

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 20 (1929)
Heft: 17

Artikel: Die Neuanlagen Palü-Cavaglia der Kraftwerke Brusio A.-G.
Autor: Rickenbach, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056826>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 25.12.2024

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des
Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des
Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke

REDAKTION
Zürich 8, Seefeldstr. 301

Secrétariat général de
l'Association Suisse des Electriciens et de
l'Union de Centrales Suisses d'électricité

Verlag und Administration

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.
Zürich 4, Stauffacherquai 36/38

Editeur et Administration

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

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et
sans indication des sources

XX. Jahrgang
XX^e Année

Bulletin No. 17

September I 1929
Septembre I

Die Neuanlagen Palü-Cavaglia der Kraftwerke Brusio A.-G.

Kurze Orientierung¹⁾ für die Exkursion vom 8. Juli 1929, anlässlich der Jahresversammlungen
des S. E. V. und V. S. E. in St. Moritz,

gegeben von Ingenieur *W. Rickenbach*, Direktor der Kraftwerke Brusio A.-G., Poschiavo,
an der Generalversammlung des S. E. V. am 7. Juli 1928 in St. Moritz.

621.312.134(494)

Die Kraftwerke Brusio A.-G. nützen in ihren vier Kraftwerken Palü, Cavaglia, Robbia und Campocologno, zusammen mit dem angrenzend auf italienischem Boden liegenden, der Società Lombarda gehörenden Werk Poschiavino bei einem Gefälle von 1817 m die Wasserkräfte des Puschlavs vom Lago Bianco auf der Berninapasshöhe bis zur Adda hinunter aus. Diese Anlagen leisten in ihrem heutigen Ausbau an den Turbinenwellen 73 000 kW. Sie werden, in ihrem Vollausbau, während der Arbeitsstunden eine über das ganze Jahr ausgeglichene Leistung von 80 000 kW abgeben können.

Es wird ein kurzer Ueberblick über die einzelnen Anlagen gegeben, und es werden eingehender die Neuanlagen Palü und Cavaglia beschrieben. Hier ist hervorzuheben, dass die gesamte Leistung jedes dieser Kraftwerke auf eine Maschinengruppe konzentriert ist. Besonderes Interesse verdient die Turbinenanlage Palü: Auf einer gemeinsamen Welle arbeiten eine Pelton- und eine Francisturbine, wodurch eine bemerkenswerte Ausnützung der speziellen Bau- und Wasserverhältnisse erzielt wurde. Weitere Betrachtungen sind der 140-kV-Kraftübertragungsanlage gewidmet.

La S. A. des Forces Motrices de Brusio utilise dans ses quatre usines de Palu, Cavaglia, Robbia et Campocologno, avec la centrale de Poschiavino de la Società Lombarda sur sol italien, les forces hydrauliques du Val Puschlav sous une chute de 1817 m entre le Lago Bianco, au col de la Bernina, et l'Adda dans la Valteline. Ces installations produisent actuellement 73 000 kW à l'arbre des turbines, mais arriveront, une fois complètement équipées, à fournir pendant toute l'année une puissance de 80 000 kW durant les heures de travail.

On trouvera dans cet article un aperçu des diverses installations et la description détaillée des nouvelles centrales de Palu et Cavaglia. Notons ici que la puissance de chacune de ces deux usines est concentrée sur un seul groupe de machines. L'installation de Palu mérite une mention toute spéciale: une turbine Pelton et une turbine Francis travaillent sur le même arbre, réalisant ainsi une utilisation remarquable des conditions locales très particulières. Le transport à 140 kV fait aussi l'objet de considérations spéciales.

Vor 25 Jahren wurden die Kraftwerke Brusio zur Nutzbarmachung der Gewässer des Puschlavertales gegründet. Anfänglich, im Jahr 1904, vor allem als Unternehmen für den Export von elektrischer Energie aus der Schweiz nach Italien bestimmt – indem damals eine Verwendung der grossen Produktion im Tale selbst oder eine Uebertragung nordwärts über die Alpen, mit den ungenügend vorhandenen Mitteln der damaligen Technik als ein Ding der Unmöglichkeit erschienen war – ist es in immer steigendem Masse durch seinen weiteren Ausbau

¹⁾ Auszug aus der Festschrift zur fünfundzwanzigjährigen Jubiläumsfeier der Gründung der Gesellschaft, mit farbigem Reliefbild, Karten und über 100 Abbildungen, 120 Seiten, deutsche und französische Auflage, welche im Verlag Frobenius A.-G. in Basel bezogen werden kann.

und seine Ergänzungen zu einem bedeutenden Faktor wirtschaftlicher Entwicklung des Kantons Graubünden und der Schweiz geworden. Die Brusiowerke haben dem Inland nach den jeweiligen Bedürfnissen die benötigte Kraft zur Verfügung gestellt. Die Ausdehnung der Elektrizitätswirtschaft in dem heute bestehenden Umfange im Tale von Poschiavo, ihre Einführung in Brusio und auch ihre Entwicklung im Oberengadin ist dadurch möglich geworden. Die Durchführung des elektrischen Betriebes der Berninabahn und der Engadinerlinien der Rhätischen Bahn und, als unmittelbare Folge davon, die beschleunigte Elektrifizierung des ganzen Netzes dieses Unternehmens ist dadurch begünstigt worden. Seit mehreren Jahren besteht auch,



Fig. 1.

Kraftwerk Palü mit Ausgleichbecken. Blick gegen Süden, Puschlaversee und Veltlin, im Hintergrund die Bergamaskeralpen, links oben Alp Grüm.

durch die Leitung über den Albulapass, eine Verbindung mit dem Versorgungsgebiet der Nordschweiz.

Beim heute bestehenden Werk reiht sich nun fast ununterbrochen vom Lago Bianco bis zur Adda hinunter, bei einer Gefällsdifferenz von 1817 Meter, Kraftwerk an Kraftwerk. Es sind die vier Anlagen der Kraftwerke Brusio: Palü, Cavaglia, Robbia und Campocologno auf schweizerischem Gebiete und die Anlage Poschiavino der Società Lombarda in Mailand auf italienischem Boden, welche letztere Gesellschaft auch der Hauptabnehmer der Energieproduktion der oberen, schweizerischen Anlagen ist.

Auf der Höhe des Berninapasses sind der Lago Bianco und der Lago della Scala durch Stau auf 2236 m ü. M. zu einem einzigen See vereint, der als Ausgleich dient und durch die noch 1923 angelegte Pumpenanlage bei Berninahospiz eine Ausnützung von 15 Mill. m³ gestattet.

Bei der südlichen Staumauer vom Lago della Scala befindet sich die Wasserfassung des Kraftwerkes *Palü*, 10 500 kW, max. Bruttogefälle 281 m, Einzugsgebiet rund 11 km². Der Zulaufstollen steht unter Druck, ist 1050 m lang und mündet in ein Wasserschloss von 4 m Durchmesser und 30 m Höhe. Die Druckleitung besteht aus einem Rohr von 1350 bis 1050 mm Durchmesser und 1285 m Länge, im Terrain eingegraben oder in Felsstollen bis zum Maschinenhaus Palü. Die Wasserrückgabe geschieht an das Ausgleichbecken resp. in die Druckleitung der unten liegenden Anlage Cavaglia. Der hydraulische Teil ist für max. 4,4 m³/s bemessen. (Fig. 1 und 2.)

Daran schliesst sich die Anlage *Cavaglia* an, 6700 kW, Bruttogefälle rund 217 m. Ausgenützt wird das vom Kraftwerk Palü und das im Sommer vom Palügletscher abfließende Wasser; nach Ausbau des zukünftigen Staubeckens Palü von 6 Mill. m³ Inhalt kommt im Winter noch diese Reserve hinzu. Das Einzugsgebiet beträgt rund 25 km². Das Wasser wird im Palüsee gefasst. Die einfache Druckrohrleitung von 1200 bis 1000 mm Durchmesser und 815 m Länge, liegt in einem begehbaren und mit einer Seilbahn ausgestatteten Felsstollen und teilweise in einer eingegrabenen Galerie verlegt; Stollen und Galerie dienen auch als Verbindungsgang zwischen der Anlage Palü und der Anlage Cavaglia. Die Rückgabe des Wassers erfolgt an den Cavagliasco. Der hydraulische Teil ist ebenfalls für 4,4 m³/s bemessen. (Fig. 3.)



Fig. 2.

Kraftwerk Palü mit Ausgleichbecken, Vordamm I, links oben Alp Grüm.

Die Anlage *Robbia*, 11 000 kW, Bruttogefälle 605 m, nützt das Wasser aus, welches vom Werk Cavaglia abfließt; im Sommer kommen die Zuflüsse des übrigen Einzugsgebietes, welches total rund 36 km² umfasst, hinzu. Das Wasser wird in Puntalto im Cavagliasco, am südlichen Ende des Talbodens von Cavaglia gefasst; der Zulaufstollen ist 326 m, die Druckrohrleitung von 850 bis 700 mm Durchmesser 1577 m lang. Die Wasserrückgabe erfolgt an den Poschiavino. Der hydraulische Teil, jetzt für 2,5 m³/s bemessen, soll in einem späteren Ausbau erweitert werden. (Fig. 4.)

Die Anlage *Campocologno*, 30 000 kW, max. Bruttogefälle 419 m, nützt das vom Werk Robbia abfließende Wasser, die Reserve im Puschlaversee und die Zuflüsse des übrigen Einzugsgebietes, das total rund 196 km² umfasst, aus. Das Wasser wird in Meschino doppelt gefasst; der Zulaufstollen, in welchen während des Winters auch das Wasser vom Sajentobach eingeführt wird, ist 5250 m lang. Die Druckrohrleitung besteht aus sechs Rohren von je 870 bis 790 mm Durchmesser und rund 1100 m Länge. Die Rückgabe des Wassers an den Poschiavino erfolgt knapp oberhalb der schweizerisch-italienischen Grenze. Der hydraulische Teil ist für max. 10 m³/s bemessen. (Fig. 5.)

Die unterste Anlage, *Poschiavino*, 10 000 kW, max. Bruttogefälle 91 m, gehört der Società Lombarda. Sie nützt das Wasser, welches vom Werk Campocologno

abfließt und dasjenige des übrigen Einzugsgebietes von total 250 km² aus. Die Wasserfassung, festes Wehr mit beweglichem Ueberfall, liegt im Poschiavino, am linken Ufer, unmittelbar nach der Grenze. Der Zulaufkanal von 2070 m Länge besitzt freien Wasserspiegel. Ein Siphon bringt das Wasser nach der rechten Tal-



Fig. 3.
Kraftwerk Cavaglia. Rechts Druckleitungsgalerie. Gebäude Rückseite. Abgehende 140 kV- und 55 kV-Leitungen.



Fig. 4.
Kraftwerk Robbia. Gesamtansicht.

seite hinüber. Die Druckrohrleitung besteht aus zwei Rohren von 1700 mm Durchmesser und einem eisernen Leerlaufrohr, von je 450 m Länge. Der Ablaufkanal mündet in den Poschiavino, kurz vor seinem Zusammenfluss mit der Adda, auf 419 m ü. M.

Die Anlagen der Kraftwerke Brusio ergeben heute zusammen eine Kraftquelle von 63 000 kW an den Turbinenwellen, wozu noch die letzte Gefällstufe des Puschlavertales, die Anlage Poschiavino mit 10 000 kW kommt. Auf dem kurzen Gebirgsflusslauf von ca. 25 km Länge, in der Luftlinie gemessen, der ohne die Akkulieranlagen früher im Winter nur noch eine ganz geringe Wasserführung von ca. 0,6 bis 0,9 m³/s bei der Mündung in den Puschlavertsee hatte, können nach Vollausbau der heute bestehenden Anlagen zusammen bis 80 000 kW, über das ganze Jahr ausgeglichen, während den Arbeitsstunden abgegeben werden.

Bemerkenswert ist die Maschinenanlage Palü (Fig. 6 und 7).

Sie ist auf einem Felskopf über der Kote 1952 des zukünftigen Palüsees errichtet worden. Die Anlage enthält in den stockweise übereinander angeordneten Maschinenräumen eine einzige Maschinengruppe, bestehend aus einer Freistrahlturbine von max. 10 300 kW, einer Francis-Turbine von 880 kW und einem Drehstromgenerator von 10 000 kVA auf vertikaler Welle. Die Hauptturbine liegt auf Kote 1954,80. Die vertikale Welle führt über eine Kupplung abwärts in den Felsschacht zur Neben-

turbine auf Kote 1927 und aufwärts zum Generator auf Kote 1957,80 (Bodenhöhe). Unter der Decke des Generatorraumes ist ein elektrisch angetriebener Kran von 35 t Tragkraft und rund 11 m Hubhöhe angeordnet. Für die Förderung im Schacht enthält der Kranwagen noch ein Windwerk von 6 t Tragkraft und 46 m Hubhöhe.

Die Höhenlage der Hauptturbine ist derart festgelegt, dass dieselbe bei dem höchsten Stau des zukünftigen Palüses auf Kote 1952 noch frei ausgiessen kann.

Der höchste Wasserspiegel des heutigen Ausgleichbeckens liegt auf Kote 1927 und die tiefste Absenkung geht bis auf Kote 1924. Um das Gefälle zwischen dem Unterwasser der Hauptturbine und dem Wasserspiegel im Ausgleichbecken resp. des zukünftigen Palüses, das bis 28 m erreichen kann, ebenfalls ausnützen zu können, wurde auf der Welle der Hauptturbine die Nebenturbine eingebaut. Nach dem Ausbau des Palüses muss diese Turbine mit Gegendruck arbeiten können. Es kam daher nur eine Francis-Turbine in Frage. Damit bei ganz abgesenktem Wasserspiegel das auftretende Sauggefälle einen gewissen, der Schnelläufigkeit angepassten Betrag nicht überschreitet, erfolgte die Aufstellung auf Kote 1927.

Das aus der Hauptturbine austretende Wasser in der unterhalb liegenden grossen Kammer überfällt entweder nach dem Ablaufkanal bei der Schütze von 3 m Breite, um dem vorerst bestehenden Ausgleichbecken und später dem grossen Stausee zuzufliessen, oder es gelangt, wenn die Nebenturbine auf gleicher Welle im Schacht mit der Hauptturbine gekuppelt ist, in die durch einen vorgelagerten Rechen geschützte und mit einem Einlaufkonus versehene Schachtröhrlleitung von 1000 mm Durchmesser. Diese führt dasselbe über einen hydraulischen Absperrschieber mit elektrischer Fernbetätigung der Gussspirale der Francis-Turbine zu. Das konische Saugrohr mündet nachher direkt in die vom Palüsee kommende Druckleitung der unteren Anlage Cavaglia. Beide Turbinen

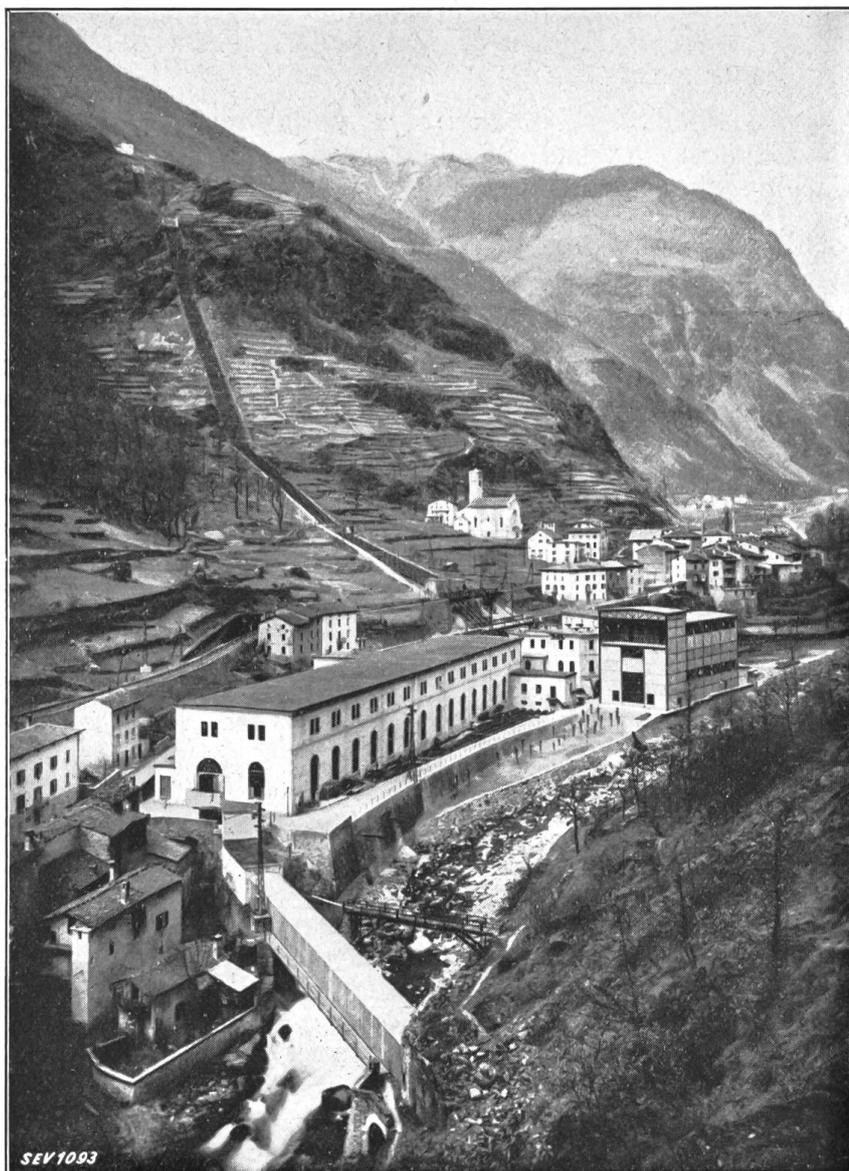


Fig. 5.

Kraftwerk Campocologno. Links Maschinenhaus, rechts die 1927/28 erstellte Transformatorenhalle 50 000 kVA.

arbeiten gemeinsam auf den im obersten Maschinenraum befindlichen Generator von 10000 kVA. Es sind also folgende Betriebskombinationen möglich:

1. Die Hauptturbine arbeitet allein; das Aufschlagwasser fliesst direkt in den Palüsee.
2. Die beiden Turbinen arbeiten gekuppelt: das Werk Cavaglia verarbeitet weniger Wasser als das Werk Palü; der Ueberschuss fliesst von der Francis-Turbine durch den Zulaufstollen Cavaglia in den Palüsee zurück.
3. Die beiden Turbinen arbeiten gekuppelt; das Werk Cavaglia verarbeitet mehr Wasser als Palü. Der Mehrbedarf fliesst der Rohrleitung Cavaglia aus dem Palüsee zu.

Zwischen der Nebenturbine und dem Anschluss-T-Stück an die Rohrleitung Cavaglia ist ein Abschlusschieber von 1600 mm l. W. angeordnet, damit die Francis-Turbine ohne Rücksicht auf den Wasserstand im Palüsee demontiert werden kann.

Der unter dem Maschinenhaus erstellte Schacht ist genügend gross, um ausser der vertikalen Welle eine Diensttreppe, die Rohrleitung der Wasserzuführung zur Nebenturbine und die Druckleitung der zukünftigen Speicher-Pumpenanlage für das Berninabecken aufzunehmen. Im rechten Winkel dazu ist der nötige Raum für den Transportschacht (3,5×2,5 m) geschaffen worden, welcher mit der kleinen 6 t-Winde des Maschinenhauskrans bedient werden kann. Am Grunde dieses Transportschachtes, auf Bodenhöhe 1919,75, befindet sich auch die Endstation der Seilbahn nach dem Maschinenhaus Cavaglia hinunter.

An diesen Raum anschliessend wurde die Felskammer eingesprengt für die zukünftige Pumpenanlage von 600 l/s bei ca. 310 m Förderhöhe, welche nach der späteren Stauerhöhung eine rechtzeitige Auffüllung der Berninaseen im Sommer mit Wasser des Palügletschers sicherstellen soll. Die Kammer ist 4,6 m breit, 18 m tief und maximal 5,2 m hoch. Sie wird einen Laufkran von 10 t Tragkraft erhalten. Die beiden Pumpenaggregate werden mit der Saugleitung an die Druckleitung Cavaglia an den unmittelbar hinter dem Seeabschlusschieber befindlichen Abzweigtutzen von 500 mm Durchmesser angeschlossen. Die Pumpenaxe kommt auf Kote 1920,75 zu stehen. Da der Palü-Seespiegel jederzeit mindestens 3,50 m höher liegt, wird der Zufluss zu den Pumpen stets unter Druck erfolgen, womit eine ständige Betriebsbereitschaft gewährleistet ist. Für den Antrieb der beiden Pumpen werden Drehstrommotoren 8 kV, 1250 kW, 970 U/m aufgestellt. Die Motoren sollen vom Generatorboden aus gesteuert werden können. Das gemeinsame Druckrohr der Pumpen von 550 mm Durchmesser wird im Schacht auf den Turbinenboden hinaufgeführt und auf Kote 1954,80 an die Druckleitung Palü angeschlossen. Vor dem Turbinen-Kugelschieber ist dafür ein Anschlusstutzen mit Keilschieber vorhanden.

Um bei allfälligen Reparaturen der Hauptturbine in Palü an das Werk Cavaglia Wasser abgeben zu können, ist hier bei der Druckleitung Palü ein zweiter Abzweig zu einer Freilaufleitung nach dem Ablaufkanal zum Palüsee eingebaut. Sie ist für eine max. Wasserabgabe von 1,5 m³/s dimensioniert. Als Abschluss gegen die Druckleitung besteht ein Kugelschieber und eine Drosselklappe von 400 mm l. W. Letztere dient zum Einstellen der gewünschten Wassermenge. Das Ausgusstück der Freilaufleitung ist so gebaut, dass die Energie der austretenden Wasserstrahlen, welche gegeneinander gerichtet sind, sich vernichtet. Wenn auch der Bedarf des Werkes Cavaglia zeitweise bis 4,4 m³/s erreicht, so genügt die auf 1,5 m³/s begrenzte Wasserabgabe dieses Freilaufes, da mit dem Palübecken ein Ausgleich vorhanden ist.

Das der Hauptturbine für die Ausnützung zur Verfügung stehende mittlere Bruttogefälle berechnet sich aus der Staukote des Lago della Scala, variierend von 2236 bis 2226 und der Kote 1954,80, Mitte Einlaufspirale. Die Druckverluste in Stollen und Rohrleitung beim Durchfluss der maximal zur Ausnützung gelangenden Wassermenge von 4,4 m³/s wurden zu 20 m ermittelt, so dass für die Turbine

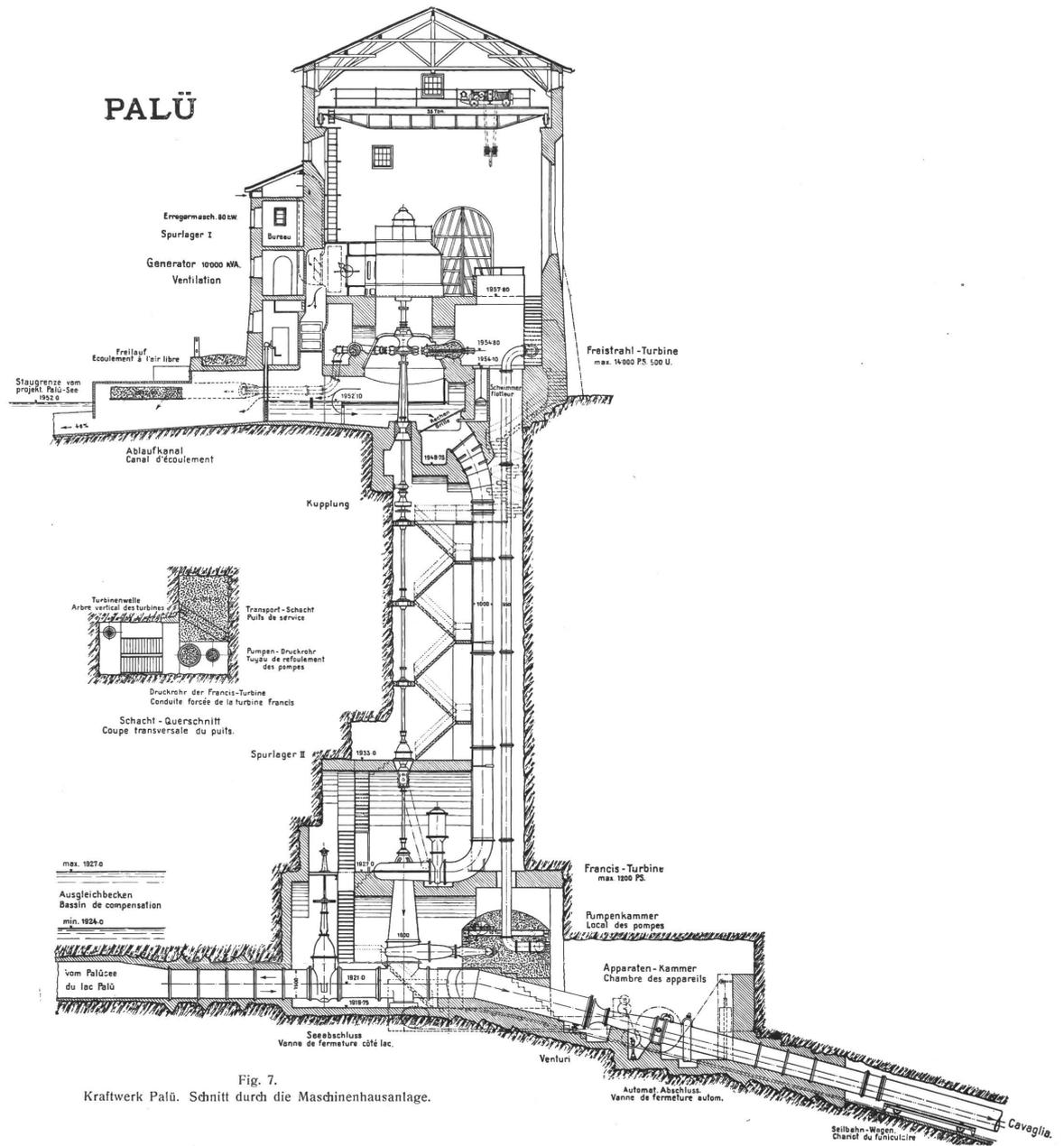


Fig. 7.
 Kraftwerk Palü. Schnitt durch die Maschinenhausanlage.

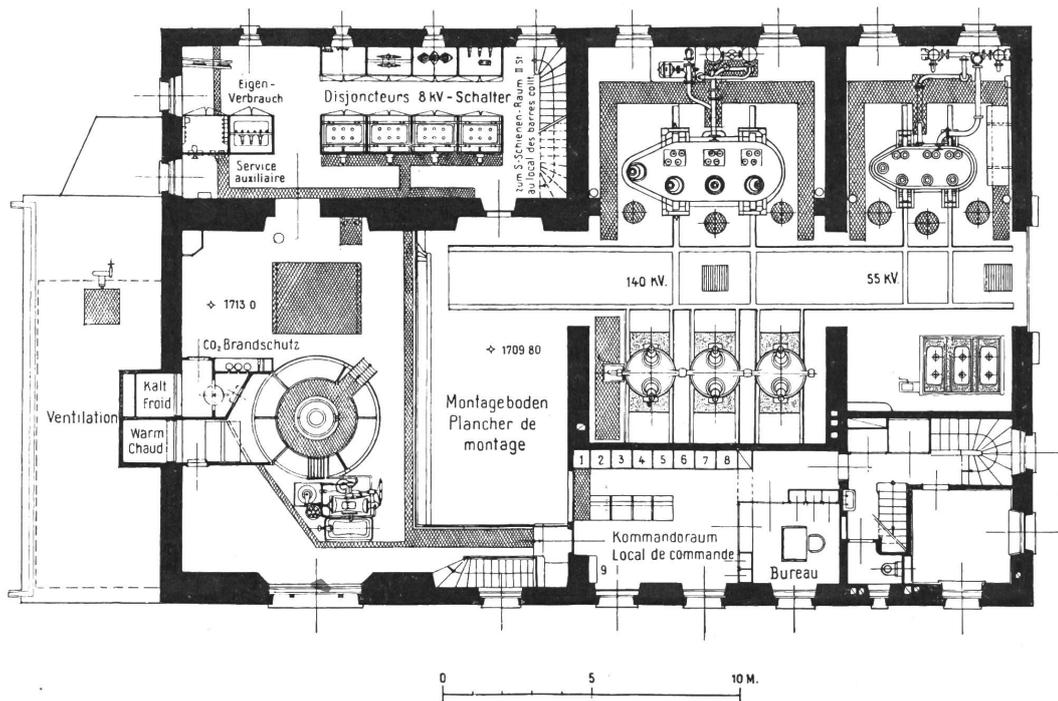


Fig. 9.
 Kraftwerk Cavaglia. Grundriss des Maschinenhauses.

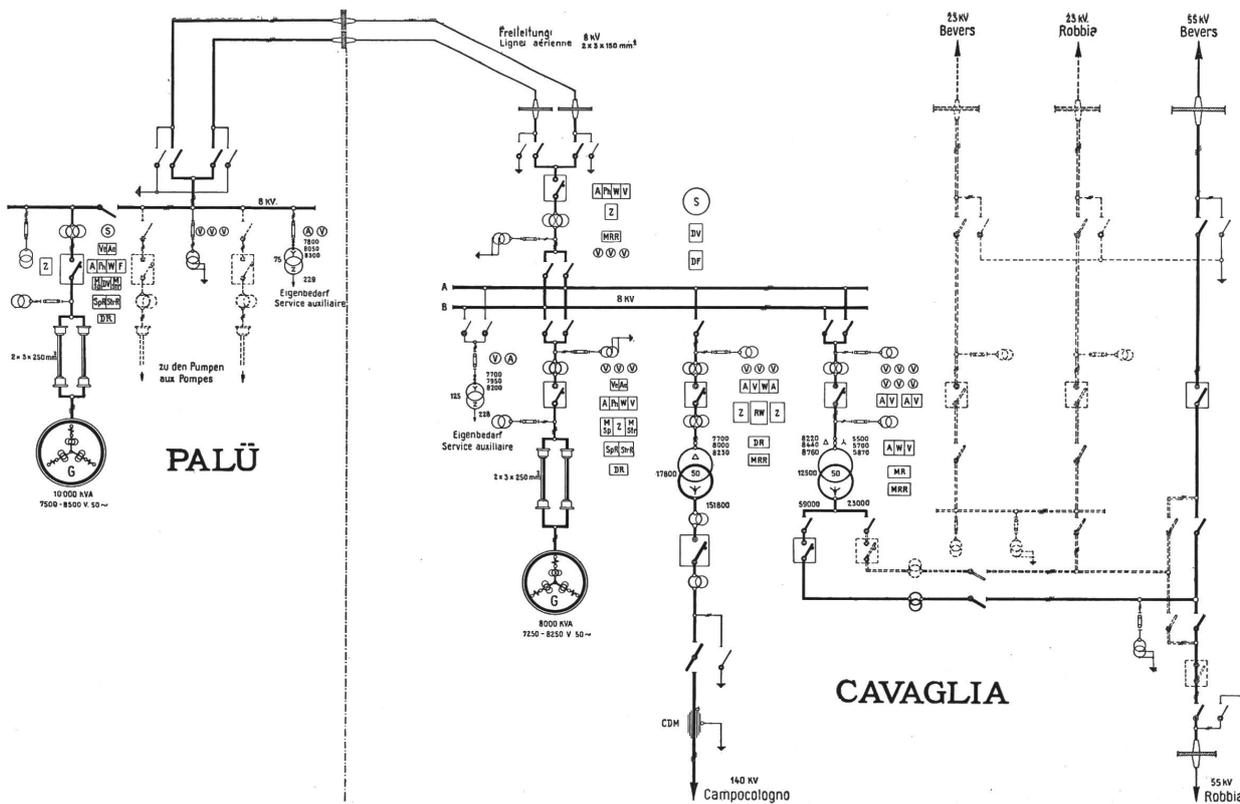


Fig. 10. Kraftwerke Palü-Cavaglia. Schaltungsschema.

S Synchronoskop
 V Voltmeter
 Ve Erreger-Voltmeter
 A Ampèremeter

Ae Erreger-Ampèremeter
 W Wattmeter
 Ph Phasenmeter
 F Frequenzmesser

Msp Max. Spannungs-Relais
 Msr Max. Strom-Relais
 DV Doppelvoltmeter
 SpR Spannungsregler BBC

StrR Überstromschutzregler BBC
 DR Differenzial-Relais
 MR Maximal-Relais
 MRR Max. Rückwatt-Relais

RW Registrier-Wattmeter
 DF Doppelfrequenzmesser
 CDM Kondensatorendurchf. m. Messbelag
 Z Zähler

bei dieser Wassermenge ein mittleres Nettogefälle von 256 m in Berechnung kommt. Die günstigste Drehzahl ergab sich mit 500 U/m für die Gruppe und eine Ausführung als Freistrahlturbine mit 4 Strahlen.

Die Nebenturbine ist berechnet für ein maximales Gefälle von 28 m und eine sekundliche Wassermenge von 4,4 m³/s. Es ergibt dies eine Leistung bis 900 kW. Sie nimmt natürlich ab, wenn das Wasser im Palüsee steigt und dadurch das Zwischengefälle geringer wird. Bei 5 m Gefälle beträgt sie noch rund 60 kW. Sobald dieser Leistungsgewinn nicht mehr wirtschaftlich ist, wird die Turbine abgekuppelt, was durch die von Hand ausrückbare Zahnradkupplung im vertikalen Wellenstrang ermöglicht wird.

Da diese Turbine niemals allein, sondern nur mit der Hauptturbine zusammenarbeitet, so besitzt sie keine eigene Geschwindigkeitsregulierung. Im normalen Betriebe hat sie aber die ganze ihr von der Hauptturbine zufließende Wassermenge zu verarbeiten, es muss daher die Leitradöffnung entsprechend dieser gesteuert werden. Zu diesem Zwecke ist ein Oeldruckregulator aufgestellt, dessen Steuerwerk durch einen Schwimmer in Abhängigkeit des Wasserspiegels im Bassin unter der Hauptturbine beeinflusst wird. Da bei plötzlichen Entlastungen der Gruppe die Schwimmregulierung zu langsam arbeitet, steht die Steuerung des Reglers noch in Verbindung mit der Ablenkerregulierung der Hauptturbine.

Die erzeugte elektrische Energie von Palü wird durch zwei auf gemeinsamem Gestänge angebrachten Leistungssträngen $3 \times 150 \text{ mm}^2$ blankem Kupferseil in Generatorspannung nach dem Werk Cavaglia hinunter übertragen. Die Länge dieser Freileitung beträgt 760 m.

Im ersten Ausbau der Anlage Palü-Cavaglia musste vorerst im Talboden der Alp Palü ein Ausgleichbecken für die Anlage Cavaglia gebildet werden, indem die bisherigen Abflussrinnen mit zwei geraden Staudämmen, bei einer Kronenhöhe auf Kote 1927, abzuschliessen waren. Diese Mauern werden für den späteren Bau der grossen, über 40 m hohen Staumauer als Vordämme dienen, damit deren Erstellung ohne Betriebsunterbruch der Werke Palü-Cavaglia durchgeführt werden kann.

Das heutige Ausgleichbecken hat bei einer Ausnützung zwischen den Koten 1927 und 1924 einen Inhalt von 165 000 m³.

Unmittelbar an das Kraftwerk Palü schliesst sich die Anlage Cavaglia an. Auf dem Grund des oben beschriebenen Felsschachtes befindet sich der Rohrzapfen und der Abschluss vom Palüsee. Es folgt das Teilstück für den Anschluss der Francis-Turbine und ein im ersten Fixpunkt einbetonierter Rohrbogen von 1500 mm Durchmesser, welcher neben der oberen Seilbahnstation und der Pumpenkammer vorbei in die Axe der direkt daran anschliessenden Apparatenkammer der Anlage Cavaglia einbiegt. Die Apparatenkammer liegt schon im Gefälle der ersten Druckleitungs-partie. Wie bei der Anlage Palü enthält sie Venturimesstdüse zur Messung der Durchflussmenge, die automatische Drosselklappe von 1200 mm l.W. mit Umlaufleitung und das automatische Lufteinlassventil von 400 mm Durchmesser. Von der Venturidüse wird auch die Membrane betätigt, welche das Auslösen des automatischen Rohrabschlusses bei jeder gewünschten, genau einstellbaren Wassermenge veranlasst. Dieser Rohrabschluss kann ausserdem elektrisch von den Werken Palü und Cavaglia aus betätigt werden.

Der Rohrstollen im Fels und die eingegrabene, gedeckte Galerie zum Maschinenhaus Cavaglia hinunter, mit der Seilbahn, sind ein bequemes Verbindungsmittel zwischen den beiden Werken sowohl für das Personal als auch für den Materialaustausch. Unabhängig von den Witterungsverhältnissen ist der Verkehr zu Fuss oder per Seilbahn sichergestellt. Bei der gegebenen Höhenlage ist dies namentlich im Winter von grosser Bedeutung, weil das Bedienungspersonal nur in der Ortschaft Cavaglia wohnen kann. Mit diesem Verbindungsweg und durch die vom Kommandoraum Cavaglia aus mögliche Steuerung der Hauptturbine Palü sind die beiden Werke zu einer Betriebseinheit mit gemeinsamem Personal und einem Dienstchef verbunden.

Das Maschinenhaus Cavaglia befindet sich im oberen Teil der Cavagliaebene, zwischen der von Alp Grüm steil abfallenden Felswand und dem Palübach. Sie steht etwas erhöht über der Bachrinne in den Wiesen. Das Gebäude besteht aus dem hohen Maschinenraum und dem auf zwei Seiten anliegenden Anbau für die zwei Gross-Transformatoren, den Schaltanlagen 8/140/55 kV, dem Kommandoraum, den Bureaux, Werkstatt und Magazinen. Der mit einem elektrisch angetriebenen Laufkran von 35 t ausgerüstete Maschinenraum enthält eine einzige Maschinengruppe, bestehend aus einer Freistrahlturbine von 7350 kW, welche mit einem Drehstrom-Generator von 8000 kVA gekuppelt ist (Fig. 8 und 9).

Das der Anlage Cavaglia zur Ausnützung verfügbare mittlere Bruttogefälle berechnet sich aus der Staukote des zukünftigen Palüseses, welche sich von Kote 1952 bis 1924 verändern kann, und der Kote Mitte Einlaufspirale auf 1709,50. Nach Abzug der Verluste in der Druckleitung beim Durchfluss der maximal zur Ausnützung gelangenden Wassermenge von $4,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ergibt sich ein der Turbine zur Verfügung stehendes Nettogefälle von 220 m. Für diese Verhältnisse können sowohl Francis- wie Freistrahlturbinen in Frage kommen. Da aber Cavaglia bis zum weiteren Ausbau der unten liegenden Anlage Robbia wenigstens im Winter nur bis zur Hälfte dieser maximalen Wassermenge betrieben werden kann, so wurde aus wirtschaftlichen Gründen (besserer Wirkungsgrad während der ersten Betriebsperiode, sowie grössere Unempfindlichkeit bei sandhaltigem Wasser, also geringere Unterhaltungskosten) der Freistrahlturbine der Vorzug gegeben. Die Bedingung hoher Tourenzahl, um die Anschaffungskosten des Generators niedriger zu halten und an Raum zu sparen, ergab, wie für die Anlage Palü, die vertikale Anordnung mit vier Strahlen. Die Freistrahlturbine ergibt für die vorstehenden Verhältnisse berechnet 7800 kW bei 500 U/m.

Vor dem Kugelschieber der Turbine befindet sich der Abzweigstutzen für die Freilaufleitung, welche in Cavaglia zur Wasserabgabe von $4,4 \text{ m}^3/\text{s}$, also für den vollen Betrieb des Werkes Robbia nach dem zukünftigen Ausbau, angeordnet worden ist. Einstweilen ist diese Einrichtung für maximal $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$, entsprechend der gegenwärtigen Schluckfähigkeit in Robbia, eingestellt. Die definitive Anordnung soll eine einwandfreie Wasserabgabe bei jeder beliebigen Zwischenstellung von $0,5$ bis $4,4 \text{ m}^3/\text{s}$, ohne nachteilige Vibrationen der Druckleitungsteile, gestatten. Diese Einrichtung, welche wie in der Anlage Palü neuartig ist, an welche aber in Cavaglia bedeutend höhere Anforderungen gestellt werden, hat hier eine konstruktiv schwerere Ausführung als in Palü verlangt. Im gelochten kegelförmigen Ausgussrohr ist noch ein beweglicher Drehkörper eingebaut, der so gebohrt ist, dass die Durchflusslöcher des letzteren in offener Stellung mit denjenigen des äusseren festen Rohrkegels übereinstimmen, in geschlossenem Zustande dagegen überdeckt werden. Um den

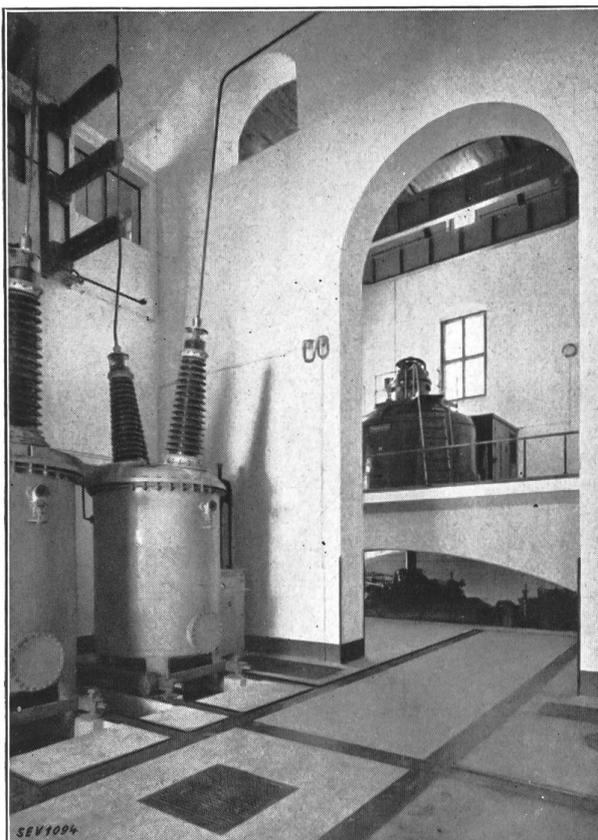


Fig. 11.

Kraftwerk Cavaglia. 150 kV-Schaltergruppe des 17800 kVA-Transformators. Anordnung des Transportgeleises, Blick auf die Generatorengruppe.

Drehkörper bei vollem Druck von über 200 m verhältnismässig leicht bewegen zu können, hat ein Kugellager den sich ergebenden Axialdruck aufzunehmen.

Das Schema Fig. 10 orientiert über die Schalt- und Transformatorenanlage des Werkes Cavaglia, wo auch die von Palü in 8 kV herkommende Energie zur Fernübertragung transformiert wird. Die zweistöckige 8 kV-Schaltanlage befindet sich hinter dem Maschinenraum an der Nordfront. Unten, auf Generatorbodenhöhe, sind die Oelschalter von 1000 A Nennstrom für den Generator Cavaglia und die ankommende 8 kV-Leitung Palü und von 1600 A für die beiden Transformatoren angeordnet. Ueber den Oelschaltern im oberen Raum befinden sich die Einführungen der zwei Leitungsstränge von Palü, die Doppelsammelschienen mit den Trennern, sowie die Strom- und Spannungswandler für die Messinstrumente. Neben dem

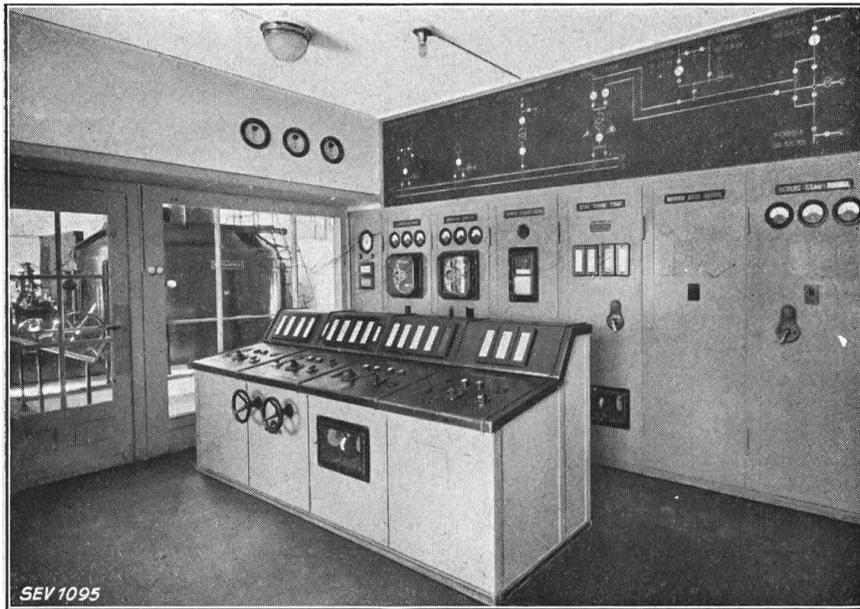


Fig. 12.
Kraftwerk Cavaglia. Kommandoraum.

Montageplatz des Maschinenraumes sind nacheinander die beiden Gross-Transformatoren mit ihren Oelkühlaggregaten und je einer Schaltergruppe der Oberspannungsseite aufgestellt (Fig. 11). Für den Transport der Transformatoren und Schalter unter den gemeinsamen Kran im Maschinenraum wurden im Boden Differdingerträger mit aufgeschweissten Führungsborden eingegossen. Dadurch ist die Verwendung von flachen Transportrollen möglich. Die Laufrollen

können nach dem Ausfahren von der Betriebsstelle in den mittleren Gang zur Förderung unter den Kran umgesteckt werden. Ein leichtes, sicheres Fahren ist damit erzielt, unter Wegfall der unbequemen Transportwagen. Für die Energieabgabe in 140 kV besteht ein Dreiphasen-Transformator von 17800 kVA, der während einer Stunde bis 30 % überlastet werden kann. Diesem Transformator gegenüberliegend ist die Schaltergruppe für 150 kV Nennspannung, 400 A Nennstrom und eine Abschaltleistung bis 125000 kVA eingebaut. Die Fortleitung erfolgt von hier über einen dreipoligen Drehtrenner mit Erdungseinrichtung zu den Gebäudedurchführungen. Diese sind Kondensatordurchführungen aus Repelit für Stromstärken bis 600 A mit Messbandagen. Ueber einen Ladestromwandler wird eine Erdschlussanzeigevorrichtung mit Relais betätigt. Für den Anschluss der abgehenden 140 kV-Leitung besteht eine Loggia mit Vordach.

Für die Energieabgabe in 55 kV ist der zweite Dreiphasen-Transformator von 12500 kVA ebenfalls mit gegenüberliegender Oelschaltergruppe vorhanden. In dem über diesem Transformator liegenden Stockwerk erfolgt der Anschluss an die Schaltanlage der hier durchgehenden Berninalleitung II.

Der Kommandoraum (Fig. 12) befindet sich direkt an den Maschinenraum anschliessend im ersten Stockwerk an der Südfront. Eine Fensterwand vermittelt den freien Ausblick auf die Hauptmaschinengruppe. Alle Oelschalter in der Schaltanlage Cavaglia können von hier aus betätigt werden. Sie sind, wie auch alle

dreipoligen Trenner, mit Signalkontakten versehen, durch welche das über der Schaltwand befindliche Rückmeldeschema die jeweilige Schaltstellung selbsttätig anzeigt. Ausser der Steuerung für den Betrieb des Generators und der Transformatoren kann vom Schaltpult sowohl die Tourenverstellvorrichtung der Turbine Cavaglia als auch diejenige von Palü für die gewollte Belastung beeinflusst werden. Mittelst Druckknopfsteuerung ist die elektrische Auslösung des Generatorbrandschutzes möglich. Es kann von hier aus auch der Hauptschieber der Turbine betätigt, wie auch der automatische Abschluss der Druckleitung Palü - Cavaglia ausgelöst werden. Die neu erstellte 140 kV-Leitung, welche von Cavaglia nach der 140 kV - Transformatorstation in Campocologno hinunterführt und dort an die neue Leitungsstrasse durch das Veltlin nach Cislago angeschlossen ist, besteht aus drei Aluminiumseilen, Legierung Aldrey, von je 220 mm² Querschnitt. Der Isolation und den Leiterabständen ist eine Nennspannung von 160 kV zugrunde gelegt. Die Leitung steht seit dem 11. Dezember 1927 mit ca. 140 kV im Betrieb. Die Leitungslänge von Cavaglia bis Campocologno beträgt 19,8 km. Es waren 87 Tragwerke (Fig. 13) notwendig. Die mittlere Spannweite beträgt 228 m, die kleinste 69 m, die grösste 398 m. Die höchsten Masten messen 30,5 m. Sämtliche Eisenmasten sind durch ein über die Mastspitzen gezogenes Erdseil von 50 mm² Querschnitt aus Tiegelguss-Stahldrähten miteinander verbunden. Als Isolatoren sind Kappen-Hängeisolatoren mit 6500 kg garantierter Bruchfestigkeit, mit brauner Glasur verwendet worden, und zwar zu gleichen Teilen V-Ring-Isolatoren Hermsdorf und Kegelpf-Isolatoren Rosenthal mit GF Schiebe-Splint. Auf der Bergstrecke Cavaglia-Robbia sind 8, zwischen Robbia und Campocologno in der Hauptsache nur je 7, vereinzelt auch 8 solcher Glieder eingebaut. Alle Abspannketten haben auf der ganzen Strecke einheitlich 8 Glieder erhalten. Die rund 60 km Aldrey-Seile der Leitung wiegen 37 t. Die Festigkeit des

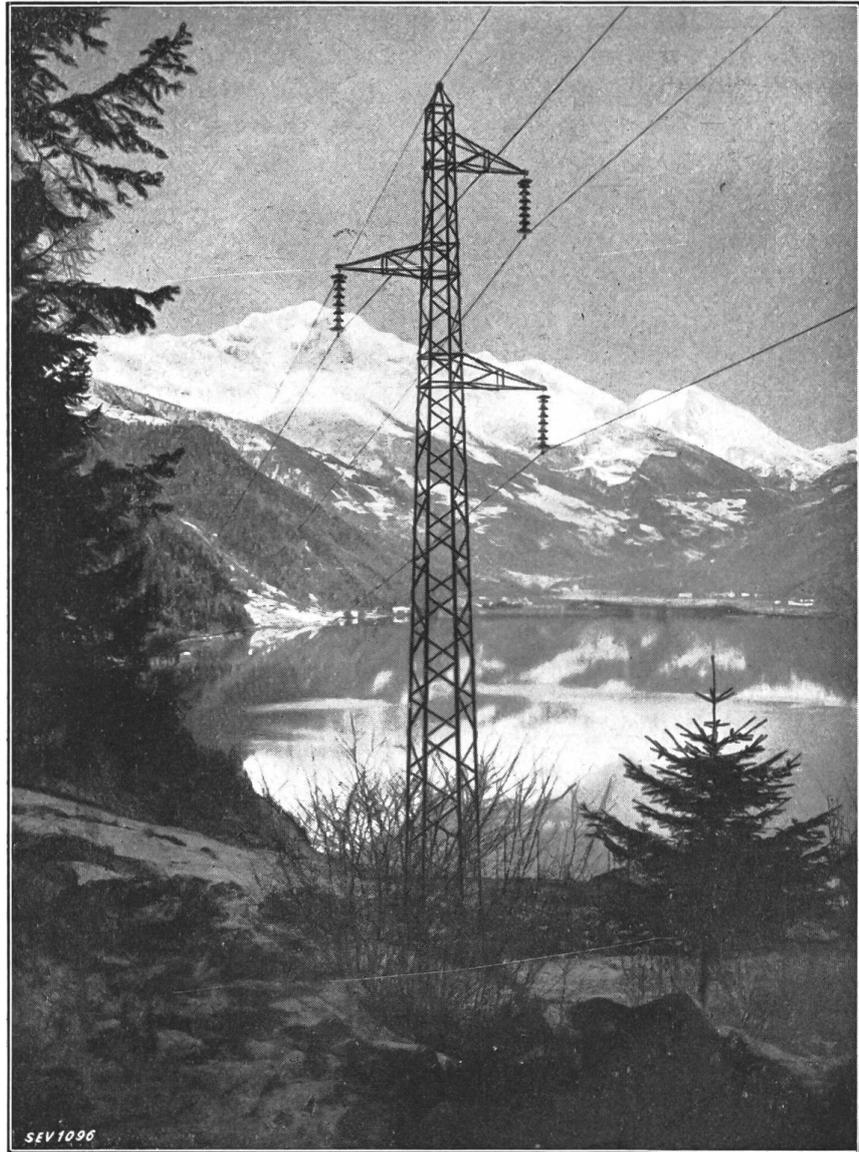


Fig. 13.

140 kV-Leitung Cavaglia-Campocologno, Tragmast No. 61 am Puschlavensee.

Die höchsten Masten messen 30,5 m. Sämtliche Eisenmasten sind durch ein über die Mastspitzen gezogenes Erdseil von 50 mm² Querschnitt aus Tiegelguss-Stahldrähten miteinander verbunden. Als Isolatoren sind Kappen-Hängeisolatoren mit 6500 kg garantierter Bruchfestigkeit, mit brauner Glasur verwendet worden, und zwar zu gleichen Teilen V-Ring-Isolatoren Hermsdorf und Kegelpf-Isolatoren Rosenthal mit GF Schiebe-Splint. Auf der Bergstrecke Cavaglia-Robbia sind 8, zwischen Robbia und Campocologno in der Hauptsache nur je 7, vereinzelt auch 8 solcher Glieder eingebaut. Alle Abspannketten haben auf der ganzen Strecke einheitlich 8 Glieder erhalten. Die rund 60 km Aldrey-Seile der Leitung wiegen 37 t. Die Festigkeit des

Seiles ist mit mindestens 5800 kg garantiert. Für die Durchhangsberechnung wurde eine Montagespannung von 380 kg/cm^2 bei $+ 10^\circ \text{C}$ angenommen.

Die neue Transformatorenhalle 50 000 kVA, 7/140 kV, in Campocologno, an welche diese von Cavaglia kommende Leitung angeschlossen ist, wurde in den Jahren 1927/28 für die Abgabe der in Campocologno produzierten Energie erstellt (Fig. 14). Sie ist an Stelle der Transformatorenstationen von 7/55 kV in Piattamalan und Campocologno getreten, nachdem bei der Ueberlastung der 55 kV-Leitungsstrasse die Uebertragung nach der Lombardei in 140 kV zu geschehen hatte. Für die Halle ist eine Eisenkonstruktion, die in den lichten Feldern mit Gussbeton ausgefüllt wurde, gewählt worden. Sie ist in den Transformatorenraum im nördlichen Teil und den

Montageraum mit Leitungsausführung gegen Süden abgeteilt.

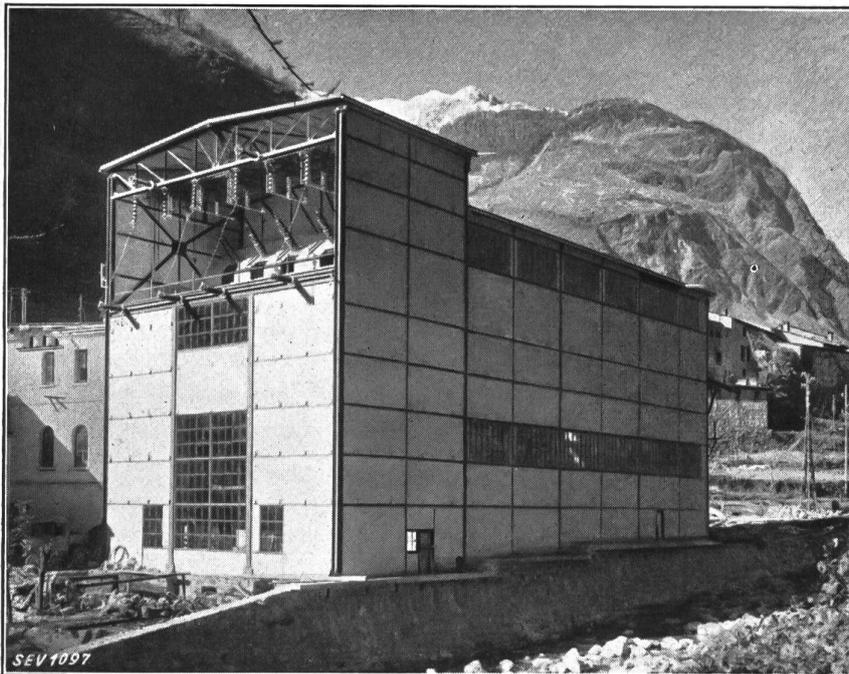


Fig. 14.

Kraftwerk Campocologno. Transformatorenhalle 50 000 kVA, 7/140 kV.
Vorn: abgehende 140 kV-Leitungen nach Italien (Cislago).

Der Transformatorenraum mit zwei Gross-Transformatoren von je 25 000 kVA, ihren Schaltergruppen und den Doppelsammelschienen der Ueberspannungsseite, sowie einer Schaltergruppe für die von Cavaglia ankommende 140 kV-Leitung, misst an lichter Weite 16,5 m in der Höhe, 14,6 m in der Breite und 26 m in der Länge, Fig. 15 und 16.

Der Montage-
raum, in den lichten Dimensionen von 12,5 m Höhe und $15,1 \times 8,4 \text{ m}^2$

Fläche, ist mit einem elektrischen Laufkran von 7,5 m Spurweite und 50 t Tragkraft ausgerüstet. Direkt darüber befindet sich der gedeckte, nach Süden geöffnete Raum für die beiden abgehenden 140 kV-Leitungen. Die Zuleitung in 7 kV von den Generatoren nach der Transformatorenhalle erfolgt in einem im Boden verlegten und abgedeckten Kabelkanal. Für jeden Transformator bestehen 6 Dreileiter-Bleikabel von $3 \times 250 \text{ mm}^2$ Querschnitt.

Die beiden Dreiphasen-Oeltransformatoren von je 25 000 kVA Dauerleistung sind mit äusserem Oelumlaufl und Wasserkühlung versehen. Sie besitzen herausgeführten Nullpunkt auf der Hochspannungsseite, Wicklungsabstützung mit Federn, Vakuumkasten und einen gemeinschaftlichen Vakuumdeckel. Die Fahrgestelle haben ebenfalls eine spezielle Verstärkung zum Heben der Transformatoren mit hydraulischen Schiffswinden für das Umstecken der Laufrollen im mittleren Gang erhalten. Es besteht hier für den Transport ohne besonderen Transportwagen unter den Montagekran, die gleiche Einrichtung und Geleiseanlage wie in der Anlage Cavaglia. Das Uebersetzungsverhältnis der Transformatoren ist bei Leerlauf 7400/151 000 V resp. bei Vollast und $\cos \varphi = 0,9$: 7400/143 000 V und 1970/97 A. Das Totalgewicht eines Transformators beträgt 86 500 kg. Die Transformatoren sind während einer Stunde bis 30 % der normalen Leistung überlastbar.

Jedem Transformator gegenüberliegend ist eine Schaltergruppe für 150 kV Nennspannung, 400 A Nennstrom und eine Abschaltleistung von 1 250 000 kVA eingebaut. Jeder Transformator kann über dreipolige Drehtrenner nach der Schaltergruppe wahlweise auf die Sammelschiene „Carona“ oder „Mallero“ geschaltet werden. Die Leitungsführung der Oberspannungsseite besteht aus Kupferrohren von 35 mm äusserem Durchmesser und 2,5 mm Wandstärke.

An der Nordfront ist die von Cavaglia ankommende 140 kV-Leitung eingeführt. Die Durchführungsisolatoren aus Haefelit sind mit schieferm Flansch an der vertikalen Gebäudewand befestigt und durch ein weites Vordach geschützt. Die drei Aluminiumseile der Freileitung sind am Vordach verankert. Unmittelbar nach der Einführung ist ein dreipoliger Drehtrenner mit Erdungseinrichtung und eine gleiche Schaltergruppe wie für die beiden Transformatoren vorhanden. Die Leitung von Cavaglia kann über Drehtrenner wahlweise auf die beiden Sammelschienen angeschlossen werden.

An der Südfront über dem Montageaum befinden sich die sechs Gebäudedurchführungen der beiden nach Italien abgehenden Leitungen „Carona“ und „Mallero“. Sie entsprechen in der Ausführung aus Repelit den Kondensatordurchführungen der Anlage Cavaglia und haben für die Erdschlusskontrolle und eine Synchronisierungseinrichtung Kondensatormessbandagen. In dem nach Süden offenen Raum der Durchführungen besteht in jeder abgehenden Leitung je ein an der Decke aufgehängter dreipoliger Trenner mit Erdungseinrichtung. Die sechs Seile der Freileitung sind an der Südfront verankert. Der erste Mast, nach einer Spannweite von 301 m, liegt bereits auf italienischem Boden.

Die Steuerung von allen Oel-schaltern der Transformatorenhalle erfolgt vom Schaltpult aus beim Kom-



Fig. 15.

Kraftwerk Campocologno. Transformatorenhalle 50 000 kVA. Blick von der Montagehalle. Hinten: ankommende 140 kV-Leitung von Cavaglia. Oel-schaltergruppen 150 kV Nennspannung. 400 A Nennstrom.

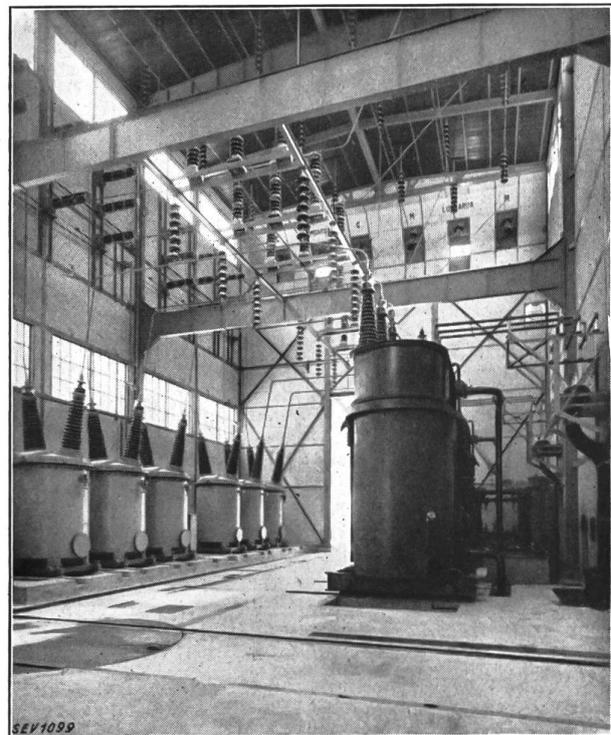


Fig. 16.

Kraftwerk Campocologno. Transformatorenhalle 50 000 kVA. Blick gegen die Montagehalle und Leitungsausführungen nach Italien. Von rechts nach links: Verbindungskabel 7 kV, Oelkühler, Transformatoren 25 000 kVA, Oel-schaltergruppen 150 kV.

mandostand im Maschinenraum. Durch Signalkontakte wird die jeweilige Stellung der Trenner und Oelschalter selbsttätig am Rückmeldeschema auf dem Schaltpult des Kommandostandes im Maschinenraum angezeigt.

Einen vollständigen, noch eingehenderen Ueberblick von sämtlichen bestehenden Anlagen der Kraftwerke Brusio und ihrer Entwicklung vermittelt die eingangs in der Fussnote erwähnte Festschrift, welche in deutscher und französischer Auflage im Juni 1929 erschienen ist.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Die elektrische Waschküche ¹⁾.

Von dipl. Ing. A. Härry, Zürich.

644.26

In der Waschküche hat die Elektrizität schon lange Eingang gefunden zum Betriebe der verschiedenen mechanischen Einrichtungen: Waschmaschinen, Auswindmaschinen, Trockenschleudern. Die Waschküche braucht aber auch viel heisses Wasser. Der Waschkessel wurde bisher mit Holz und Kohle, seltener mit Gas, beheizt. Nun hat auch die elektrische Heizung mit Erfolg Eingang gefunden, so dass die Waschküche voll elektrifiziert werden kann.

Die elektrische Heizung dient als Ergänzung des Heisswasserbezuges aus einem Heisswasserspeicher oder einer Fernheizung, sie kann aber auch den gesamten Heisswasserbedarf decken. Der Wasserkessel hat dann einen Wassermantel (Schiff), der als Heisswasserspeicher zur Ausnutzung der billigen Nachtkraft dient, ein zweiter Heizkörper bringt das vorgewärmte Wasser auf Kochtemperatur.

Betriebserfahrungen in vollektrischen Küchen beider Systeme beweisen, dass der vollektrische Betrieb der Waschküche mit üblichen Strompreisen für Wärmeanwendungen wirtschaftlich möglich ist. Die vielen Vorteile des elektrischen Betriebes werden zu einer grossen Entwicklung auf diesem Gebiete führen.

Allgemeines.

Bisher beschränkte sich die Verwendung der Elektrizität in der Waschküche auf den motorischen Betrieb der verschiedenen Wäschereimaschinen. Besonders in den Vereinigten Staaten von Amerika sind eine Reihe guter und leistungsfähiger Systeme elektrischer Waschmaschinen ausgebildet worden, die zum Teil auch in unserem Lande Eingang gefunden haben. In Europa und speziell in der Schweiz haben die wenigen inländischen Konstruktionen bisher nur langsam Eingang gefunden. Das wird sich mit der Möglichkeit des vollektrischen Betriebes: elektromotorischer Antrieb und elektrische Heisswasserbereitung, zweifellos ändern.

Die Technik des Waschens.

Bei dem in der Schweiz üblichen Waschverfahren kommen folgende Arbeiten in Frage:

¹⁾ Der vollständige Aufsatz erschien in der „Schweiz. Wasserwirtschaft“ vom 25. Juli 1929. Sonderabzüge sind zum Preise von Fr. —45 per Stück beim Sekretariat des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes, 10, St. Peterstrasse, Zürich 1 zu beziehen. Die Klischees sind uns von diesem Verband zur Verfügung gestellt worden.

1. Einweichen der Wäsche in enthärtetem kaltem oder lauem Wasser von nicht über 40 bis 45° C.
2. Spülen der Wäsche mit warmem Wasser.
3. Auswinden der Wäsche von Hand, im Wringer oder in Trockenschleudern.
4. Einseifen der Wäsche bei (Waschmaschinen).
5. Mechanische Behandlung der Wäsche in heissem Wasser unter Zusatz von Soda, Seife, Waschpulver (Lauge).
6. Kochen der Wäsche im Waschkessel.
7. Brühen der klar gewordenen Wäsche mit kochendem Wasser.
8. Spülen der Wäsche mit viel reinem, kaltem Wasser.
9. Vortrocknen der Wäsche durch Auspressen von Hand, im Wringer oder in Trockenschleudern.
10. Fertigtrocknen der Wäsche durch Lufttrocknung im Freien oder in Trockenräumen.

Aus der Darstellung des Waschvorganges erkennt man, wo ein Ersatz der Handarbeit durch motorischen Betrieb und ein Ersatz von Brennmaterialien (Holz, Kohle, Gas) durch elektrisch erzeugte Wärme möglich ist.

Man wird zunächst die Handarbeit durch motorischen Betrieb zu ersetzen suchen, was bereits in ausgedehntem Masse geschieht. In zweiter Linie wird man bestrebt sein, die Brennmaterialien durch elektrischen Strom zu ersetzen, was sehr grosse Vorteile bietet.

Die folgenden Abschnitte befassen sich mit der Verwendung der Elektrizität in der Waschküche für den motorischen Antrieb und die Beheizung.

Die mechanischen Einrichtungen der elektrischen Waschküche.

Der mechanische Betrieb kommt in Frage beim Auswinden und Vortrocknen der Wäsche sowie beim eigentlichen Waschvorgang.

a) *Wringer und Trockenschleudern.* Zum Auswinden und Vortrocknen der Wäsche dienen die sogenannten Wringer und Trockenschleudern.

Beim Wringer wird die nasse Wäsche zwischen zwei Gummiwalzen durchgepresst. Dabei kann auch ein Elektromotor verwendet werden. Ich beschreibe ein solches System bei den kombinierten Waschmaschinen.

Besser erfolgt das Auswinden und Vortrocknen der Wäsche in der *Trockenschleuder*. Durch