussbett anstehende Sandsteinrippen gestellt werden konnte. Bis Kote 642 m kann es eine Wassermenge von 361 100 m³ aufnehmen, welche für Turbinenbetrieb in der unteren Stufe ausgenützt werden kann. Die Pumpengruppen der oberen Stufe saugen nur bis Kote 636 m an, so dass für diesen Betrieb ein Stauraum von 257 300 m³ ausnützbar ist. Das Rempenbecken weist die Sonderbarkeit auf, ausser dreierlei Zuflüssen — Aa, Trebsenbach und Turbinenbetrieb in der oberen Stufe — dreierlei Abflüsse — Aa, Pumpenbetrieb in der oberen Stufe und Turbinenbetrieb in der unteren Stufe — zu besitzen.

Die untere Stufe, Siebnen, nützt das Gefälle zwischen dem Ausgleichbecken und dem ursprünglichen Aabett in Siebnen (Kote 445 m) in 4 Turbinengruppen von je 12 000 kW aus. Das Wasser wird durch das Aabett dem oberen Zürichsee direkt zugeführt, abgesehen von der Ableitung durch den Gewerbekanal, welcher verschiedenen Fabriken in Siebnen, Wangen und Nuolen Wasserkraft liefert.

III. Bau.

a) Allgemeines und Vorbereitungen.

Es würde weit über den Rahmen dieses Aufsatzes hinausführen, wenn die umfangreichen Bauvorbereitungen und die Bauausführungen hier ausführlich besprochen würden. Die Berichterstattung über die hoch- und tiefbautechnischen Anlagen ist zugunsten der Erläuterung der elektromechanischen Einrichtungen auf ein Mindestmass beschränkt. Der Bericht der Bauleitung enthält ausführliche Abschnitte über Bauorganisation, Finanzierung, Vergebung von Arbeiten und Lieferungen, Unterkunft der Arbeiter und Angestellten, Bauprogramm und Bauzeiten, Energieversorgung der Baustellen, Zufuhr des Baumaterials, Vermessungen und Landerwerb. Von den grösseren Bauobjekten seien hier nur die wesentlichsten Angaben festgehalten.

b) Obere Stufe.

Der Bau der grossen *Staumauer Schräh* begegnete grossem Interesse, selbst weit herum bei der unbeteiligten Bevölkerung. Sie ist als geradlinige Schwergewichtsmauer von 155,7 m Kronenlänge ausgeführt worden. Ihre gesamte Höhe vom Fuss in der schmalen Erosionsrinne bis zur Krone beträgt 110,5 m; davon liegen 44,5 m unter und 66 m über dem Talboden (Kote 836 m). Die grösste Mauerdicke beträgt 75 m, die Totalkubatur 236 600 m³. Die Talsperre ist in 6 durch Kontraktionsfugen voneinander getrennten Mauerblöcken aus Gussbeton erstellt worden. Der Hochwasserüberlauf liegt im linken Widerlager. Die drei mit eisernen Schützen verschliessbaren Oeffnungen von 3,5 m Lichtweite können bei einem Seestand von 900 m einen Zufluss von 65 m³/s ohne Stauerhöhung abführen. Als Grundablass dient der ehemalige Umlaufstollen durch die rechte Bergflanke (Gugelberg). Das 1,25 m weite Rohr erlaubt je nach dem Seestand bis ca. 37 m³/s abzuführen; es kann mittels zwei mit Handantrieb versehenen hintereinanderliegenden Drosselklappen verschlossen werden. Temperaturverlauf und Sickerverluste werden dauernd beobachtet und für die Periode 1923—1930 im Baubericht ausführlich behandelt.

Die *Wasserfassung* befindet sich rund 750 m von der Staumauer Schräh entfernt. Sie ist für Betrieb mit einem tiefsten Wasserspiegel auf Kote 850 m angelegt. Die Wassergeschwindigkeit beträgt 0,9 m/s beim Einlauf und steigt im Stollen auf höchstens 2,95 m/s an. Die Einlauföffnung ist unter 42 % geneigt; sie kann durch die 45 t wiegende Abschlußschütze (einschliesslich Transportwagen) verschlossen oder mit einem 13,5 t schweren Rechen versehen werden. Auf einer Schrägbahn von 4,9 m Spurweite wird mittels eines Hackenwagens der Rechen oder die Abschlussschütze vor die Einlauföffnung gebracht. Die

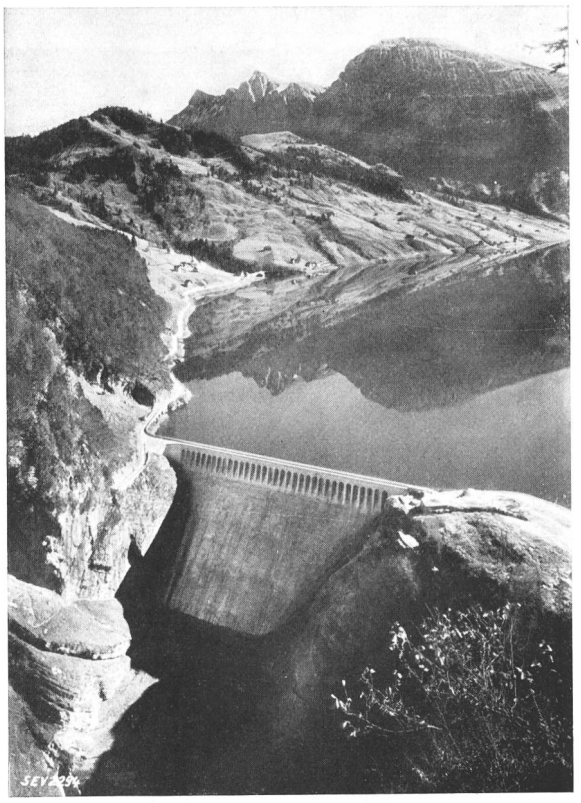

Fig. 3.
Stausee Innertal mit Staumauer «Schräh» aus 1100 m Höhe gesehen.

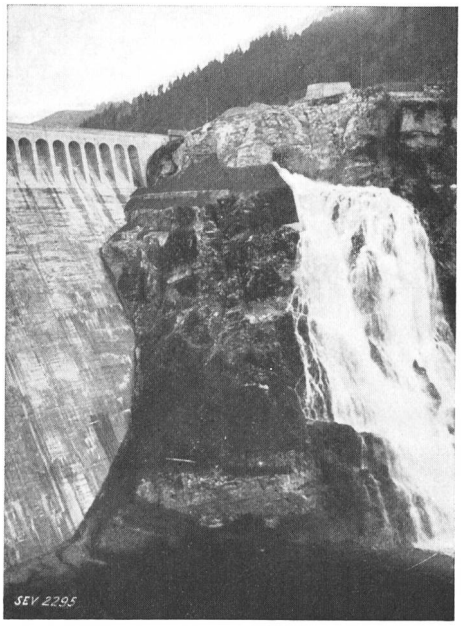

Fig. 4.
Ueberlauf des Stausees Innertal (Sommer 1927, ca. 10 m³/s).

Drosselklappe ist etwa 150 m vom Stolleneinlauf entfernt. Von der an der Strasse liegenden Windwerkkammer ist sie zugänglich und mittels Drucköl von höchstens 20 kg/cm² bedienbar. Dieses dient auch zur Steuerung des Keilschiebers der 500-mm-Umlaufleitung, welche zum Füllen des Stollens benützt wird. Die Schlusszeiten der Drosselklappe betragen 13 Minuten mit Motor und 3¼ Stunden von Hand; das Oeffnen dauert mit Motor 16 Minuten, von Hand 4 Stunden.

Der *Druckstollen* von kreisrundem Profil misst bis zum Apparatenhaus 3669,46 m. Sein Durchmesser von 3,6 m ist nach der grössten Wirtschaftlichkeit bestimmt worden. Je nach der Felsbeschaffenheit besitzt der unter maximal 55 m statischem Wasserdruck stehende Stollen eine 20 bis 50 cm starke Betonauskleidung, auf einzelnen Strecken einen inneren, eisenarmierten Gunitmantel von ca. 8 cm Stärke. Wasserfassung, Druckstollen und *Wasserschloss* haben zusammen rund 7,1 Millionen Franken gekostet; auf einen Meter Druckstollen bezogen macht dies zusammen etwa 2000 Fr. aus.

Vom *Apparatenhaus* führen zwei, für die obere Stufe charakteristische, hochgelagerte und weitgespannte *Druckleitungen* in drei Gefällsstufen von 56,9 %, 29,5 % und 50,7 % zum Maschinenhaus

Technische Daten der Druckleitung Rempen.

Tabelle II.

Länge m	Spannweite m	Lichter Durchmesser m	Blechstärke mm	Verbindungsweise
72,61 [1])	15	2,40	15	genietet
93,90	15	2,35	15 bis 21	„
220,66	22,5	2,20	19 bis 27	wassergasgeschweisst
148,76	21	2,10	27 bis 34	„
45,07 [2])	21	2,05	34	„
581,0				

[1]) Einschliesslich Hosenrohr und Apparatenstrecke.
[2]) Ausschliesslich Verteilleitung.

Rempen. Die kreisrunden Rohre sind im obersten Drittel genietet, in den zwei unteren wassergasgeschweisst. Ueber Längen, Spannweiten, Rohrdurchmesser und Blechstärken gibt Tabelle II Auskunft.

Fig. 5.
Druckleitung und Maschinenhaus Rempen.

An jede Druckleitung sind durch die Verteilleitungen, deren Abzweigstücke aus Stahlguss bestehen, zwei Turbinen- und zwei Pumpengruppen angeschlossen.

Betriebstechnisch bildet die Stufe Rempen mit der Stufe Siebnen eine Einheit. Die Arbeitsaufgaben der oberen Stufe sind: Energieerzeugung und Auftransformierung auf Dreiphasenstrom 50 kV und Förderung des Trebsenbachzuflusses in den Stausee Innertal. Die hiezu notwendigen Einrichtungen wurden wegen beschränktem Platz und ungünstigen klimatischen Verhältnissen in einem einzigen geschlossenen Gebäudeblock vereinigt, der in seinem Unterbau aus Eisenbeton besteht und im übrigen ein Eisenständerbau mit Kalksandstein-Füllmauerwerk ist. Er ruht auf Molassefels und leicht verwitterbarem Mergel; die Beanspruchung der Fundamente beträgt 4 bis 5 kg/cm². Die gedrängte Bauart wurde ermöglicht durch konzentrierte Aufstellung der Maschinengruppen im 12,5 m breiten und 53,4 m langen Maschinensaal. Der Achsabstand der 4 Turbinengruppen von je 15 000 kW beträgt 8,8 m. In der Längsteilung versetzt stehen 4 Pumpengruppen von je 3750 kW in einem Abstand von nur 6,7 m von der Turbinengruppenlängsachse entfernt. Durch diese Grundrisseinteilung wurde auch eine einfache und zuverlässige Verteilleitungsanordnung für Turbinen- und Pumpengruppen ermöglicht. Der Maschinensaal besitzt bei 15,5 m Höhe einen Kran für 65 t Tragkraft. Am östlichen Ende des Maschinenhauses liegen Montageplatz und Oelkeller. Der nördliche Teil des Gebäudes bildet das Schalthaus, an dessen Südende die Einfahrt, die Werkstatt und Nebenräume anschliessen. In die dem Maschinensaal zugekehrte innere Längsseite des Schalthauses ist die Kommandostelle eingebaut. Im Hinblick auf die Arbeitsaufgaben des Werkes Rempen und die Verwendung des Personals ist sie als offene Galerie ausgebildet.

Für die Wahl von vertikalachsigen *Francisturbinen* für Gefälle bis zu 260 m anstelle von Peltonturbinen sprachen die günstigen hydraulischen Verhältnisse, der geringe Platzbedarf und der niedrigere Preis. Die Nachteile der längeren und

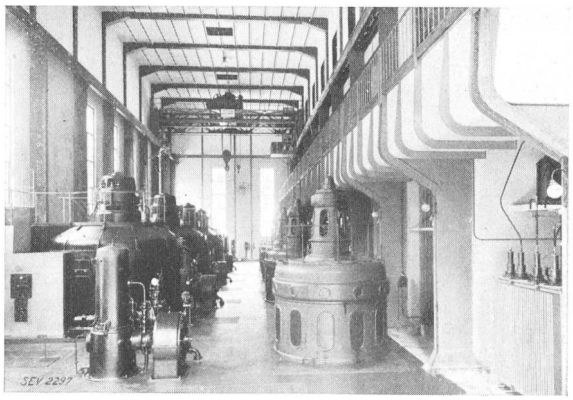

Fig. 6.
Maschinensaal Rempen.

schwierigeren Montage sowie die in den Traglagern verborgenen Schwierigkeiten konnten in Kauf genommen werden. Jede Turbine ist mit einem aus Stahlguss angefertigten *Kugelschieber* von 1000 mm

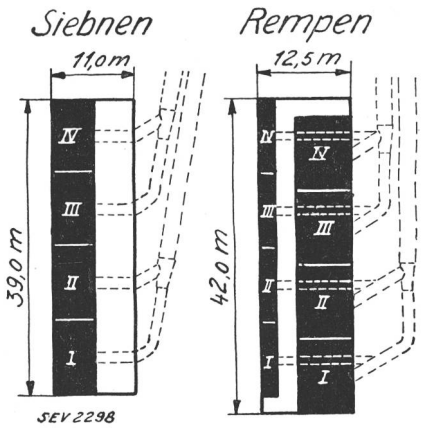

Fig. 7.
Vergleich der Bodenflächen der Maschinenhäuser Siebnen (4 × 12000 kW = 48000 kW auf 234 m²) und Rempen [(4 × 15000 kW + 4 Pumpengruppen = 4 × 3750 kW) = 75000 kW auf 380 m²].

Lichtweite versehen, der durch hydraulisch wirkende Servomotoren betätigt wird. Ebenfalls aus Stahlguss sind die *Spiralgehäuse*, während die *Saugrohre* aus Gusseisen bestehen. Zur Steuerung sind Universal-*Oeldruckregulatoren* aufgestellt, mit hydraulisch-automatischen Servomotoren, Federpendeln und Drehzahlverstellvorrichtungen mittels

Technische Daten der Turbinen.

Tabelle III.

	Mass-einheit	Obere Stufe (Rempen)	Untere Stufe (Siebnen)
Durchgehdrehzahl bei 260 m Gefälle . . .	U/m	1040	
» 197 m » . . .	U/m		1000
Oeffnungszeit des Regulator-Servomotors	s	2,3	3
Schliesszeit des Regulator-Servomotors	s	2,3	3
Schliesszeit des Druckreglers	s	30	30
Schliesszeit des Kugelschiebers	s	12	30
Betriebsdruck der Oelpumpe	kg/cm²	12	12
Oelförderung . . . rund	l/m	125	125
Kühlwasser für Traglager rund	l/s	1 bis 1,5	1 bis 1,5

elektrischer Fernsteuerung. Die vier durch kleine Peltonturbinen angetriebenen *Oeldruckpumpengruppen* sind so gewählt worden, dass deren drei imstande sind, alle vier Regulatoren zu speisen. Die gemeinsame *Luftdruckanlage* arbeitet mit maximal 15 m³ stündlicher Förderung bei 18 kg/cm² Druck auf die Windkessel der Oeldruckanlage. Zur Begrenzung der Drehzahl beim Durchgehen der Turbinen sind deren Wellen mit Sicherheitsapparaten versehen, welche bei 600 U/m die Servomotorventile der Kugelschieber betätigen. Jeder Turbine ist ein Feld zugeordnet, in welchem folgende Kontrollapparate untergebracht sind: Manometer, Vakuummeter und Venturimeter.

Technische Daten der Generatoren.

Tabelle IV.

	Mass-einheit	Obere Stufe (Rempen)	Untere Stufe (Siebnen)
Minimale Sicherheit gegen Bruch in den Rotorteilen bei Durchgehdrehzahl .		2,5	2,5
Schwungmoment der rotierenden Teile des Generators GD^2	kg·m²	110 000	120 000
Maximaler Spannungsanstieg bei plötzlicher Abschaltung auf . . . rund	V	19 000	18 000
Kühlluftmenge . . . rund	m³/s	28	30
Maximal zulässige Lufttemperatur am Eintritt . .	° C	35	35
Maximal zulässige Lufttemperatur am Austritt . .	° C	60	50

Die mit den Turbinen direkt gekuppelten *Generatoren* sind als gekapselte, selbstventilierende Maschinen mit rotierendem Polsystem und feststehender Armatur ausgeführt. Der Stator hat ein zweiteiliges Gussgehäuse, dessen Wicklungsnuten zur Vermeidung der Nuten-Harmonischen relativ zu den Polschuhen leicht schräg gestellt sind. Auf einen Pol entfallen 15 offene Nuten. Ueber dem zu oberst auf dem Lagerstern angeordneten Spurlager sitzt fliegend die Erregermaschine; sie ist für ausschliessliche Regulierung der Generatorspannung im Nebenschluss als Wendepolmaschine konstruiert. Die Regulierung ist in den Grenzen von ± 10 % der Normalspannung möglich, entweder durch Schnellregler oder von Hand. Turbinen- und Generatorwelle, sowie Polrad und Pole bestehen aus Siemens-Martin-Stahl, die Lagersterne aus Stahlguss. In drei Wicklungsnuten und im Blechkörper sind Widerstandselemente eingebaut, welche erlau-

Technische Daten der Pumpen und Motoren.

Tabelle V.

	Mass-einheit	Normal	Maximal
Pumpen:			
Manometrische Förderhöhe, mittlere und maximale	m	245	260
Wassermenge	l/s	1250	
Leistung	kW	3750	4500
Drehzahl	U/m	750	
Motoren:			
Dauerleistung, normale und maximale . . .	kW	3750	4800
bei Leistungsfaktor . .		0,78	1
als Phasenkompensator .	kW	—	3700
bei Leistungsfaktor . .		—	0
Klemmenspannung, verkettet	V	8400	
Stromstärke des Stators .	A	345	
Drehzahl	U/m	750	
Frequenz	Per./s	50	

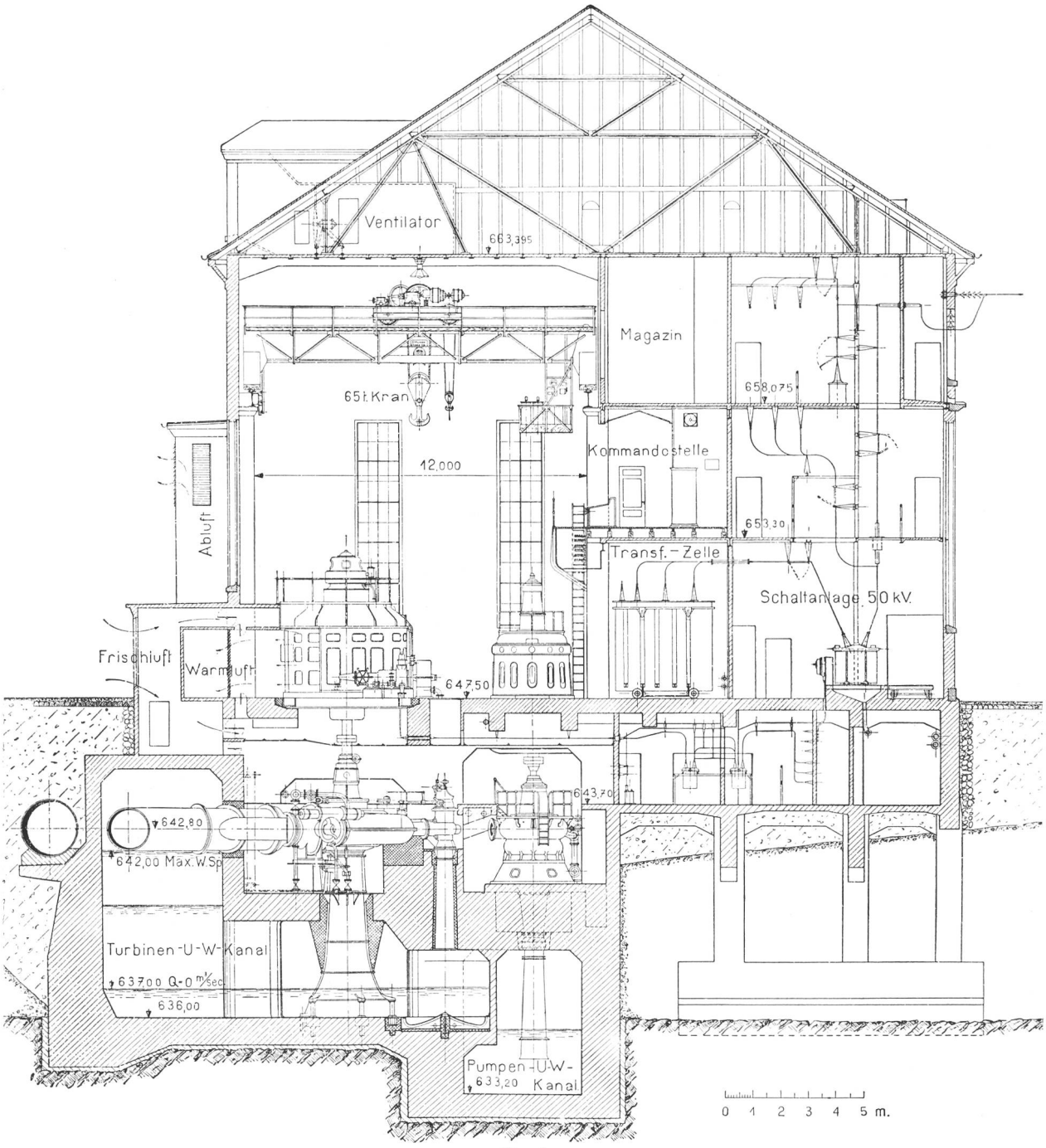

Fig. 8.
Maschinenhaus Rempen, Querschnitt.

ben, bei Bedarf Spannung und Stromstärke der Generatoren ohne Rücksicht auf die Normalwerte nach den zulässigen Temperaturen einzustellen. Die Kühlluft tritt oben und unten in die Generatoren ein; der Austritt erfolgt radial.

Die technischen Daten der Pumpen und Motoren sind in Tabelle V wiedergegeben. Die *Hochdruck-Zentrifugalpumpen* sind wie die Turbinen vertikalachsig und zu je zweien an eine gemeinsame Druckleitung angeschlossen. Die Verteilleitungen der Pumpen sind mit automatischen, kombinierten Rückschlag- und Drosselventilen von 700 mm lichten Weiten, sowie mit von Hand betätigten Kugelschiebern mit 450 mm lichten Weiten ausgerüstet. Um das Rückwärtslaufen der Pumpen zu verhindern, sind die Rückschlagventile als Schnellschlussorgane ausgebildet. Sie weisen einen Druckverlust von nur 0,45 m auf und gestatten Druckhöhen bis 60 m zu drosseln. Auf die sorgfältige Wahl richtig und zuverlässig arbeitender Abschlussorgane wurde besonderes Gewicht gelegt, weil bei plötzlichem Abschalten eines Pumpen-

motors die Auswirkung der im hydraulischen Teil entstehenden Druckschwankungen in hohem Masse

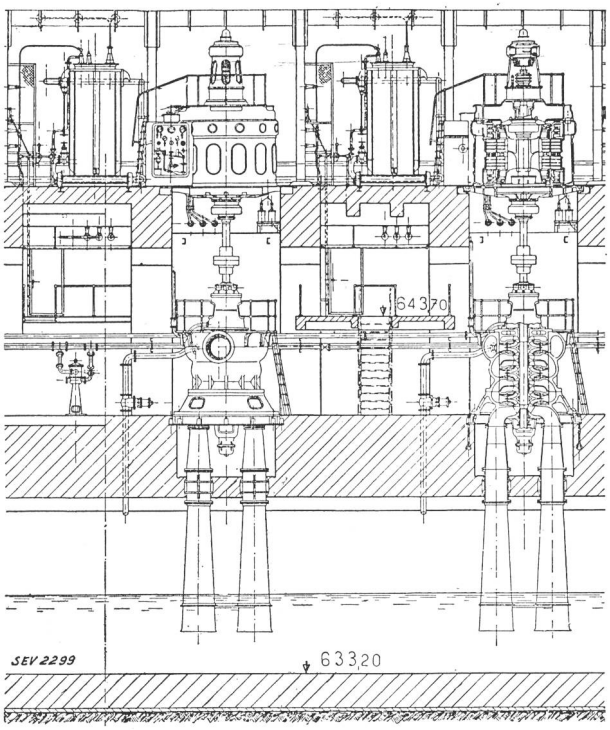

Fig. 9.
Pumpanlage Rempen, Längsschnitt.

vom Funktionieren der Abschlussorgane abhängt. Die Pumpen selbst besitzen zweiteilige Gehäuse aus Spezialgusseisen, feststehenden Leitapparat und je drei Laufräder aus Bronze. Von jeder Pumpentafel im Maschinensaal aus ist es möglich, den Gang der Maschinengruppe zu überwachen und Vakuumanlage (2 Wasserstrahlapparate), Leerschuss und Drosselventil zu bedienen.

Als Antriebsorgan jeder Pumpe dient ein achtpoliger *Drehstrom-Synchron-Induktionsmotor* für 3750 kW Normalleistung, nach der Durchzugstype mit aufgesetztem Erreger gebaut. Das Statoreisen, dessen Bohrung 1600 mm misst, trägt in geschlitzten Nuten die Spulenwicklung. Der Rotor besitzt Gittertrommelwicklung. Die Motoren können als Asynchronmotoren mit einer Schlüpfung bis zu 10 % bei abgeschaltetem Erreger betrieben werden. um die Förderleistung der Pumpen ohne hydraulische Drosselung und Wirkungsgradeinbusse zu regulieren. Zur Schlupfregulierung dient ein in den Rotorstromkreis eingeschalteter veränderlicher Wasserwiderstand. Das Anlassen der Pumpengruppen erfolgt mittels der besonderen Anlasstransformatoren. Die von der Kommandostelle aus gesteuerten Motoren können zur Abgabe voreilenden Stromes verwendet werden und sind deshalb mit den Pumpen nur durch leicht lösbare starre Schraubenbolzen-Kupplungen verbunden. Durch die paarweise Zusammenschaltung der

Technische Daten der Transformatoren. Tabelle VI.

	Mass-einheit	Obere Stufe (Rempen) I bis IV	Untere Stufe (Siebnen) I und II	III und IV	V und VI		Kuppel-Transformat.
Belastbarkeit, dauernd	kVA	16 500	16 500	16 500	16 500		16 500
Ueberlastbarkeit bei Uebersetzung $\frac{9,7}{55}$ kV							
während 3 Stunden	kVA	20 600		20 600			
während 1 Stunde	kVA	22 300		22 300			
Belastbarkeit bei um 10 % erhöhter Normalspannung	kVA	18 200	18 200	18 200	18 200		
Uebersetzungsverhältnis im Leerlauf	V	8 800 9 220 9 580 50 000	8 800 9 200 9 600 84 000 145 500	8 800 9 220 9 580 50 000	47200 bis 50000 83700 145000	51920 bis 55000 92070 159500	45 000 47 800 50 400 141 000
Kurzschlußspannung	%	10	10	10	10		
Frequenz	Per./s	50	50	50	50		
Schaltung		Dreieck/Stern	Dreieck/Dreieck umschaltbar Dreieck/Stern	Dreieck/Stern	Stern/Dreieck umschaltbar Stern/Stern		Stern/Stern umschaltbar Stern/Dreieck
Wirkungsgrade (garantierte)							
bei 4/4 Last, cos $\varphi = 1$	%	98,95		98,95			
bei 3/4 Last, cos $\varphi = 1$	%	99,05		99,05			
bei 2/4 Last, cos $\varphi = 1$	%	99,0		99,0			
bei 1/4 Last, cos $\varphi = 1$	%	98,6		98,6			
Gewichte: Aktiver Teil	kg	24 400		24 400	41 000		
Kasten und Deckel . . .	kg	6 400		6 400	10 000		
Oelfüllung	kg	7 200		7 200	20 000		
Total	kg	38 000		38 000	71 000		

Rempengeneratoren mit den Pumpenmotoren wurde es möglich, die leistungsfähigeren Rempenturbinen mit gleichen Generatoren auszurüsten, wie in Siebnen. Ein Teil des in den Pumpengruppen angelegten Kapitals kann dank der Verwendbarkeit der Motoren als Phasenkompensatoren auch zu Zeiten nutzbringend angewendet werden, in welchen sie zur Wasserförderung wegen Mangel an Pumpenergie oder Pumpenwasser nicht verwendet werden.

Je eine Generator- (Turbinen-) und eine Motor- (Pumpen-) Gruppe sind zusammen mit einem *Transformator* in eine Schalteinheit zusammengefasst. Die vier Transformatoren, deren technische Daten in Tab. VI niedergelegt sind, übersetzen von 8,8 auf 50 kV. Sie sind als dreiphasige Kerntransformatoren mit runden Spulen in einfach konzentrischer Anordnung mit äusserer Wasserkühlung gebaut. Der Nullpunkt der Oberspannungswicklung und die Anzapfungen der Unterspannungsseite sind über den Deckel geführt. Letztere sind über Trenner mit den 8,8-kV-Sammelschienen verbunden, um die Umschaltungen (ohne Last) rasch ausführen zu können. Die Transformatoren besitzen elektrisch geschweisste Oelkessel, eine Temperaturmesseinrichtung in der Kommandostelle, sowie eine akustische und optische Anzeigevorrichtung für Oel- und Kühlwasserströmungsunterbruch. Es wurde angestrebt, die Transformatoren beider Stufen möglichst gleich zu bauen. Sechs der Haupttransformatoren sind denn auch untereinander auswechselbar. Interessant sind die Resultate der Untersuchungen der Bauleitung über Kosten und Platzbedarf verschiedener Systeme, welche insbesondere im Hinblick auf die im Werk Siebnen zu lösenden Transformationsaufgaben angestellt wurden. Unter Verzicht auf Luftkühlung, Einphasen-Transformatoren und niedrigere Einzelgewichte gab unter Berücksichtigung aller Unkosten für Anschaffung, Betrieb, Platzbedarf und Reservehaltung folgende Rangfolge den Ausschlag zu Gunsten von Dreiphasentransformatoren mit äusserer Wasserkühlung:

Vergleich von Kosten und Platzbedarf verschiedener Transformatorentypen. Tabelle VII.

Transformatorentype und Kühlsystem	Kosten %	Platzbedarf %
Dreiphasentransformatoren:		
äussere Wasserkühlung . . .	100	100
innere Wasserkühlung	97	90
Einphasentransformatoren:		
äussere Wasserkühlung . . .	138	134
innere Wasserkühlung	135	100
natürliche Luftkühlung . . .	180	248

	Kosten %
1. Dreiphasentransformatoren, äussere Wasserkühlung	100
2. Einphasentransformatoren, äussere Wasserkühlung	115
3. Einphasentransformatoren, innere Wasserkühlung	125

Beim Bau der *Schaltanlagen* Rempen und Siebnen wurden soweit möglich die gleichen Konstruktionsgrundlagen und Baugrundsätze angewendet; dabei wurde bei möglichster Einfachheit grösste Uebersichtlichkeit angestrebt. Im Gegensatz zur Schaltanlage Siebnen, welche den Zusammenhang der Kraftwerksanlage mit grossen Ueberlandnetzen der beiden Partner vermittelt, konnte die Schaltanlage Rempen als eine nur der oberen Stufen dienende Teilanlage wesentlich kleiner gehalten werden. Komplikationen kamen durch die Forderungen hinzu, welche das Anlassen und der Betrieb der Pumpenmotoren mit sich bringen. Grundsätzlich bildet jede der vier 50-kV-Leitungen Rempen-Siebnen mit einer Generator- (Turbinen-) und einer Motor- (Pumpen-) Gruppe eine Schalteinheit. Auf der 8,8-kV-Seite befinden sich eine Anlaßschiene und eine Sammelschiene zum allfälligen Verbinden

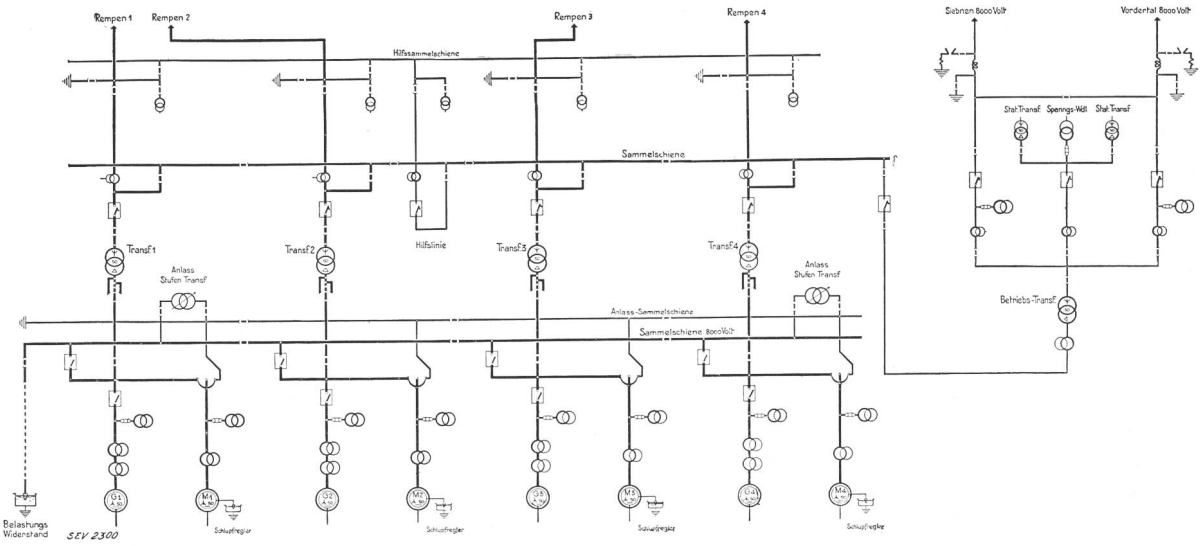

Fig. 10.
Werk Rempen, Schaltungsschema.

eines Generators oder Motors mit einem Nachbartransformator oder einer andern Leitung bei Anlagenbeschädigung. Jene wird durch Anlasstransformatoren beim Inbetriebsetzen der Pumpengruppen in 7 Stufen unter steigende Spannung gesetzt. Der jeder Motor- (Pumpen-) Gruppe zugeteilte dreipolige Umschalter in Luft erlaubt, die Motorgruppen individuell von der Anlaßschiene ohne Unterbrechung umzuschalten auf die 8,8-kV-Sammelschiene oder auf den zugehörigen 50/8,8-kV-Transformator. Wegen der nur kurzzeitigen Inanspruchnahme der Anlasstransformatoren sind nur deren zwei vorhanden, die gegenseitig als Reserve dienen. Die im Zuge Generator-8,8/50-kV-Transformator und im Zweig der 8,8-kV-Sammelschiene liegenden 8,8-kV-Oelschalter, die wegen des Pumpenbetriebs notwendig waren, sind nur als ferngesteuerte Trenner unter Oel zu betrachten und besitzen dementsprechend keine selbsttätige Auslösung. Die maximale Betriebsstromstärke der Pumpen- und Eigenbedarfsanlage beträgt 400 A, wofür Kupferrohre von 25/20 mm Durchmesser und 177 mm² Querschnitt verwendet wurden. Diese Rohrbauweise und die spezifische Maximalstromdichte von 2,25 A/mm² entsprechen genau dem Ausbau der Linienfelder der 50-kV-Schaltanlage Siebnen. Die vier Generatoren liefern in Parallelschaltung einen momentanen Kurzschlußstrom von rund 60 000 A. Die Isolation wurde dementsprechend reichlich bemessen, um Isolatorenniederbruch durch Kurzschlüsse zu vermeiden. Alle Isolierteile der 8,8-kV-Schaltanlage bestehen aus 24-kV-Material. Für den Schutz und die Betriebsregulierung der Generatorgruppen sind Ueberstrom- und Spannungsregler, sowie Minimalstromzeitrelais eingebaut. Die Motorgruppen besitzen nur Maximalstromzeitrelais. Diese Relais wirken auf die 50-kV-Schalter.

Die *8,8-kV-Schaltanlage* ist im Untergeschoss des Schalthauses untergebracht. An der Westseite schliesst ein auf dem Vorplatz des Gebäudes liegender *Wasserwiderstand* an, der zu Versuchszwecken dient und die Leistung einer Maschinengruppe aufzunehmen gestattet. In diesem Vorplatz liegt als *Erdelektrode* ein im Rechteck ausgelegtes System verzinnten Kupferbandes von 50 × 5 mm und 360 m Länge, dessen gesamte Erdungsoberfläche zu 40 m² angegeben ist. Die Messung seines Erdwiderstandes ergab bei Regenwetter, wie nach längerer Trockenzeit 0,13 Ohm. Die Erdelektrode ist mit der Erdungssammelschiene im Keller mehrfach verbunden, von wo aus direkte Leitungen zu den Generatoren, Motoren und Transformatoren, sowie zum 8,8-kV-Blitzschutz führen. Für die Erdungsanschlüsse ist folgende grundsätzliche Ordnung getroffen: In jedem Stockwerk befinden sich zwei auf Isolatoren getrennt geführte Ausläuferschienen der Erdelektrode; daran sind angeschlossen:

1. alle Gestellerdungen und Erdungen abgehender Leitungen (Schutzerdung);
2. alle Erdungen der Nullpunkte von Messwandlern (Betriebserdung).

Die *50-kV-Schaltanlage* zieht sich längs der Nordostfassade durch Erdgeschoss, ersten und zweiten Stock. Im Erdgeschoss stehen die 7 Dreikesselölschalter frei in einem gemeinsamen Raum. Sie können mit Leichtigkeit und ohne Ausbau der

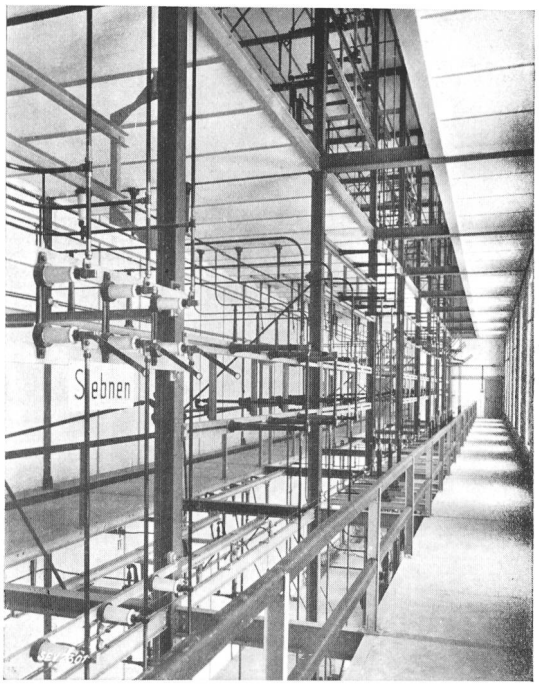

Fig. 11.
Schaltanlage Rempen, 50-kV-Sammelschiene.

Fernsteuerorgane auf einen Transportwagen ausgerollt werden. Sie besitzen polweise ovale Kessel, achtfache Unterbrechung, keine Explosionskammern, wohl aber ursprünglich hochohmige Widerstände und erlauben garantiemässig bis zu 600 MVA abzuschalten. Versuchsweise Abschaltung von 400 MVA ergab einwandfreies Funktionieren, keinen Oelauswurf und nur geringe Rauchbildung. Ueber den Schaltern liegen die Einstabwandler der Leitungen. Im ersten Stock befinden sich an der Decke die Sammelschiene und alle Trennerantriebe für Bedienung vom Gang aus. Dieser liegt

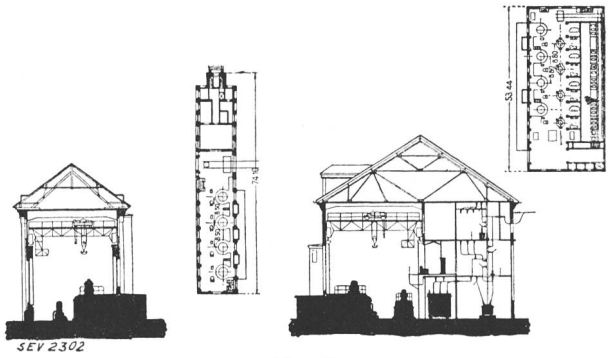

Fig. 12.
Vergleich der Querschnitte der Maschinenhäuser Siebnen (links, Schaltanlage in separatem Bau) und Rempen (rechts, Schaltanlage im Maschinenhaus).

auf dem gleichen Boden wie die Kommandostelle und dicht dabei. Der zweite Stock enthält die Hilfsschiene und die Spannungswandler, sowie eine offene Galerie zur Aufnahme der Durchführungen und Abspannorgane der abgehenden Leitungen. Es sind deren vier für 50 kV, welche die einheitsweisen Verbindungen der Maschinengruppen mit der Schaltanlage Siebnen darstellen, und zwei 8,8-kV-Freileitungen für die Energieversorgung der Talschaft. Ein Betriebstransformator dient zur Speisung der Eigenbedarfsanlage ab den 50-kV-Sammelschienen, sofern die Energie nicht der 8,8-kV-Leitung Siebnen-Rempen-Innertal entnommen wird. Die Eigenbedarfsanlage umfasst zwei Transformatoren 8000/3 × 380/220 V von je 180 kVA. Das Maschinenhaus Rempen ist dank dieser verschiedenen Speisemöglichkeiten in sicherer Weise mit Energie für den Eigenbedarf versehen. Dank dem hohen Sicherheitsgrad der Schaltanlagen und im Streben nach grösster Einfachheit konnte auf Ueberspannungsschutz, Drosselspulen, Selektivschutz, Energierichtungs- und Höchstspannungsrelais verzichtet werden. Die in den Anlagen eingehaltenen kleinsten Luftabstände sind in Tabelle VIII angegeben.

Kleinste Luftabstände der Schaltanlage Rempen.

Tabelle VIII.

Luftabstand	8,8 kV cm	50 kV cm
Phase gegen Phase	30	90
Phase gegen Erde	25	65

Die *Kommandostelle* ist ihrer Bedeutung entsprechend als offene Nische längsseits des Maschinensaales im ersten Stock angeordnet. Sie gestattet freie Sicht auf alle Generatoren und Motoren, sowie in den Maschinensaal überhaupt. Von ihr aus wird die ganze Anlage Rempen gesteuert und überwacht. Die Steuer- und Ueberwachungsorgane der Maschinengruppen sind auf den 12 Feldern der Schaltpulte und diejenigen der Leitungen und des Eigenbedarfs, sowie die Regler und Zähler, in den Schaltwänden untergebracht. Die ganz in Eisen mit Marmortrennwänden gebauten Pulte und Tafeln haben aufklappbare Deckel und Türen, um Einbau und Nachprüfung der Inneneinrichtung zu erleichtern.

Der Betrieb des Wäggitalwerks durch zwei Unternehmungen machte die Führung einer fortlaufenden Rechnung der erzeugten und verbrauchten elektrischen Energie und des im Turbinenbetrieb benützten und durch die Pumpen geförderten Wassermengen notwendig. Diese beiden Messungen erlauben über die Maschinengruppen eine fortlaufende Wirkungsgradkontrolle zu führen. Während die Messung der elektrischen Werte durch die gebräuchlichen Instrumente in der Kommandostelle erfolgt, befinden sich die *wassertechnischen Messinstrumente* in den Maschinensaaltafeln der betreffenden Maschinengruppen. Es hätte dem Grundsatz widersprochen, in der Kommandostelle jede Anwendung von Wasser zu vermeiden, und sehr lange Wasserleitungen bedingt, wenn man auch die Wassermessinstrumente ohne elektrische Fernübertragung in der Kommandostelle hätte zusammenfassen wollen. Die Wassermessung erfolgt mittels Venturimessdüsen und Zählapparaten. Diese, nach dem Prinzip des Differentialmanometers gebauten Instrumente, ziehen automatisch die Quadratwurzel aus dem Druckabfall; sie betätigen eine Schreibnadel und ein Rollenzählwerk für jede Turbinen- und Pumpengruppe. Nach anfänglichen Schwierigkeiten brachte man die Wassermessapparate auf eine Genauigkeit von ± 2 %. Bei den Turbinen konnte der konische Uebergang der 1450-mm-Druckleitung in den 1000-mm-Turbineneinlauf zur verlustlosen Gewinnung der Messdrücke benützt werden.

Der Durchbildung der *lufttechnischen Anlagen* wurde beim Bau besonderes Augenmerk geschenkt. Die Abwärme der Generatoren kann zur Gebäudeheizung verwendet werden, sei es im Zirkulationsbetrieb oder bei fortdauernder Frischluftzufuhr; die Abwärme kann auch direkt ins Freie geleitet werden. Diese Lösung der Lüftungsprobleme erforderte das Hinausrücken der Generatoren an die Aussenwand. Die Motoren stehen hingegen frei im Maschinensaal; um deren Abwärme aus dem Saal abführen zu können, besitzt die Decke besondere Lüftungsöffnungen, durch welche die Luft mittels zweier kräftiger Schraubenventilatoren abgesaugt wird. Das *Generatorenbrandschutzmittel* besteht aus Kohlensäure, welche in hochkomprimierter flüssiger Form in Stahlflaschen bereitgehalten wird. Mit einem einzigen Hebelzug wird bei Brand alle Luftzufuhr zum Generator abgesperrt und das Kohlensäureventil geöffnet. Der Generatorventilator sorgt für Mischung der gefangenen Luft mit dem Löschmittel.

Das Werk Rempen ist mit den notwendigsten Hilfseinrichtungen, wie automatische Telephonanlage, Alarmeinrichtung und 110-V-Batterie versehen. Diese dient als normale Quelle für die Drosselklappen- und Kugelschieberbetätigung, die Drehzahlregulierung der Turbinen, die Brandschutzauslösung, automatisches Schalteröffnen und endlich für die Signallampen; ferner versieht sie den Dienst als Reservestromquelle für Fernsteuerung der Oelschalter und Notbeleuchtung.

Die vier *50-kV-Freileitungen Rempen—Siebnen* können als vier verlängerte Stichleitungen von den vier Turbinengeneratoren- und den vier Pumpenmotoren-Einheiten zu den Sammelschienen Siebnen betrachtet werden, denn sie dienen nur internen Zwecken und sind bei der Einordnung in die Gesamtschaltung dementsprechend behandelt worden. Die vier Stränge der 3,8 km langen Leitung hängen auf 17 eisernen Portalmasten, welche in Abständen von im Mittel 220 m aufgestellt sind. Die Abspannmasten erhielten viergliedrige und die Tragmasten dreigliedrige Ketten aus Kappen-Bolzen-Isolatoren für 3500 kg garantierte Beanspruchung. Die Kupferseile haben 95 mm² Querschnitt; sie werden im Winter zur Entfernung gefährlicher

Schneewalzen mit dem Betriebsstrom oder in besonderer Schaltung aufgeheizt.

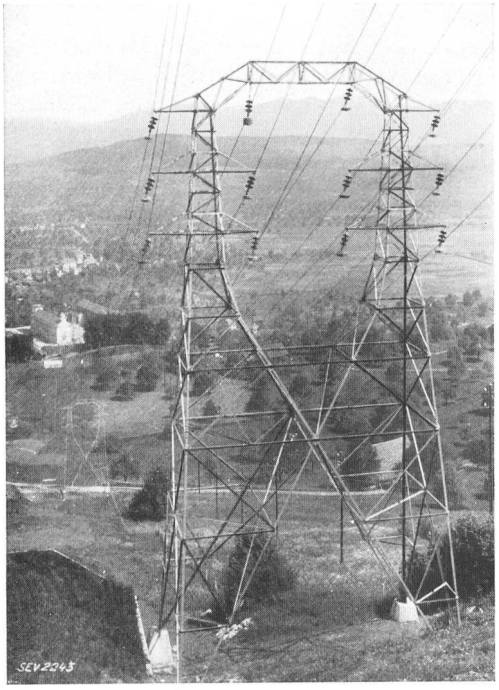

Fig. 13.
50-kV-Leitung Rempen-Siebnen, Mast Nr. 5.

c) *Untere Stufe.*

Die Ausführlichkeit, mit der die obere Stufe, insbesondere deren elektromechanischen Anlagen, hier behandelt wurden, erlaubt, die Beschreibung der unteren kürzer zu fassen, um so mehr, als die Bauleitung bestrebt war, die beiden Stufen, soweit angängig, nach den gleichen Grundsätzen auszubauen.

Das *Ausgleichbecken Rempen* und dessen Staumauer sind mit den wichtigsten Grössen auf Seite 27 beschrieben. Die Wasserfassung befindet sich beim rechten Widerlager der Mauer. Als Abschlussorgan genügt wegen des nur 17 m betragenden Ueberdrucks eine Drosselklappe von 3,3 m Durchmesser und 44 cm Stärke. Der anschliessende

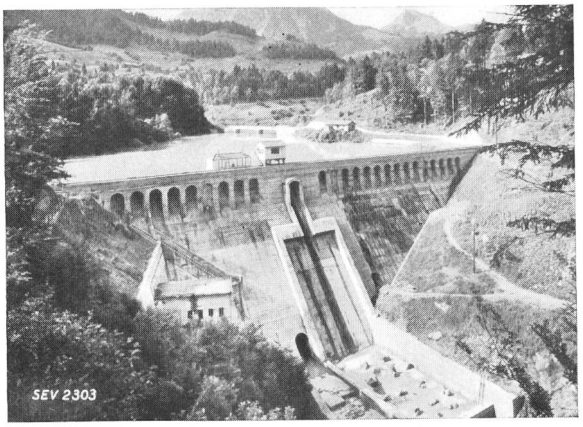

Fig. 14.
Ausgleichbecken Rempen, Blick von Norden auf Mauer und Strassenbrücke.

Druckstollen von insgesamt 2543 m Länge überschreitet als Aquädukt den Trebsenbach. Er ist mit einem Sohlengefälle von 5,78 ‰ für 45 m^3/s Wasserführung gebaut. Vorläufig wird er mit höchstens 32 m^3/s betrieben, was bei seinem Durchmesser von 3,6 m eine grösste Wassergeschwindigkeit von 3,15 m/s ergibt. Das *Wasserschloss* ist derart dimensioniert, dass alle vier Turbinen gleichzeitig innerhalb der Oeffnungszeit ihrer Regulierung von 3,2 m^3/s (Leerlauf) auf 32 m^3/s (Vollast) gebracht oder umgekehrt, innerhalb 12 bis 20 Sekunden alle vier Turbinen von Vollast auf Leerlauf entlastet werden können. Als Abschlussorgane gegen die Druckleitungen sind in das 26 m lange Hosenrohr zwei automatische Drosselklappen von 2500 mm Lichtweite nebeneinander eingebaut. Diese werden mit-

Technische Daten der Druckleitung Siebnen.
Tabelle IX.

Gefälle m	Länge m	Lichter Durchmesser m	Blechstärke mm	Verbindungsweise
83,10	431,5	2,5	10 bis 19	genietet
56,45	234,8	2,3	18 bis 24	wassergasgeschweisst
23,50	172,0	2,2	24 bis 27	„
163,05	838,3 [1]			

[1]) Einschliesslich Verteilleitungen.

tels Drucköl betätigt, das entweder in einer elektrisch oder in einer von Hand angetriebenen Kolbenpumpe erzeugt wird. Ausserdem ist zur sicheren Bereitstellung von Drucköl, wie im Apparatenhaus der oberen Stufe, ein Gewichtsakkumulator im *Apparatenhaus* eingebaut. Die Schliessbewegung kann entweder von der in die betreffende Rohrleitung eingebauten Stauscheibe oder durch Fernsteuerung von der Kommandostelle aus eingeleitet werden. Im Gegensatz zu der offen verlegten *Druckleitung* Rempen befindet sich diejenige der unteren Stufe im Boden. Die Verdeckung der Rohre auf dem weithin sichtbaren Trasse der unteren Stufe war durch Rücksichten auf das Landschaftsbild und auf die Bewirtschaftung der durchschnittenen Liegenschaften geboten, während das schwierige Gelände der oberen Rohrleitung deren offene Verlegung zur leichteren Ueberwachung erforderlich machte. Zwischen den drei Fixpunkten sind die Rohre der unteren Stufe,

Druckverluste der hydraulischen Leitungen bei vollbelasteter Anlage (32 m^3/s). Tabelle X.

Strecke	Masseinheit	Obere Stufe (Rempen)		Untere Stufe (Siebnen)	
		Projektberechnung	Messung	Projektberechnung	Messung
Stollen . .	m	6,74	7,60	5,09	5,44
Druckleitung	m	5,00	4,45	4,41	4,34
Verteilleitung	m	0,53	0,45	0,26	0,54
Total	m	12,27	12,50	9,76	10,32
In % des max. Bruttogefälles	%	4,7	4,8	5,0	5,3

welche zwei starre Rohrstränge bilden, ohne Dehnungsstücke und ohne bewegliche Auflager bis zu 20 cm unter die Rohrachse gleichmässig auf Betonsockel aufgelagert. Die obere Strecke besteht aus genieteten, die untere aus wassergasgeschweissten Muffenrohren. Sie sind zum Schutz gegen Rostbildung nach Prüfung mit 1,5fachem Betriebsdruck und gründlicher Reinigung erst mit einem kalt aufgebrachten Asphaltbitumenanstrich und sodann mit einer Juteumwicklung versehen worden, auf welche zuletzt Asphaltbitumen in heissem Zustande mit Druck gespritzt wurde. Die Isolation hat eine Dicke von 4 mm und kostete 6 Fr./m². Die Erdüberdeckung misst 50 cm über der Rohroberkante. Im Gegensatz zur oberen Stufe sind die Verzweigungsstücke der unteren aus normalen Rohrstücken gebildet, welche auf der Baustelle durch kräftige Flusseisenrahmen versteift wurden. Die vorausberechneten und gemessenen Druckverluste der hydraulischen Leitungen sind in Tabelle X zusammengestellt.

Das *Werk Siebnen* hat ausser der Energieerzeugung die Verbindung mit den Netzen beider Partner und dem Landesnetz herzustellen. Dementsprechend spielen die Freileitungen eine bedeutendere Rolle als im Werk Rempen. Die Schaltanlage fiel deswegen wesentlich grösser aus; sie wurde in einem Sonderbau untergebracht, welcher wie das Maschinenhaus parallel zur Aa steht und mit ihm zusammen einen Hof bildet. Die beiden Gebäude stehen auf einem $130 \times 95 = 12\,350$ m² messenden ausgeebneten Areal und sind durch einen begehbaren unterirdischen Kabelkanal von $1{,}7 \times 2{,}0$ m und einen Warmluftkanal von $1{,}15 \times 1{,}95$ m Lichtweite unter sich verbunden.

Das *Maschinenhaus*, ein reiner Eisenbetonbau von 75,0 m Länge, 13,9 m Breite und 15,0 m Fassadenhöhe und unverputzten Ansichtsflächen, besteht aus dem Maschinensaal mit Unterbau für die hydraulischen Anlagen und den notwendigen Nebenräumen. Der Maschinensaal ist 47,55 m lang. Die Lösung der lufttechnischen Aufgaben war auch hier für das Anlehnen der Generatoren an die Hofwand bestimmend (vgl. Fig. 12, 16 u. 17). Im Maschinensaal sind neben den vier Turbinengruppen die *Druckölpumpen* und die *Druckregler* sowie in Wandnischen die Tafeln für die hydraulischen Kontrollinstrumente aufgestellt. Der Maschinenhauskopf dient zur Aufnahme des Oellagers im Keller, der Aborte, Schmiede und Werkstatt im Erdgeschoss, des Arbeiter- und des Batterieraumes im ersten, des Kabelbodens im zweiten und des Kommandoraumes im dritten Geschoss. Ein Kabelschacht von $2{,}5 \times 3{,}65$ m bildet die Fortsetzung des vom Schalthaus zum Maschinenhauskopf führenden Kabelkanals und mündet unmittelbar in den Kabelboden. Der Maschinenhauskopf enthält ferner Treppe und Aufzug; er ist aus architektonischen Gründen als Turm über den Gebäudefirst hochgeführt. Der Bau des Maschinenhauses nahm vom Beginn des Aushubs bis zur Betriebsbereitschaft der ersten Maschineneinheit 19 Monate in Anspruch. Der Fundamentaushub beträgt 10 398 m³, die Betonkubatur 6952 m³, wovon mehr als die Hälfte auf den Unterbau entfällt.

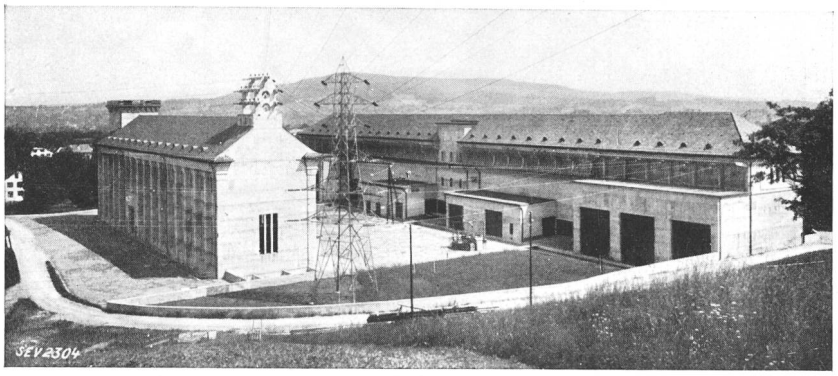

Fig. 15.
Werk Siebnen, Maschinen- und Schalthaus.

Die vier *Turbinen* sind als vertikalachsige Francis-Spiralturbinen mit Laufrädern und Leitschaufeln aus Stahlguss gebaut. Die Konstruktionsdaten sind soweit wie möglich gleich denjenigen der Rempenturbinen gewählt. Die wenig Platz beanspruchenden Kugelschieber haben einen um 100 mm grösseren Durchmesser als die der oberen Stufe. Die allgemeinen und besonderen technischen Daten der Turbinen beider Stufen sind in Tabellen I und III zusammengestellt.

Obschon die *Generatoren* der untern Stufe nicht von der gleichen Firma konstruiert wurden, galten für den Bau gleiche Unterlagen und Grundsätze. Die Generatoren der unteren Stufe sind trotz der kleineren Turbinen im Hinblick auf die von jedem Partner individuell durchzuführende Phasenkompensation gleich gross gewählt worden wie diejenigen der oberen Stufe, wo jeder Generator durch einen Pumpenmotor in der Blindleistungserzeugung unterstützt werden kann. Vergleichsweise sind die technischen Daten der Generatoren in Tabellen I und IV niedergelegt.

In beiden Stufen bildet jeder Generator mit

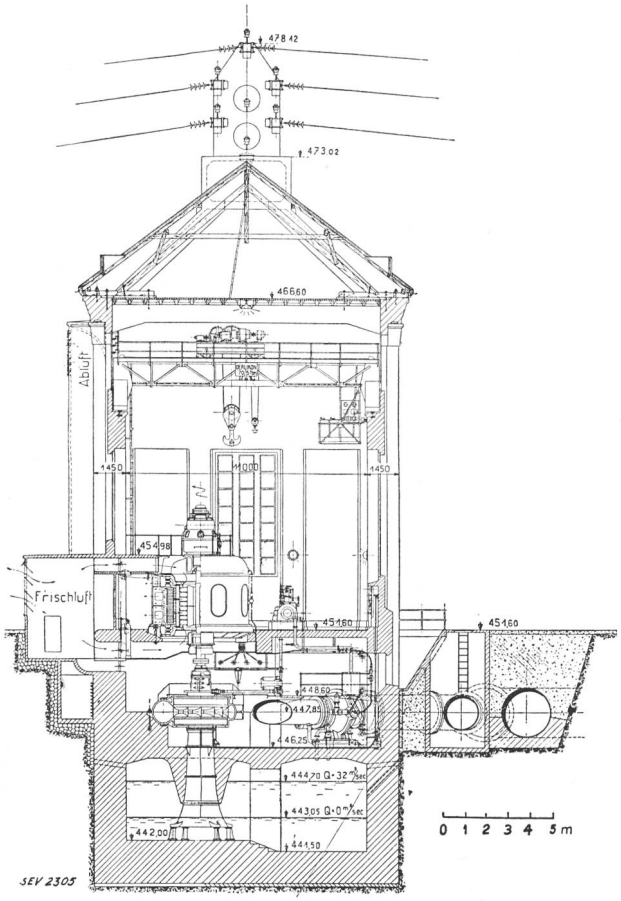

Fig. 16.
Maschinenhaus Siebnen, Querschnitt.

seinem *Transformator* eine elektrische Einheit, weshalb auch in Siebnen vier Transformatoren von je 16 500 kVA aufgestellt sind. Nachdem untersucht worden war, ob es wirtschaftlicher sei, die Energie aller vier Maschinengruppen von 8,8 auf 50 kV und je nach den Bedürfnissen der Partner individuell von 50 auf 150 kV oder in einer Stufe von 8,8 auf 150 kV heraufzutransformieren, bewirkte die Verschiedenheit der Anforderungen an die Fortleitung der erzeugten Energie in die Konsumgebiete der beiden Partner eine Ungleichheit der Transformatoren bezüglich ihrer Oberspannungen. Für die vorwiegend den NOK dienenden Turbinengruppen I und II wurden Transformatoren 8,8/150 kV gewählt, weil diese direkt auf die Leitung Siebnen—Grynau—Töss arbeiten und damit gegenüber der zweistufigen Transformierung Kosten erspart werden konnten. Den hauptsächlich auf das Netz des EWZ geschalteten Generatoren III und IV wurden Transformatoren 8,8/50 kV zugeordnet. Um die dem schweizerischen Landesnetz zuzuführende Energie in 150 kV abgeben zu können, sind zwei weitere Transformatoren 50/150 kV für das EWZ beschafft worden, welche ebenfalls je 16 500 kVA Leistung besitzen. Endlich war zur Aushilfe zwischen den verschiedenen Spannungen noch ein Kuppeltransformator 50/150 kV gleicher Leistung erforderlich, dessen drei Unterspannungsanzapfungen über einen dreipoligen Stufenschalter im Betrieb mit voller Belastung umgeschaltet werden können. Tabelle VI fasst einige technische Daten aller Transformatoren zusammen. Die 50/150-

Fig. 17.
Maschinensaal Siebnen.

kV-Transformatoren wurden ausser der Sprungwellenprobe nach SEV-Normen folgenden Isolationsprüfungen ausgesetzt:

Unterspannungswicklung gegen Eisen . .	103 kV
Oberspannungswicklung gegen Unterspannungswicklung und gegen Eisen . . .	269 kV
Unterspannungsisolatoren	31 kV

Grundlegend für den Ausbau der *Schaltanlage* waren die Bedürfnisse der beteiligten Unternehmungen und deren Bau- und Betriebsvertrag, welcher bestimmt, dass das gesamte Werk bis zu der Schaltanlage Siebnen Gemeinschaftsanlage ist, für welche in Bau und Betrieb volle Gleichberechtigung der beiden Kontrahenten gilt. Der gleiche Vertragsartikel bestimmt weiter, dass die Schaltanlagen in Siebnen, deren Ausbau unter Wahrung der Einheitlichkeit der Anlage nach den besonderen Bedürfnissen der beiden Kontrahenten erfolgt, als Sonderanlagen zu betrachten sind. Damit war eine Zweiteilung nach den beiden beteiligten Werken und eine weitere Gliederung nach den Spannungen 50 kV und 150 kV gegeben. Für die Anordnung der Schaltanlage war die Zahl der Partnerleitungen und die durch die Betriebsverhältnisse festgelegte Anzahl Sammelschienen bestimmend. Um zwischen dem Bau einer Freiluft- oder geschlossenen Schaltanlage zu entscheiden, waren umfas-

sende wirtschaftliche Berechnungen durchzuführen, welche ergaben, dass die Anlage im Freien rund 1,5 % teurer zu stehen kam. Ausschlaggebend waren bei diesen Verhältnissen die Transformatoren. Bei damals gültigen Preisen fielen jene für 50 kV rund 24 % und jene für 150 kV bei Aufstellung im Freien etwa 11 % teurer aus. Die betriebsfertige Freiluftschaltanlage bestimmten Umfangs verursachte gegenüber der Schaltanlage im Gebäude bei 50 kV etwa 4 % und bei 150 kV etwa 1 % Mehrkosten. Endlich kamen noch die bei schweizerischen Witterungsverhältnissen zu erwartenden Betriebsvorteile der geschlossenen Anlage hinzu, so dass der Entscheid zu deren Gunsten ausfiel. Durch die Lostrennung vom Maschinenhaus und Verlegung in ein 130 m langes Gebäude konnte eine grosszügige Lösung geschaffen werden. Das Schaltungsschema enthält fünf deutlich unterscheidbare Teile, nämlich:

1. NOK 150-kV-Anlage;
2. NOK 50-kV-Anlage;
3. AKW Kupplung NOK/EWZ und Betriebstransformator;
4. EWZ 50-kV-Anlage;
5. EWZ 150-kV-Anlage.

Diese Einteilung kommt auch in dem als Hallenbau erstellten Schalthaus zum Ausdruck, der gegenüber einem Flachbau Vorteile aufweist. Die zwei in die drei mittleren Bauteile eingefügten Böden können als frei aufgehängte Bedienungsstege betrachtet werden. Grundsätzlicher Art war die Festlegung, dass mit Rücksicht auf die Gefährdung der Generatoren auf direkte Energieabgabe mit Maschinenspannung in die Nähe des Werkes und für deren Nebenbetriebe trotz Mehrkosten verzichtet wurde. Die 8,8-kV-Kreuzungsschiene erfüllt nur die Aufgabe, einzelne Generatoren mit dem Wasserwiderstand zu verbinden oder in aussergewöhnlichen Fällen Generatoren auf ihnen nicht

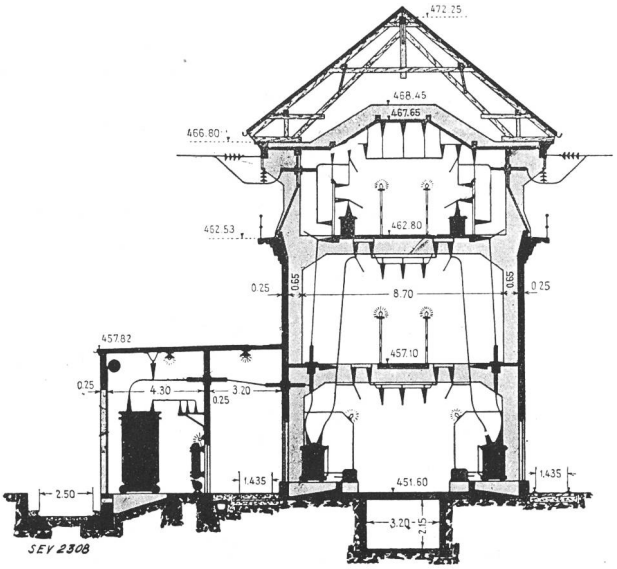

Fig. 19.
Schaltanlage Siebnen, Querschnitt durch 50-kV-Teil.

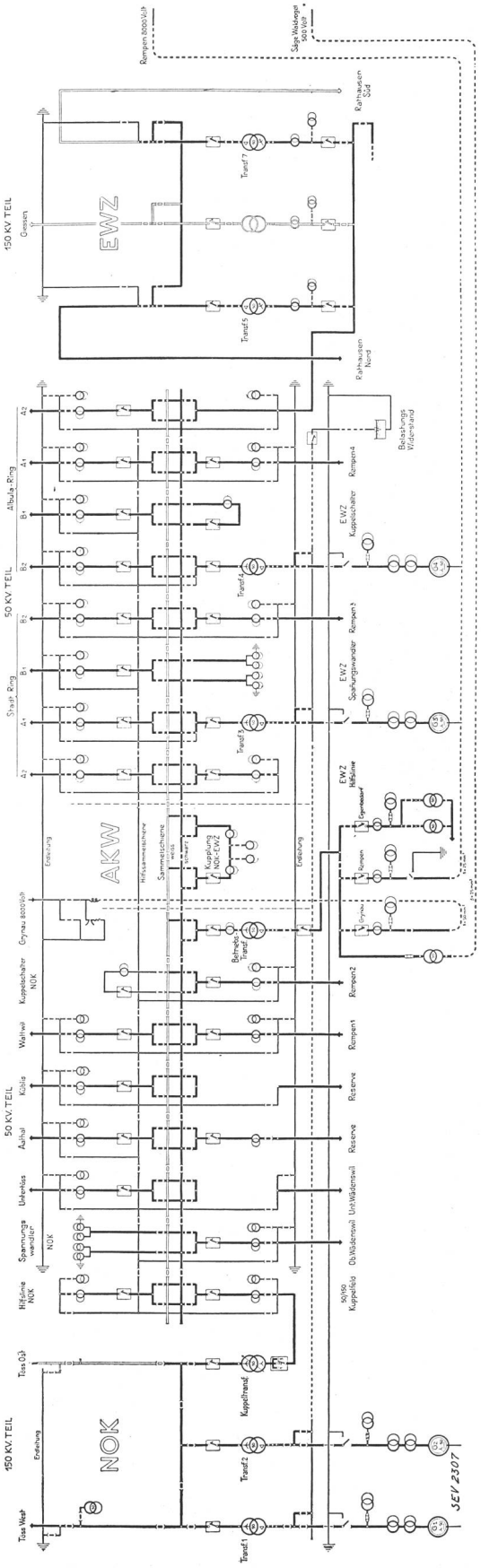

Fig. 18. Werk Siebnen, Schaltungsschema.

direkt zugeteilte Transformatoren zu schalten. Generatoren und zugehörige Transformatoren bilden mit einem 50- bzw. 150-kV-Schalter eine elektrische Einheit. Die Schaltanlage Siebnen ist der Zusammenschlusspunkt folgender Energiewege:

4 Generatoren Rempen, verbunden durch je eine 50-kV-Leitung;
4 Generatoren Siebnen, wovon 2 auf die 50-kV- und 2 auf die 150-kV-Sammelschienen arbeiten;
3 Leitungen NOK 50 kV nach Grynau;
2 » NOK 50 kV nach Wädenswil;
4 » EWZ 50 kV von Sils;
4 » EWZ 50 kV nach Zürich;
1 Leitung NOK 150 kV nach Töss;
1 » EWZ 150 kV nach Rathausen.

Die *50-kV-Sammelschienen* sind doppelt angelegt und einheitlich ausgebaut; ausserdem besteht noch eine Hilfsschiene. Sie laufen an den Decken durch den Mittelbau und die beiden anschliessenden Hallen. Ein Kuppelschalter gestattet, die Sammelschienen der Partner zum Parallelbetrieb zusammenzuschalten und durch seine automatische

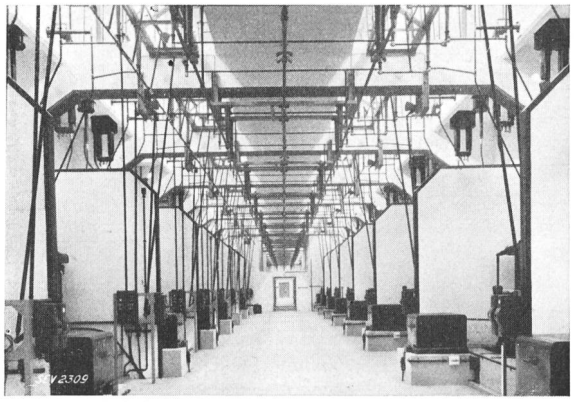

Fig. 20.
Schaltanlage Siebnen, Erdgeschoss des 50-kV-Teils.

Frühauslösung Betriebsstörungen des einen Netzes vom andern fernzuhalten. Die Erfahrung hat gezeigt, dass diese Betriebskombination nur äusserst selten vorkommt, trotzdem Messeinrichtungen erlauben, die von einem Werk dem andern gelieferte Energie zu messen. Raum für einen Kuppeltransformator oder Induktionsregler mit zweiter Schaltergruppe ist reserviert. Die 50-kV-Sammelschienen durchlaufen je 8 zweiseitig benützbare Gebäudeteilungen von 4 m Breite, welche jedem Partner zur Verfügung stehen. Zwischen je zwei solchen sind die Schienen durch Trenner längs unterteilt. Alle elektrischen Ausrüstungen der Felder sind grundsätzlich gleich; dadurch wurde eine übersichtliche und wohlgeordnete Anlage erzielt. Eine besondere Gebäudeteilung nimmt die sogenannte Hilfslinie auf, deren jeder Partner eine besitzt. Sie ist dazu bestimmt, mittels der Hilfsschiene ein beliebiges Leitungsfeld zu ersetzen und dessen Apparate, insbesondere den Oelschalter, bei Wei-

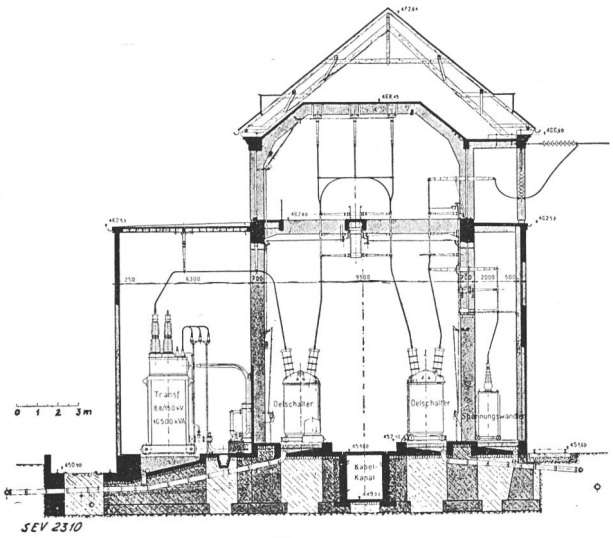

Fig. 21.
Schaltanlage Siebnen, Querschnitt durch 150-kV-Teil (NOK).

terbetrieb der Leitung zugänglich zu machen. In gleicher Weise gestattet die Hilfsschiene, die Leitungen ohne Schalter unter sich zu verbinden und das Schalthaus mit Ausnahme des zweiten Geschosses spannungsfrei zu machen. Von dieser Lösung wird jedoch praktisch nur in Ausnahmefällen und nur für einzelne Leitungen vorübergehend Gebrauch gemacht. Der elektrische Sicherheitsgrad der Schaltanlage wurde durch Einhaltung grosser, einheitlicher Luftabstände, wie sie in Tabelle XI angegeben sind, möglichst hoch gewählt und dafür auf jeglichen besonderen Ueberspannungsschutz verzichtet. Zur Ableitung statischer Ladungen dienen Erdungsdrosselspulen, die zugleich für die Erdschlusskontrolle benützt werden.

Der Ausbau der *150-kV-Schaltanlagen* der beiden Unternehmen ist auf das Notwendigste beschränkt. Es ist nur je eine 150-kV-Sammelschiene vorhanden. Das EWZ speist seine 150-kV-Anlage

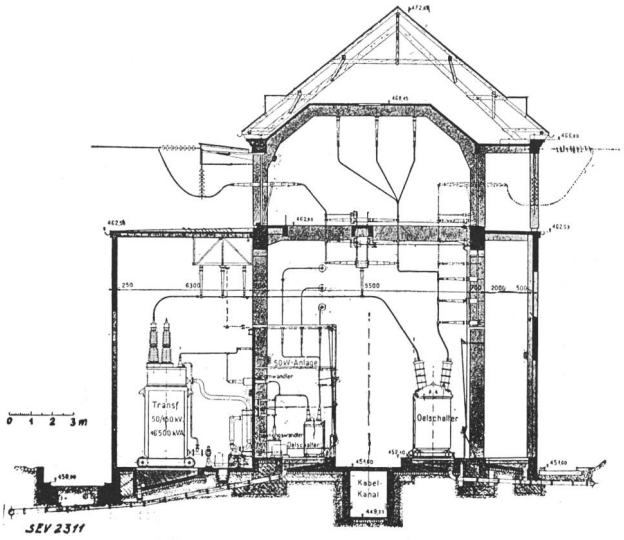

Fig. 22.
Schaltanlage Siebnen, Querschnitt durch 150-kV-Teil (EWZ).

Normale Luftabstände der Schaltanlage Siebnen.

Tabelle XI.

	8,8 kV cm	50 kV cm	150 kV cm
Trennerlänge	30	70	200
Mitte Phase bis Mitte Phase im Innern	35	90	180
Mitte Phase bis Wand im Innern	24	65	135
Phase bis Phase bei der Ausführung	—	120	400
Phase bis Phase bei der Leitungsabspannung	—	130	400

ab den 50-kV-Sammelschienen, während die Generatoren I und II der NOK direkt auf deren 150-kV-Sammelschiene arbeiten. Es hat sich später als notwendig erwiesen, über weitere Sammelschienen zu verfügen, welche einzelne Leitungen beider Partner für temporäre Energietransporte miteinander zu verbinden gestatten. Diese wurden auf der dem Hof abgewendeten Seite des Schalthauses als Freiluftschienen später hinzugefügt. Sie bestehen aus 6 Leitern, welche zwei 50-kV-Systeme bilden und verlaufen in genügendem Abstand unter den Leitungen. Durch Herausnehmen von 3 Leitern wird eine Sammelschiene für 150 kV geschaffen, deren Stützpunkte von vornherein ausreichend isoliert worden sind. Die 150-kV-Schalträume NOK und EWZ sind baulich im wesentlichen gleich angelegt, elektrisch aber den Aufgaben entsprechend verschieden ausgerüstet. Fig. 19 und 20 zeigen die Leitungsführungen in den typischen Querschnitten.

Das *Schalthaus* ist ein durch Dehnungsfugen in fünf von einander unabhängige Baukörper geteilter reiner Eisenbetonhochbau von 130,5 m Länge, der auf festgelagerten Kiesboden fundiert werden konnte. Die Unterkellerung ist auf einen das Haus in ganzer Länge durchlaufenden Kabelkanal von 2,15 m Höhe und 3,2 resp. 1,7 m Breite beschränkt. Der Mittelbau, durch den die Treppe läuft, besitzt 3 Geschosse, dessen oberstes im Kehlgebälk liegt. Die beiden seitlich anschliessenden 50-kV-Hallen haben zwei auf Stockwerkhöhen eingebaute Kontrollgänge, während die 150-kV-Anlagen kleine Laufstege besitzen, die nur bei spannungsloser Anlage begangen werden dürfen. Das natürliche Licht fällt durch Fenster ein, die im zweiten Stock auf beiden Seiten des Gebäudes auf der ganzen Länge fest angeordnet sind. Die Lüftung ist zwangsläufig. Vom Maschinensaal wird kalte oder warme Luft unten in das Schalthaus eingepresst, welches aufsteigend durchströmt wird. Regulierklappen in Decke und Boden erlauben, die Lüftung und Heizung zu beeinflussen. Auf der Hofseite sind in einstöckigen Vorbauten die Transformatoren untergebracht (vgl. Fig. 15, 19, 21 u. 22). Der umbaute Raum unterhalb des Dachgesimses misst 35 300 m³. Alle Oelschalter sind im Erdgeschoss derart aufgestellt, dass sie nach Oeffnen der grossen Eisentüren ohne Ausbau des Fernantriebes nach aussen auf einen Transportwagen geschoben werden können. Alle dreipoligen Trenner der beiden Sammelschienen werden mittels Stangenantrieben vom Gang im Erdgeschoss, die der Hilfsschiene und der Leitungen vom zweiten Stock aus, bedient.

Technische Daten der Oelschalter 50 kV und 150 kV.

Tabelle XII.

	Masseinheit	Rempen	Siebnen	
		50 kV	50 kV	150 kV
Nennspannung	kV	50	50	135
Nennstrom	A	600	600	350
Dauerkurzschlußstrom	A	7000	7000	2500
Dynamisch und thermisch während 5 s zulässiger Kurzschlußstrom	A	10000	10000	4000
Dynamisch und thermisch während 1/5 s zulässiger Kurzschlußstrom	A	20000	20000	8000
Abschaltleistung	MVA	600	600	600
Prüfspannung des Schalters	kV	101	101	270
Prüfspannung der Durchführungen	kV	110	110	280
Unterbrechungen pro Pol	—	8	2	2
Explosionskammer	—	ohne	mit	mit
Oelgewicht pro Pol	kg	700	750	4700
Kesselgrundriss	—	Oval	Kreis	Kreis

Die Uebersichtlichkeit wurde durch einheitlichen farbigen Anstrich der spannungsführenden Leiter (150 kV orange, 50 kV rot), Erdungen (schwarz) und Tragkonstruktionen (grau) wesentlich erhöht. Die Phasen sind durch farbige Ringe an den Verzweigungs- und Anschlußstellen bezeichnet.

Die Wahl der *Oelschalter* für 50 und 150 kV bildete deshalb ein schwieriges Problem, weil für die hohe Abschaltleistung keine reihenmässig hergestellten europäischen Konstruktionen vorlagen und es an praktischer Erfahrung über das Verhalten der Schalter bei derart hoher Beanspruchung fehlte. Die technischen Daten der Neukonstruktionen sind in Tabelle XII zu finden. Die Oelschalter 50 und 150 kV der Schaltanlage Siebnen sind prinzipiell gleich konstruiert. Sie stehen frei im Schalthaus; mit Ausnahme der zwischen zwei benachbarten 50-kV-Schaltergruppen aufgerichteten Trenn-

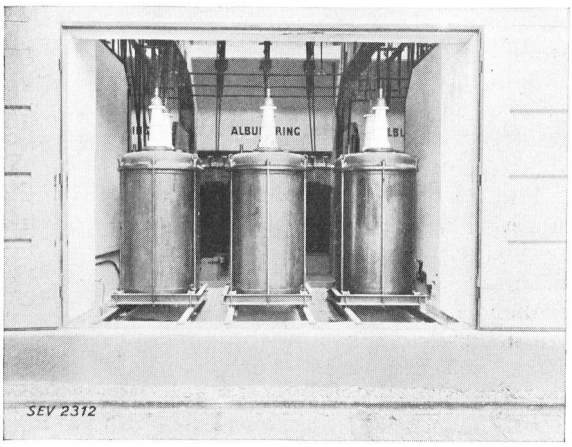

Fig. 23.
Schaltanlage Siebnen, 50-kV-Oelschaltergruppe von aussen gesehen.

mauern des Erdgeschosses besteht kein weiterer Raumabschluss gegen die Schaltanlage.

Die 50-kV-Anlage besitzt in den Leitungsschaltfeldern einheitliche *Stromwandler* mit eichfähigen Meßsystemen. Die Aussenphasen erhielten Schleifen-, die Mittelphasen billigere Einstabstromwandler von den Uebersetzungsverhältnissen $\frac{400/200}{5}$ A oder $\frac{200/100}{5}$ A. Die Umschaltung erfolgt auf der Hochspannungsseite. Tabelle XIII zeigt die technischen Daten der 50-kV-Wandler. In den 150-kV-Anlagen wurde nur der erforderliche Platz für Stromwandler vorgesehen, von deren Aufstellung aber vorläufig abgesehen.

Technische Daten der 50-kV-Stromwandler.

Tabelle XIII.

	Mass-einheit	Mehr-schleifen-wandler	Einstab-wandler
Prüfspannung	kV	144	130
Belastbarkeit	VA	60	30
Kapazität	cm	270	150
Leistungsverluste . . .	W	4	7 bis 20

Als *Trenner* wurden für 8,8 kV und 50 kV solche mit dem Drehpunkt am Ende des Messers, das bei 8,8 kV aus 1 (bis 600 A) oder 2 Kupferschienen (1200 A) und bei 50 kV aus einem 25/20 mm (400 A) oder 35/30 mm Kupferrohr (600 A) besteht. Die Trenner für 150 kV mussten besonders konstruiert werden und zwar wurde eine Bauart mit drei Isolatoren und Drehpunkt in der Mitte,

Technische Daten der 8,8-kV-, 50-kV- und 150-kV-Spannungswandler. Tabelle XIV.

	Mass-ein-heit	8,8 kV	50 kV	150 kV
Spannungen	V	9000 / 100	50000 / 100	150000 / 100
Belastbarkeit, thermisch zulässig	VA	400	730	10
Prüfspannung d. Wandler	kV	29,2	100	280
Prüfspannung der Durchführungen	kV		144	300

besonderen Fang- und Verriegelungsfingern an den Kontaktstellen gewählt. Das Trennerrohr hat 40/35 mm Durchmesser. Alle dreipolig gekuppelten Trenner werden mittels Hebelantrieb und ausbalanciertem Rohrgestänge bedient.

Alle *Innenleitungen* für Hochspannung sind aus Kupferrohren hergestellt, deren Querschnitt nach der Spannung und der auftretenden Normalstromstärke sorgfältig ausgewählt sind. Tabelle XV gibt darüber Aufschluss. Rücksichten auf Koronaverluste waren für den verhältnismässig grossen Querschnitt der Rohre der 150-kV-Anlage massgebend. Als Verbindungs- und Abzweigstücke dienen ausschliesslich konzentrische Klemmen, deren versuchsweise Belastung mit doppelter Nennstromstärke grösste Uebertemperaturen von 30° C ergab.

Technische Daten der Schaltanlage Siebnen.

Tabelle XV.

	Kupfer-				Isolatoren	
	Zuläss. Strom A	Rohr-durch-messer mm	Rohr-quer-schnitt mm²	Strom-dichte A/mm²	Überschl.-spannung kV	Material
8,8-kV-Anlage .	1200	35/25	470	2,55		Porzellan
50-kV-Linienfelder . . .	400	25/20	177	2,25	ca. 200	Häfelyt C und Holz
50-kV-Sammelschienen . .	600	35/30	255	2,35		
150-kV-Anlage .	400	35/30	255	1,57	400	Holz

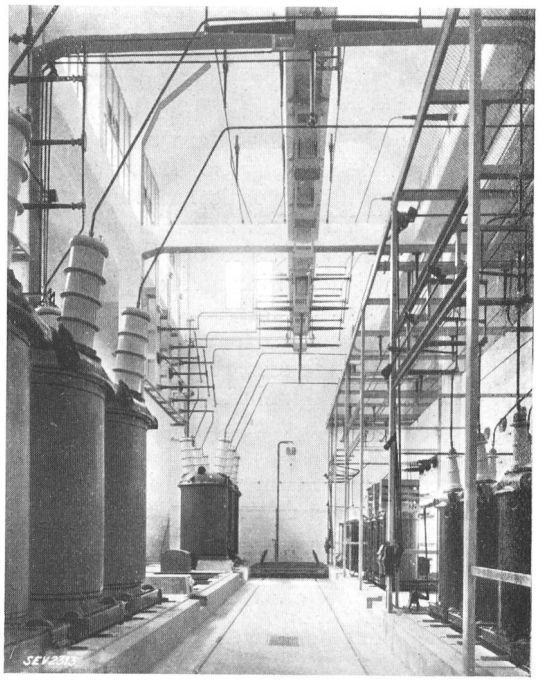

Fig. 24.
Schaltanlage Siebnen, 50/150-kV-Anlage (EWZ).

Für die 8,8-kV-Anlage kamen kittlose Porzellan-*Isolatoren* für 24 kV Betriebsspannung zur Verwendung. Die Isolatoren der 50-kV- und der 150-kV-Anlage waren beim Bau Neukonstruktionen bezüglich Material und schlanker Form, deren Vorteile in geringem Gewicht (4 kg für 50 kV, 14 kg für 150 kV), einfachem Einbau und niedrigem Preis liegt. Die Isolatoren aus Haefelyt C, einem gegossenen Stoff aus synthetischen Harzen, haben den weiteren Vorteil grosser Elastizität und grösserer Ueberschlagsspannung als Porzellanisolatoren gleicher Bauhöhe (65 cm für 50 kV). Im Lichtbogen ist das Material ziemlich widerstandsfähig; die Oberfläche kann durch einfaches Nachdrehen aufgefrischt werden. In der 150-kV-Anlage wurden Isolatoren gleichen Profils, jedoch für 400 kV Ueberschlagsspannung aus imprägniertem Holz verwendet. Versuchsweise wurden auch einige Stücke der 50-kV-Type aus imprägniertem Holz eingebaut. Alle Isolatoren haben sich im Betrieb gut bewährt.

Die *Durchführungen* der Leitungen 50 kV und 150 kV sind nach dem Kondensatorprinzip für die

gleichen Ueberschlagsspannungen wie die zugehörigen Isolatoren gebaut.

Der *Kommandoraum* darf als das Gehirn und die Mess- und Befehlsleitungen als das zentrale

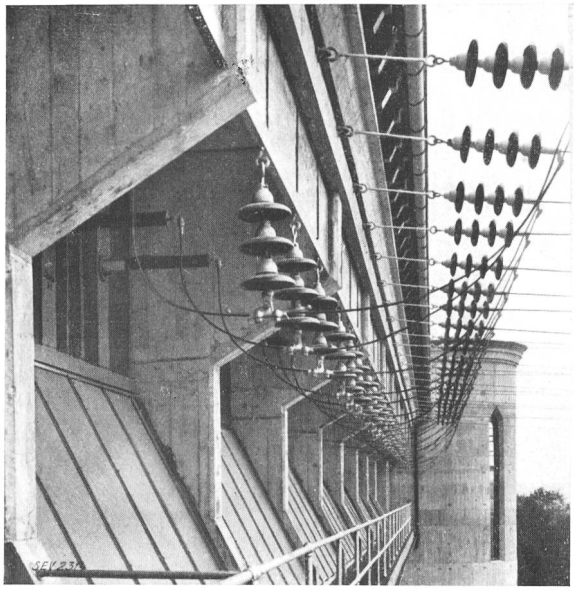

Fig. 25.
Schaltanlage Siebnen, Durchführungen ohne Porzellanüberwürfe und Abspannungen der 50-kV-Leitungen (EWZ).

Nervensystem bezeichnet werden. Er ist der auf Seite 27 umschriebenen Aufgabe des Werkes Siebnen entsprechend als ein ständig bedienter, für sich abgeschlossener Raum mit Sicht in den Maschinensaal durchgebildet, von dem aus die Verbindungen mit den Oberbetriebsleitungen der beiden Gesellschaften mittels Hochfrequenz-Telephonen rasch hergestellt werden können. Die Schaltanlage selbst ist unbedient; alle Oelschalter sind von der Kommandostelle aus steuerbar. Die Trennerumstellungen werden von dort aus kommandiert; für die Ausführung von solchen Schaltungen begibt sich ein Mann der dreimännigen Schicht in das Schalthaus.

Fig. 26.
Werk Siebnen, Kommandoraum.

Der Kommandoraumgrundriss stellt ein Abbild der Gesellschaftskonstitution dar, denn er ist streng symmetrisch aufgebaut in bezug auf die ihn längs durchlaufende Hoheitsgrenze zwischen beiden Partnern. Massgebend für die Anordnung waren die drei Betriebskomponenten

a) Normalbetrieb der Maschinen und Leitungen,
b) Störungsbehebungen,
c) Schaltungen für Aenderungen der Betriebskombination oder besondere Arbeiten,

und überdies die von den Partnern gestellten Forderungen an das gemeinsame Personal für die Ueberwachung der Gesamtbetriebe. Grundsätzlich werden alle Befehle für die Anlage Siebnen im Kommandoraum ausgegeben, entweder durch optische Zeichen mittels besonderer Einrichtungen oder schriftlich oder durch das Telephon, oder dann werden sie von dort mittels Fernsteuerung gleich ausgeführt. Zur Verdeutlichung des Schaltzustandes ist ein grosses *Leuchtschema* angebracht, in welchem die Stellungen aller wesentlichen Schaltorgane automatisch gemeldet werden; die übrigen Umstellungen müssen von Hand ausgeführt werden. Die Ausrüstung der Pulte und Tafeln mit Messinstrumenten, Kontroll- und Steuerorganen ist nach einheitlichen Grundsätzen durchgeführt, was dem Raum ein angenehmes Gepräge gibt. Die klare Anordnung scheidet die sechs vorderen Pulte und Nebentafeln für die Generatorensteuerung und Regulierung aus, weist die rückwärtigen den 50/150-kV-Anlagen beider Partner zu und überlässt die

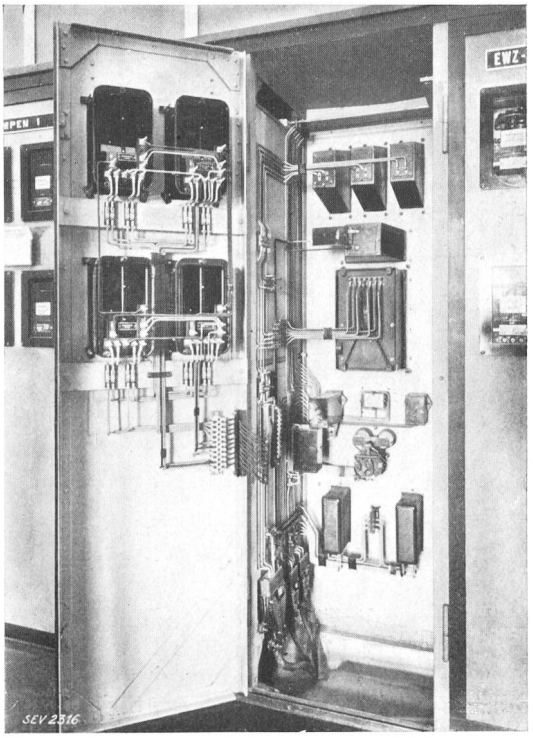

Fig. 27.
Werk Siebnen, Schaltfeld einer abgehenden Leitung im Kommandoraum, von hinten; Türe mit eingebauten Zählern geöffnet.

auf beiden Längsseiten angeordneten Tafeln den Partnern für die 50-kV-Leitungsüberwachung. Auf der rückwärtigen Tafel befinden sich die Kontrollinstrumente und Steuerapparate der Rempenleitungen und der Kupplung NOK/EWZ. Als Tafeln dienen die die Apparate und Instrumente tragenden Vorderwände der Einzelzellen. Die Pulte und Tafeln sind aus Profileisen und Blech gebaut; sie besitzen innere Isolierwände aus Marmor für die Leitungsführung zu den Apparaten. Im Kommandoraum sind auch die Wasserstands- und übrigen elektrischen Messungen zusammengefasst. Die elektrische Arbeitsmessung benützte Gruppen von vier Doppeltarifzählern in besonderer Schaltung, um mittels der acht Zählwerke getrennte Ergebnisse für Wirk- und Blindarbeit, induktiv und kapazitiv, je für Bezug und Abgabe zu erhalten. Diese Zählerschaltung ist später durch eine einfachere ersetzt worden. Von den Meldeanlagen ist noch zu erwähnen, dass die im unbedienten Schalthaus aufgestellten Transformatoren mit je einem Wasserunterbruchmelder, je zwei Oelströmungsmessern und, wie die Generatoren, mit mehreren Widerstandselementen für Temperaturfernmessung ausgerüstet sind. Auch das Werk Siebnen ist mit den notwendigen Hilfseinrichtungen versehen.

d) Nebenanlagen.

Diese werden hier nicht näher beschrieben. Ihr Umfang zeigt, welch grosse Lasten dem Werksbau dadurch erwachsen sind. Es seien hier nur genannt die Strassen längs beiden Ufern des Innertalsees mit ihren Brücken, die neue Stockerlistrasse mit ihren

Fig. 28.
Kirche, Schul- und Pfarrhaus in Neu-Innertal.

Tunnels, ferner die Siedelung Neu-Innertal (Fig. 28), die 12 Wohnungen der Kolonie Rempen, die Aakorrektion und die Einleitung des Trebsen- und Flühbachs in das Rempenbecken, Strasse und Aabrücke darüber, ferner die Aakorrektion in Siebnen, einschliesslich der neuen Einleitung in den Gewerbekanal und endlich die 10 neuerbauten Wohnungen für das Betriebspersonal in Siebnen.

IV. Betrieb.

Wie für den Bau, so ist auch für den Betrieb vollkommene Gleichberechtigung der beiden Partner NOK und EWZ oberster Grundsatz. Er ist verankert im Bau- und Betriebsvertrag von 1921 und zwar wird die Gleichberechtigung ausdrücklich auf die maschinelle Leistung, die erzeugbare Arbeit und auf den Akkumulierraum bezogen. Wenn ein Partner Leistung oder Arbeit des andern in Anspruch nimmt, so hat er für die Leistung 10 % der auf die betreffenden Anlageteile entfallenden Baukosten, bezogen auf Kilowatt und Stunde und für die Arbeit einen entsprechenden Teil der Jahreskosten zu vergüten. Im übrigen werden die jährlichen Betriebskosten der Gemeinschaftsanlagen je zur Hälfte von den beiden Energiebezügern getragen. Im Rahmen des genannten Vertrages und des auf dieser Grundlage aufgestellten Betriebsreglementes kann jeder Partner die beiden Stufen nach seinen Bedürfnissen betreiben. Die Betriebsleitung der AKW ist das ausführende Organ für die von den Partnern aufgegebenen Energieprogramme. Sie wacht über den Betrieb, seine Sicherheit und den Unterhalt der Anlagen, sowie über gleichmässigen Bezug von Energie für den Eigenbedarf und konzessionsmässigen Ersatz entzogener Wasserkraft.

Die Verfasser des Projektes 1921 kamen durch einige direkte Messungen und Vergleichsrechnungen mit anderen Gebieten für das Einzugsgebiet des Stausees Innertal zu einer mittleren Jahresabflusshöhe von 2030 mm. In Tabelle XVI sind die bis zum Wasserwirtschaftsjahr 1930/31 im natürlichen Einzugsgebiet gemessenen Werte zusammengestellt. Der aus der 13jährigen Messreihe sich ergebende Mittelwert von 2133 mm Jahresabflusshöhe zeigt, dass die Projektannahme vorsichtig getroffen war.

Abflusshöhen des natürlichen Einzugsgebiets des Stausees Innertal (42,7 km²)

Tabelle XVI.

Wasserwirtschaftsjahr	Winter Oktober/März mm	Sommer April/Sept. mm	Jahr mm
1918/19	654	1472	2126
1919/20	783	1645	2428
1920/21	196	1028	1224
1921/22	698	2044	2742
1922/23	655	1395	2050
1923/24	541	1840	2381
1924/25	315	1336	1651
1925/26	602	1703	2305
1926/27	462	2186	2648
1927/28	420	1161	1581
1928 29	493	1252	1745
1929/30	475	1750	2225
1930/31	750	1882	2632
Mittel 1918/31	541	1592	2133

Die natürlichen Zuflüsse gehören zu gleichen Teilen den beiden Partnern. Um im praktischen gemischten Betrieb die Gleichberechtigung der Partner in bezug auf die Beanspruchung der Zuflüsse und des Stauraumes zu überprüfen, ist die

fortlaufende Führung einer Arbeitsrechnung notwendig. Das Produkt aus dem Wassergewicht (t) und dem Gefälle (m) ist ein von allen übrigen variablen Grössen unabhängiges Mass der hydraulischen Bruttoarbeit. Die Turbinen beider Stufen und die Pumpen sind mit den erforderlichen Betriebswassermessern versehen. Für die obere Stufe wird das Gefälle jeden Morgen durch Ablesung des Wasserspiegels Innertal ermittelt, während für die untere Stufe ein fester Wert (192 m) angenommen ist. Die Metertonnen-Rechnung hat den Charakter eines Energiekontokorrents. Ausgehend von Seefüllung mit gleichen Guthaben beider Partner werden deren tägliche Bezüge von den Turbinengruppen in der Arbeitsguthabenrechnung in Abzug gebracht und die Lieferung an die Pumpengruppen gutgeschrieben. Bei der Wiederfüllung des Akkumulierbeckens kann jeder Partner sein Gesamtguthaben bis auf $30{,}6 \cdot 10^9$ mt vergrössern. Die Guthaben der beiden Kontrahenten werden im allgemeinen ungleichmässig ansteigen und nicht am gleichen Tag das grösstzulässige Mass erreichen. Natürlicher Zufluss und Verlust, sowie allfällige künstliche Wasserentnahme führen diesen ungleichen Zustand der Parität entgegen, welche erreicht ist, wenn jeder Partner $30{,}6 \cdot 10^9$ mt besitzt. Um das im Innertal anfallende Wasser möglichst gut auszunützen, ist es zulässig, dass ein Partner vorübergehend mehr als $30{,}6 \cdot 10^9$ mt besitzt, unter der Voraussetzung allerdings, dass er das Wasser aus dem mehr beanspruchten Stauraum in dem Mass zurückzieht — sei es für ihn ausnützbar oder verloren — wie das Guthaben des anderen Partners anwächst. Bis zum Eintritt der Guthabenparität kann er immerhin Vorteile aus der vorübergehenden Guthabenvermehrung ziehen, wenn sein Betrieb ihm dies zur gegebenen Zeit erlaubt. Wird die Parität in einem Betriebsjahr nicht erreicht, so tritt jeder Partner mit seinem vom Vorjahr übernommenen Guthaben in das neue über. Diese Bestimmung zeigt, dass NOK und EWZ im Rahmen der Gleichberechtigung die grösstmögliche Freiheit im Verfügungsrecht über die Energie geniessen. Aus dem im Stausee Innertal nicht speicherbaren Wasser wird für die Partner Energie ohne Anrechnung an ihren Guthaben erzeugt, wenn Bedarf vorhanden ist. Andernfalls geht das Ueberschusswasser verloren.

Der Pumpenbetrieb ist in die Guthabenrechnung einbezogen, damit jeder Partner seine nicht speicherbare Energie mit einem Wirkungsgrad von rund 96 %, bezogen auf beide Stufen, individuell in hochwertige Winterarbeit umsetzen kann. Neben der Saisonveredelung ist auch ein Tagesveredelungsbetrieb durchführbar, wenn das zur Zeit der Tagbelastung in der oberen Stufe verarbeitete Wasser zur Zeit schwächerer Belastung wieder in den Stausee Innertal gepumpt wird. Dies ist für jeden Partner im Umfang von etwa $20 \cdot 10^6$ mt, entsprechend rund 40 000 kWh, bei kleinen natürlichen Zuflüssen zum Rempenbecken möglich. Der Gesamtwirkungsgrad der oberen Stufe beträgt in diesem Fall rund 53 %. In der Pumpanlage hat jede der beteiligten Unternehmungen ein wertvolles Mittel zur Verkleinerung des Schwankungsverhältnisses ihres Netzes in der Hand. Sie hat ihre Leistungsfähigkeit im Auffüllungsjahr 1929/30 bewiesen; die Ausführungsprojekt-Annahme von $38{,}8 \cdot 10^6$ m³ Jahresförderung wurde um volle $12{,}5 \cdot 10^6$ m³ überschritten. Das sechsjährige Mittel ergibt einen Aufwand von 0,935 kWh/m³ für jeden geförderten m³ Wasser.

Halbjahrsgebrauchsdauer der Pumpanlage 1926/31.

Tabelle XVII.

Halbjahre	Gebrauchsdauer	
	h	des Halbjahrs %
Sommer (1. April bis 31. Okt. = 7 Mon.)	1559	30,4
Winter (1. Nov. bis 31. März = 5 Mon.)	458	12,6

Betriebszeiten beider Stufen 1929/31.

Tabelle XVIII.

Betriebsarten	Winter bezogen auf		Sommer bezogen auf	
	eff. Betriebszeit %	Halbjahr %	eff. Betriebszeit %	Halbjahr %
Obere Stufe (Rempen)				
Turbinenbetrieb, z. Teil gleichzeitig Blindleistungserzeugung mit einzelnen Generatoren oder Motoren .	63,4	50,8	32,4	27,4
Pumpenbetrieb, ausschliesslich	31,5	25,2	62,5	52,8
Blindleistungserzeugung mit einzelnen Generatoren od. Motoren	5,1	4,0	5,1	4,2
Mittel 1929/31 . . .	100	80,0	100	84,4
Mittlere Gesamtbetriebszeit in % des ganzen Jahres = 82,2 %.				
Untere Stufe (Siebnen)				
Turbinenbetrieb, z. Teil gleichzeitig Blindleistungserzeugung mit einzelnen Generatoren	88,6	51,2	41,7	24,4
Blindleistungserzeugung, ausschliesslich	11,4	6,6	58,3	34,0
Mittel 1929/31	100	57,8	100	58,4
Mittlere Gesamtbetriebszeit in % des ganzen Jahres = 58,1 %				

Die Gebrauchsdauer der installierten Pumpenleistung erreicht im fünfjährigen Mittel im Winterhalbjahr (5 Monate) etwa ein Drittel der des Sommerhalbjahres (7 Monate) (Tab. XVII). Dies rührt von regelmässigem Gebrauch der Pumpen zur Veredelung in Tages- oder Wochenperioden her. Im Jahre des intensivsten Pumpbetriebes (1929/30) erreichte die Sommergebrauchsdauer 2120 Stunden (41,4 % des «Halbjahrs») und die Wintergebrauchsdauer 565 Stunden (15,6% des «Halbjahrs»).

Ein Bild über die zeitliche Verwendung der Turbinen und Pumpengruppen vermittelt Tabelle XVIII. Dem Werkscharakter entsprechend fällt die grösste Benutzungszeit auf die Turbinengruppen beider Stufen während des Winterhalbjahrs. Im Sommer tritt im Werk Rempen der Pumpbetrieb in den Vordergrund; der ausschliessliche Betrieb zur Blindleistungserzeugung mittels dieser Anlage macht im Jahr nur etwa 5 % der wirklichen Gesamtbetriebszeit aus. Die Sommerbetriebsdauern sind in beiden Stufen ungefähr gleich denen der Winter. Im Sommer überwiegt die zeitliche Verwendung des Werkes Siebnen zur ausschliesslichen Blindleistungserzeugung gegenüber der Dauer des Turbinenbetriebs. Immerhin ist das Werk Siebnen nur zu 58 % der Jahresdauer in Betrieb, während Rempen zu mehr als 82 % beansprucht ist. In Fig. 29 sind die Zeiten intensiven Turbinen- und Pumpbetriebs der vergangenen sechs Betriebsjahre angegeben.

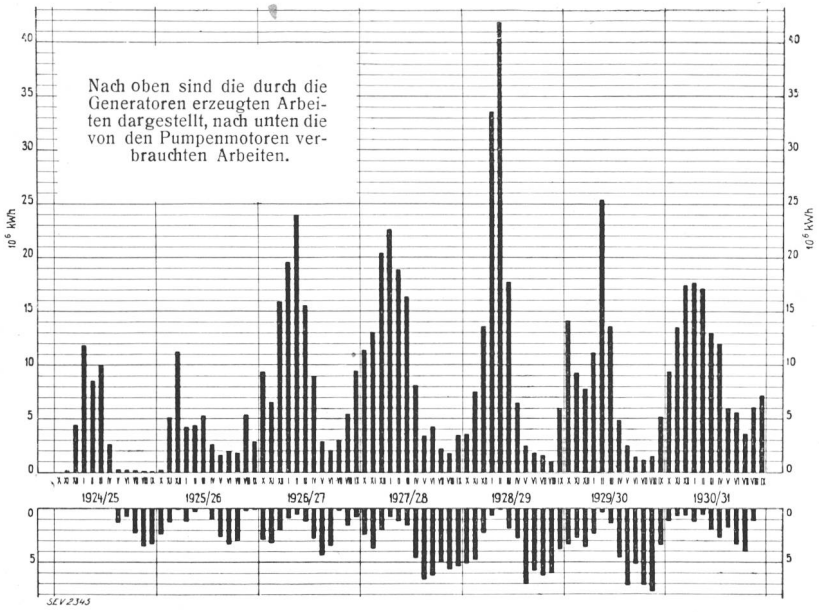

Fig. 30.
Monatlich erzeugte Arbeit 1924 bis 1931.

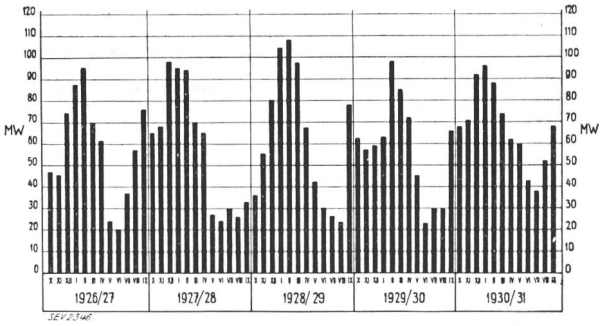

Fig. 31.
Monatliche Höchstleistungen 1926 bis 1931.

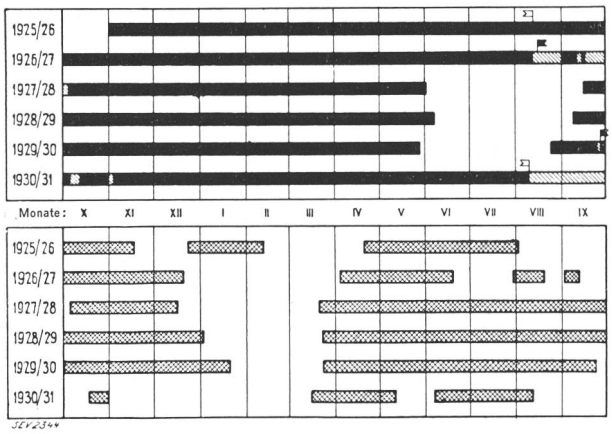

Fig. 29.
Zeiten intensiven Turbinen- und Pumpenbetriebs 1925 bis 1931.

Angerechnete Arbeit.
Abfallarbeit.
Pumparbeit.
Erreichte Staukoten: 900 m. 901 m.

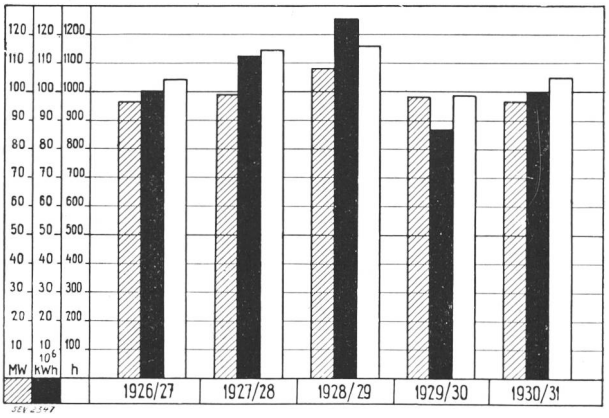

Fig. 32.
Winterarbeit, Höchstleistung und Wintergebrauchsdauer 1926 bis 1931.

Höchstleistung
Winterarbeit
Wintergebrauchsdauer.

Als eine Musterbetriebsperiode kann das Jahr 1928/29 betrachtet werden, welches in bezug auf den Wasserumsatz des Stausees Innertal, Stauraumausnützung, Winterturbinenbetrieb und Leistung Höchstwerte aufweist. Die Ursache ist zum grössten Teil im strengen Winter zu suchen. Gerade in der

Zeit, während welcher die Laufwerke an Wassermangel litten, führte das Wäggitalwerk dem Zürichsee und den unterliegenden Werken aus seinem Jahresspeicher rund $100 \cdot 10^6$ m³ reinen Winterwassers zu (zwischen November 1928 und März 1929). Dieses entspricht einer elektrischen Arbeit von rund $11 \cdot 10^6$ kWh, welche in den damals bestehenden schweizerischen Werken an Limmat, Aare und Rhein mehr erzeugt werden konnten als ohne Zuschuss aus dem Wäggitalwerk. In den fünf damals projektierten Werken Wettingen, Böttstein, Dogern, Ryburg-Schwörstadt und Birsfelden hätte theoretisch nochmals ebensoviel Winterarbeit erzeugt werden können. In bezug auf die Auffüllung des Stausees Innertal kann das Jahr 1928/29 nicht als Vorbild dienen.

und 9 Maschinisten, demjenigen der unteren Stufe 3 Schichtführer und 10 Maschinisten zugeteilt. Die Regelschichten bestehen aus einem Schichtführer und zwei Maschinisten, von denen jeweilen einer den Dienst bei den Maschinengruppen versieht; der andere hält sich in der Kommandostelle auf und der Schichtführer ist freizügig. Im Werk Rempen stehen im allgemeinen nur die Tagesschichten unter einem Schichtführer, weil dieses nur Zuliefer- und Pumpwerk ist. Das Werk Siebnen kann werktags den Schichtführer wegen der wichtigen Knotenpunkte der Partnernetze und den in diesem Zusammenhang auszuführenden Schaltungen nicht entbehren; an Sonntagen steht er im allgemeinen nicht dauernd im Dienst, sondern in Bereitschaft. Alarmvorrichtungen ermöglichen es

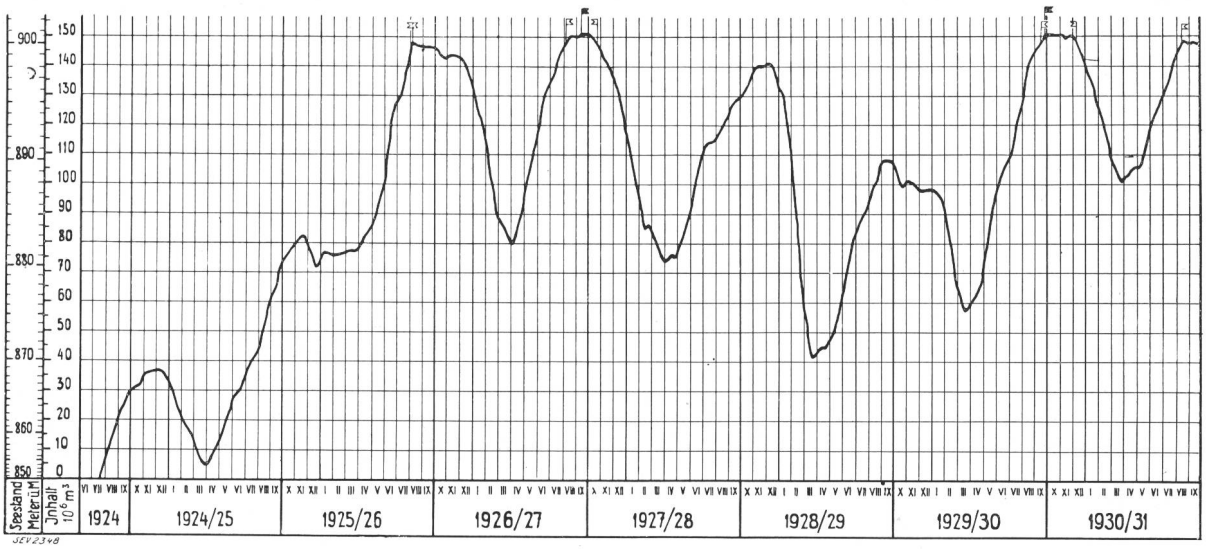

Fig. 33.
Füllung des Stausees Innertal 1924 bis 1931.
Kote 900 m Auffüllung Absenkung Kote 901 m

Die ausgebaute Generatorenleistung ist im harten Winter 1928/29 zu 99,8 % ausgenützt worden; auch die übrigen Winterhöchstbelastungen der Betriebsperiode 1926/31 liegen bei 90 % und darüber. Die Höchstbelastung trat in den letzten fünf Betriebsjahren je einmal im Dezember und Januar und dreimal im Februar auf. Die Wintergebrauchsdauer der beanspruchten Höchstleistung beider Stufen war im Winter 1928/29 mit 1090 Stunden am grössten und erreichte im darauffolgenden Jahr wegen verminderter Energiebezüge mit 825 Stunden den Minimalwert der letzten fünf Betriebsjahre.

Der Betrieb dieses Speicherkraftwerkes erfordert eine ganzjährige Belegschaft, die aber zur Verminderung der Jahreskosten auf ein möglichst kleines Mass beschränkt blieb. Ausser dem Personal der Betriebsleitung und des Wassermessdienstes, sind zwei Zentralenchefs vorhanden. Demjenigen des Werkes Rempen sind 3 Schichtführer

dem Schaltwärter jeden Werkes mittels eines Hebelgriffes entweder nur Zentralenchef und Schichtführer aufmerksam zu machen und den zweiten Schichtmann auf seinen Posten zu rufen, oder bei schweren Störungen die Reserveschicht aus den Wohnungen aufzubieten. Sammelpunkt ist stets die Kommandostelle.

Aus dem praktischen Betrieb sind eine Reihe technischer Erfahrungen hervorgegangen, über die hier nicht ausführlich berichtet werden kann. Ausser den äusseren Einflüssen, wie z. B. Einführung der leitunggerichteten Hochfrequenztelephonie auf den Netzen beider Partner und eines teilweisen Netzselektivschutzes waren es jene Erfahrungen, welche zu Ergänzungen und kleinen Aenderungen der Maschinen und Anlagen geführt haben, wie z. B. Einbau von Trennern und Trennwänden, Entfernen der Vorschaltwiderstände der 50-kV-Oelschalter beider Werke, Verkleiden der Aussendurchführungen für 50 und 150 kV mit Porzellan-

überwürfen, Einbau eines Mastpaares in die 50-kV-Leitung Rempen-Siebnen, Erweiterung der Telephonanschlüsse usw. Die grössten Ergänzungsarbeiten waren an den baulichen Anlagen notwendig, worunter zu nennen sind die nachträgliche Bearbeitung der Luftseite der Staumauer Rempen infolge von Frostschäden und die z. Zt. noch in Ausführung begriffene Verkleidung der Luftseite der Staumauer Schräh.

Im grossen ganzen darf man mit Befriedigung auf die Dienste des Wäggitalwerkes zurückblicken, die es seit der Betriebseröffnung geleistet hat.

V. Bau- und Betriebskosten.

Die Tochtergesellschaft der beiden sie finanzierenden Werke hat die Form einer Aktiengesellschaft. Das Grundkapital von 40 Millionen Franken wurde bei der Gründung im November 1921 von NOK und EWZ zu 10 % und bis zum 5. September 1924 voll einbezahlt. Zwei festverzinsliche Obligationenanleihen von 27 Millionen Franken wurden während der Baujahre 1924 und 1925 mit Laufzeiten von 10 bzw. 12 Jahren ausgegeben.

Die Gesamtbaukosten waren im Projekt 1921 auf 94 Millionen Franken berechnet worden. Dank wesentlicher Einsparungen beim Bau und Weglassung oder Beschränkung einzelner Bauteile (vergl. Seite 26) konnten die wirklichen Gesamtkosten auf rund 80 Millionen Franken herabgesetzt werden. In Tabelle XIX sind die einzelnen Posten der Baurechnung in Prozenten der wirklichen Gesamtausgaben angegeben. Hiezu sei erwähnt, dass die maschinellen und elektrischen Anlagen der oberen Stufe 12,6 % von deren Baukosten und diejenigen der unteren 31,8 % ausmachen. Die Kosten der maschinellen und elektrischen Anlagen beider Stufen belaufen sich auf Fr. 10 612 028.10, was

Baukosten der gesamten Anlagen. Tabelle XIX

	Baurechnung Fr.	%
A. Vorarbeiten und allgemeine Anlagen:		
1. Konzessionsgebühr, Vorstudien, Aufnahmen, äussere Wassermessung	505 953.90	0,63
2. Erwerb von Liegenschaften und Wasserrechten	6 961 337.10	8,7
3. Wohnkolonien	626 901.45	0,78
	8 094 192.45	10,11
B. Bauvorbereitungen:		
1. Stationserweiterung Siebnen	137 547.13	0,17
2. Umbau und Unterhalt der Wäggitalstrasse	704 358.35	0,89
3. 8-kV-Leitung Siebnen—Innertal mit Transformatorenstationen	121 200.—	0,15
	963 105.48	1,21
C. Obere Stufe:		
1. Staubecken Innertal mit Sondierungen, Staumauer, Seestrassen und Landerwerb	19 355 991.21	24,2
2. Wasserfassung, Druckstollen und Wasserschloss	7 108 766.59	8,9
3. Apparatenhaus und Druckleitung	3 436 656.78	4,3
4. Maschinenhaus Rempen mit hydraulischen und elektrischen Einrichtungen und 50-kV-Leitung Rempen—Siebnen	7 300 162.92	9,1
	37 201 577.50	46,5
D. Untere Stufe:		
1. Staubecken Rempen mit Staumauer, Wasserfassung, Strassenverlegung und Trebsenbachzuleitung	2 994 550.25	3,74
2. Druckstollen und Wasserschloss	3 521 973.75	4,41
3. Apparatenhaus und Druckleitung	2 765 463.24	3,45
4. Maschinen- und Schalthaus Siebnen mit hydraulischen und elektrischen Einrichtungen	9 109 371.51	11,4
	18 391 358.75	23,0
E. Verschiedenes:		
1. Bauleitung und Verwaltung	3 888 477.04	4,87
2. Bauzinsen abzüglich Einnahmen aus Energieabgabe während der Bauzeit	9 317 670.82	11,65
3. Geldbeschaffung und Verschiedenes	2 130 145.30	2,66
	15 336 293.16	19,18
Zusammenstellung:		
A. Vorarbeiten und allgemeine Anlagen	8 094 192.45	10,11
B. Bauvorbereitungen	963 105.48	1,21
C. Obere Stufe (Rempen)	37 201 577.50	46,5
D. Untere Stufe (Siebnen)	18 391 358.75	23,0
E. Verschiedenes	15 336 293.16	19,18
	79 986 527.34	100,0

Baukosten der Staumauer Schräh.

Tabelle XX.

	Total Fr.	Pro m³ Staumauerbeton Fr./m³
Erd- und Felsaushub	1 487 516.50	6.29
Injektion und Torkretierung der Fundamentfläche . . .	106 065.18	—.45
Staumauerbeton mit Revisionsgängen, Kontraktionsfugen und Sickerschacht	11 727 497.50	49.61
Ganze Staumauer (236 600 m³)	13 321 079.18	56.35

Baukosten der Druckstollen. Tabelle XXI.

	Masseinheit	Obere Stufe (Rempen)	Untere Stufe (Siebnen)
Kosten pro Meter Stollen ohne Gunitverkleidung und Injektion	Fr./m	870.—	948.20
Kosten der Injektionen pro Meter Stollen	Fr./m	46.75	31.50
Kosten der Gunitverkleidung pro Quadratmeter, P 500, 7 cm stark, ohne Eiseneinlagen	Fr./m²		26.05

Gewichte und Kosten der Druckleitungen. Tabelle XXII.

	Masseinheit	Obere Stufe (Rempen)	Untere Stufe (Siebnen)
Gewicht beider Rohrleitungen mit Abschlussorganen und Apparaten . .	t	2 054 433	2 330 952
Kosten pro Tonne fertig montierter Rohrleitungen und Apparate ohne Anstrich und Isolation	Fr./t	832.50	858.35
Kosten pro Meter Unterbau mit Bauseilbahn, ohne Apparatenhaus . . .	Fr./m	2 194.20	814.85
Kosten pro Meter Rohranstrich und Isolation	Fr./m	49.35	101.10
Kosten pro Meter doppelte Druckleitung (einschliesslich Kosten für Apparatenhaus) . . . . . rund	Fr./m	5720.—	3 290.—

Rohbau-Kosten der Kraftwerksgebäude.

Tabelle XXIII.

		Fr./m³
Werk Rempen:	Fundamentaushub	12.70
	Unterbau [1])	82.—
	Hochbau [1])	32.50
Werk Siebnen:	Maschinenhaus:	
	Fundamentaushub	6.50
	Unterbau [1])	102.40
	Hochbau [1])	43.50
	Schalthaus [1])	31.25

[1]) Bezogen auf umbauten Raum, einschliesslich Inneninstallationen.

13,25 % der Gesamtkosten gleichkommt. Zum Schluss mögen ausser den vereinzelt eingestreuten Kostenhinweisen noch die spezifischen Kostenangaben der grösseren Bauten interessieren, welche in den Tabellen XX bis XXIII zusammengefasst sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese spezifischen Kosten auf den Baupreisen von 1922 bis 1925 aufgebaut sind.

Weitere Literatur.

El. World, Bd. 93, Nr. 3, S. 148.
ETZ 1930, Nr. 45, S. 1552.
SBZ, Bd. 98, Nrn. 18 bis 25.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Ueber die Lebensdauer der Glühlampen.

621.326

Zuschriften, die wir von Zeit zu Zeit erhalten, lassen erkennen, dass man sich in vielen Elektrizitätswerkskreisen nicht klar ist über den Zusammenhang von Lichtausbeute und Lebensdauer der Lampen. Wir wiederholen deshalb an dieser Stelle einen kleinen Artikel der schon im Bull. SEV 1930, Nr. 17, S. 579, erschienen ist.

Ueber den Zusammenhang zwischen Spannung, Lichtausbeute und Lebensdauer der Glühlampen.

Im Bull. SEV 1930, Nr. 15, S. 529, wurden «Technische Bedingungen für die Lieferung von Glühlampen an die Mitglieder des VSE» veröffentlicht. Es kommt nun häufig vor, dass man aus irgend einem Grunde Lampen haben möchte, deren Lebensdauer grösser ist als diejenige der normalen Glühlampen, oder deren Lichtausbeute grösser ist als diejenige der gewöhnlichen Glühlampen. Beides ist erreichbar, aber natürlich *nicht gleichzeitig*, wenn man Glühlampen wählt, deren Stempelspannung [1]) niedriger oder höher ist als die tatsächliche Betriebsspannung.

Die Kurven der Fig. 1 geben annähernd den Zusammenhang zwischen Betriebsspannung einerseits, Lebensdauer, Lichtstrom, Leistungsaufnahme und Lichtausbeute anderseits, wenn man eine Lampe dauernd mit der betreffenden Betriebsspannung brennen würde.

Diesen Kurven entsprechen folgende Zahlenwerte:

Betriebsspannung in % der Stempelspannung der Lampe	Lebensdauer etwa %	Lichtstrom etwa %	Lichtausbeute etwa %	Leistungsaufnahme etwa %
90	570	65	80	84
95	228	81	90	92
100	100	100	100	100
105	54	117	110	108
110	31	135	120	116

Die garantierte mittlere Lebensdauer der heute fabrizierten Lampen beträgt 1000 Stunden. Wenn wir also obige Zahlenwerte beispielsweise auf eine 60-Watt-Lampe von 110 V Stempelspannung anwenden, bei welcher die garantierte Lichtausbeute 10,1 lu/W beträgt, so sehen wir daraus, dass bei einer

[1]) Stempelspannung ist die auf die Lampe gestempelte Nennspannung.