

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 71 (1953)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Das Kraftwerk Juan Carosio-Moyopampa bei Lima  
**Autor:** Motor Columbus AG (Baden)  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-60481>

#### 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:** 22.02.2026

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

## Die Tacomabrücke im Staate Washington, USA

Ueber den Wiederaufbau dieser im Jahre 1940 durch einen Sturm zerstörten Brücke<sup>1)</sup> orientiert «The Engineer» vom 11. und 18. Juli 1952. In der ersten Bauetappe wurden die neuen Pilone auf den alten Fundamenten errichtet, in der zweiten Etappe die Haupt- und die Aufhängekabel gespannt und in der dritten Etappe die Fahrbahn von den Türmen aus gegen die Mitte und gegen die Ufer vorgebaut. Da die neue Brücke vier Fahrstreifen erhielt, musste der Abstand der beiden Turmsäulen auf rd. 20 m verbreitert werden. Die alten Podeste von 15 m Abstand wurden deshalb ersetzt. Da nun aber die Arbeitsfuge zwischen altem Fundamentsockel und neuen Podesten keine grossen Einspannmomente an der Pilonbasis erlaubte, versah man diese vorübergehend mit je zwei Auslegerrahmen, die mit schweren Gewichten behängt und auf den äusseren Fundamentrand abgestützt wurden. Die rd. 150 m hohen Türme wurden mit Hilfe je eines Derricks gebaut, der beim Fortschreiten des Baues Stufe um Stufe in die Höhe gezogen wurde. Ein Lift mit einer Tragkraft von gefähr 2 t beförderte Mannschaft und Material in die hochgelegene Arbeitsstätte. Er benötigte für 50 m eine Minute und wurde nach dem Bau wieder abgebrochen. Für das Schlagen der 146 000 Nieten wurden Luftdruckhämmer benutzt. Vier L-förmige bewegliche Gerüstplatten ermöglichten den Zugang zu allen Nietstellen.

Nach Vollendung der Pilonen wurden die Kabel verlegt. Die Verankerungen mussten dem grösseren Kabelzug von rd. 17 000 t entsprechend verstärkt werden. Der Verankерungsabstand beträgt 1820 m, von welchen 850 m auf die Mittelloffnung und je 340 m auf die Seitenöffnungen entfallen; die restlichen 2 × 145 m stellen die Abstände der Verankerungsböcke von den Widerlagern dar. Somit ist die Tacoma-Brücke die dritt längste Hängebrücke der Welt. Der Durchhang der Kabel in der Mittelloffnung beträgt etwa 85 m, das Durchhang-Verhältnis also 1/10. Jedes Hauptkabel besteht aus 19 Bündeln zu je 460 galvanisierten Drähten, deren Zugfestigkeit 160 kg/mm<sup>2</sup> und deren Dicke 5 mm beträgt. Das gesamte Kabel ist mit einem ebenfalls galvanisierten Draht umhüllt, besitzt einen ungefähren Stahlquerschnitt von 1700 cm<sup>2</sup> und einen Durchmesser von 52 cm. Alle 10 m ist eine Aufhängevorrichtung, bestehend aus vier Drähten von 3,5 cm Dicke, angebracht. Unter jedem Hauptkabel wurde ein Fussteg aufgehängt, der durch besondere Drahtseile gehalten wird und der Montage sowie dem Unterhalt der Kabel dient. Die Kabelspinnmaschine beförderte gleichzeitig je vier Drähte über die Fusstege.

DK 624.53.059 (73)

Die aerodynamisch ungünstige Vollwandkonstruktion des Versteifungsträgers<sup>2)</sup> hat man durch eine aufgelöste Konstruktion ersetzt: Hauptträger als Fachwerk-Balken von 10 m Höhe. Der Abstand der ebenfalls fachwerkförmigen Querträger beträgt auch 10 m. Acht sekundäre Längsträger mit einem Abstand von rund 2 m, sowie zwei Windverbände und Querverbände vervollständigen die Stahlkonstruktion. Der Vorbau ging von den Türmen aus gegen die Mitte und gegen das Ufer. Die ersten zwei Felder wurden vorübergehend als Kragarme konstruiert, bis sie an die fertig erstellten Kabel angehängt werden konnten. Vier Derricks bewältigten die Montage. Als Schienen benutzten sie die vier inneren Längsträger, während die zwei äusseren Längsträger an beiden Brückenrändern von den Materialwagen als Schienen benutzt wurden. Das Material wurde von den Turmfundamenten, die als Landeplätze dienten, auf die Brücke gezogen. Da sich die Pilonen nach der Spannung der Kabel anfänglich stark gegen die Ufer neigten, wurde zuerst ein grosser Teil der Mittelloffnung gebaut und an die Aufhängeseile befestigt, bis diese Neigung wieder verschwand; dann erst begann auch der Bau der Seitenöffnungen.

Die letzte Bauetappe bestand im Anbringen der Fahrbahndecke aus Eisenbeton. Hier musste darauf geachtet werden, dass die Verteilung der Betonierabschnitte eine möglichst günstige Belastung der Hauptträger ergab. Die Dicke der Platte beträgt 15 cm, der Beton ist sehr leicht (rd. 2 t/m<sup>3</sup>) und besass nach 28 Tagen eine Druckfestigkeit von 350 kg/cm<sup>2</sup>. Der Strassenbelag besteht aus einer 16 mm-Asphaltdecke. Um der neuesten Forschung über das Verhalten von Versteifungsträgern in strömender Luft gerecht zu werden, liess man in der Fahrbahndecke fünf Längsschlüsse frei, die durch massive Drahtgitter ausgefüllt wurden. Diese Schlüsse verhindern grosse Schwingungen bei Sturm<sup>2)</sup>. Das imponierende Bauwerk war im Oktober 1950, nach einer Bauzeit von nicht ganz zwei Jahren, vollendet.

B. Gilg

2) Siehe F. Stüssi in SBZ 1947, S. 262\*.

<sup>1)</sup> Siehe F. Stüssi und J. Ackeret in SBZ Bd. 117, S. 137\* (1941).

## Das Kraftwerk Juan Carosio-Moyopampa bei Lima

Mitgeteilt von der MOTOR-COLUMBUS AG. für elektrische Unternehmungen, Baden

### D. Hydraulische Anlagen

#### 1. Kugelschieber

Jeder Turbine ist ein Kugelschieber von 650 mm Durchmesser, Konstruktion und Patent BELL, vorgeschaltet. Der

DK 621.311.21 (85)

Schluss von Seite 33

Schieber besteht im wesentlichen aus dem kugeligen, zweiteiligen Schiebergehäuse, mit Schiebersitz aus Spezialbronze, der leicht ausbaubar ist, dem darin eingeschlossenen, röhrenförmigen Drehkörper mit angeschraubtem Schiebersitz und dem Servomotor, der sowohl das Abheben vom Schiebersitz als auch das Drehen des Drehkörpers bewirkt, sowie der automatisch gesteuerten Umleitung. Am Gehäuseunterteil sind zudem noch Spül- und Entleerungsleitungen angebracht. Die Steuerung wird mit einem einfachen, sicher wirkenden Steuerventil vorgenommen. Die Wirkungsweise ist aus dem Schema Bild 21 ersichtlich. Die Schieber zeichnen sich aus durch das Fehlen von beweglichen Teilen und Dichtungs-Manschetten im Schieberinnern, durch sehr robuste Schiebersitze, die längs einer grossen Druckfläche mit dem vollen Wasserdurchfluss gepresst werden und deshalb eine gute Abdichtung gewährleisten, und durch eine sehr einfache, zuverlässige Steuerung.

#### 2. Turbinen

Bei der Projektierung wurde aus verschiedenen, nicht zuletzt auch aus wirtschaftlichen

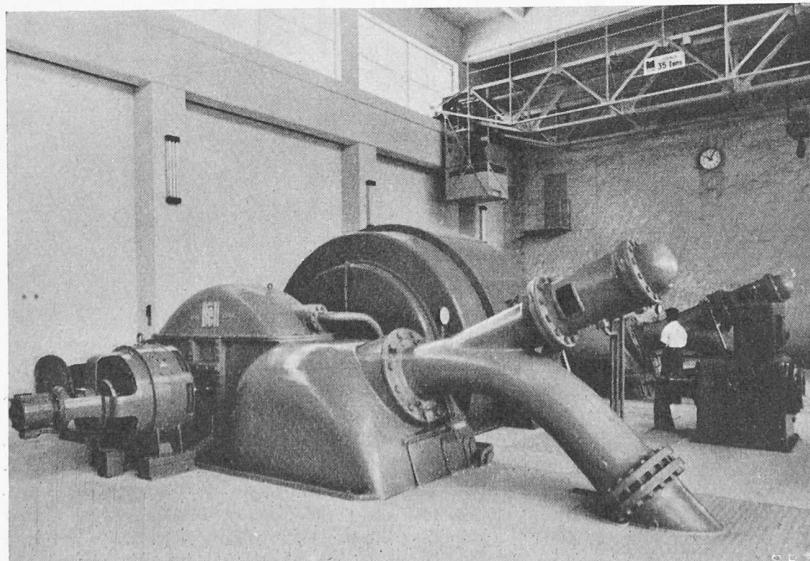


Bild 15. Ansicht einer Maschinengruppe

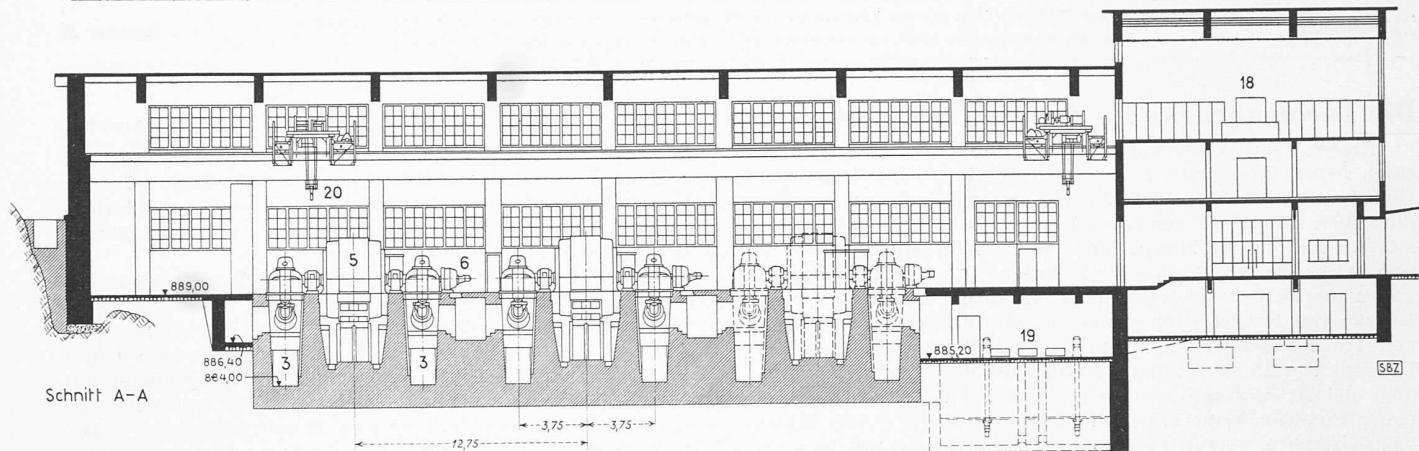
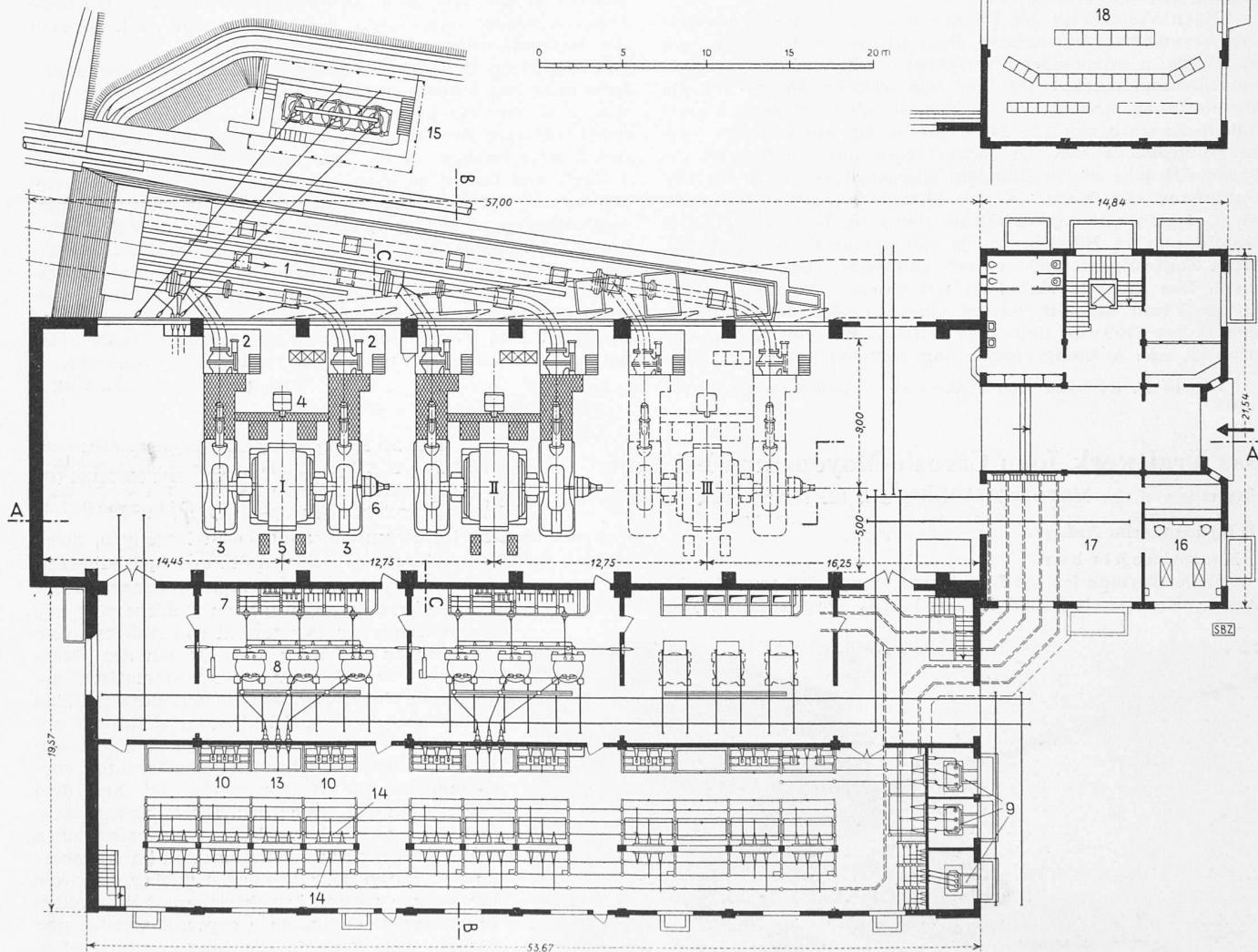


Bild 16. Schnitt A—A zu Bild 17

- |                        |  |   |
|------------------------|--|---|
| 1 Verteileitung        | 9 Transformatoren für Hilfsdienst                    | 14 Sammelschienentrenner mit Druckluftantrieb |
| 2 Kugelschieber        | 10 Strom-Messwandler                                 | 15 Belastungswiderstand                       |
| 3 Turbinen             | 11 Spannungs-Messwandler                             | 16 Druckluftanlage                            |
| 4 Turbinen-Regulator   | 12 Druckluftschneidschalter                          | 17 Werkstatt                                  |
| 5 Generator            | 13 Leitungs- und Erdungstrenner mit Druckluftantrieb | 18 Kommandoraum                               |
| 6 Erregermaschine      |  | 19 Kühlwasserpumpen                           |
| 7 10-kV-Anlage         |  | 20 Maschinensaalkrant                         |
| 8 Haupttransformatoren |  |   |

Bild 17. Maschinenhaus, Grundriss, rechts Kommandoraum. 1:400



Gründen die in letzter Zeit gut eingeführte Konstruktion mit zwei zweidüsigen Peltonturbinen gewählt, deren Laufräder beidseitig fliegend auf das freie Wellenende des Generators mittels Flanschen angeschraubt sind. Jede Gruppe weist nur zwei Lager auf. Auf der einen Seite ist mit einem elastischen Kupplungssystem der Erreger an das Turbinenlaufrad gekuppelt. Die zweidüsigen Peltonturbinen sind für ein Nettogefälle von 456 m gebaut und verarbeiten eine Wassermenge

von  $2 \times 2,66 \text{ m}^3/\text{s}$ ; jede Gruppe leistet maximal 31 300 PS und läuft mit 514 U/min.

Wie aus Bild 23 ersichtlich ist, schliesst an den Turbinenkugelschieber ein Hosenrohr an. Die Flanschverbindung zwischen diesen Teilen ist als Demontage-Verbindung ausgebildet. An das Hosenrohr sind die beiden Einläufe, die unter einem Winkel von  $45^\circ$  stehen, angebaut. Diese Anordnung ermöglicht außer der hydraulisch günstigen Gestaltung von

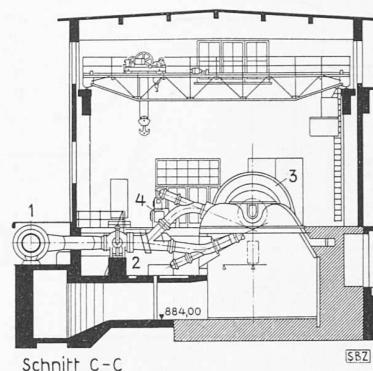
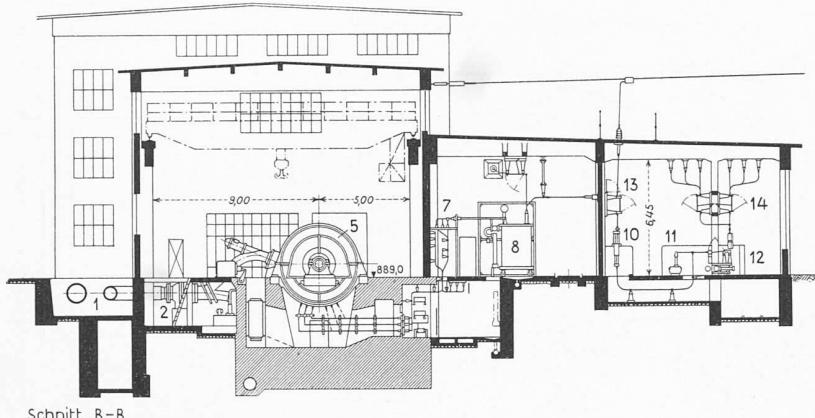


Bild 18. Querschnitte durch das Maschinenhaus, Maßstab 1:400

Einlauf und Turbinengehäuse eine gute Zugänglichkeit und leichte Demontage des Laufrades. Dieses ist einteilig und besteht aus Stahlguss von  $45 \text{ kg/mm}^2$  Festigkeit. Die erosionsgefährdeten Stellen sind mit einem Schutz-Schweissauflauf verstärkt. Der Gehäuse-Unterteil ist doppelwandig. Im Zwischenraum sind Kanäle für die Belüftung des Ober- und Unterteils sowie für die Ableitung des Spritzwassers angeordnet. Um das Gehäuse bei Ablenkung der beiden Strahlen durch den Strahlablenker zu schützen, ist sein Hinterteil mit einem Schutzschild aus Stahlguss versehen. Für die periodischen Revisionen von Düsen, Ablenker und Laufrad ist im unteren Teil des Turbinengehäuses ein Bedienungspodest angebracht, das durch eine Türe vom Untergeschoss des Maschinenhauses aus betreten werden kann.

### 3. Die Regulierung

Strahlablenker und Reguliernadeln jedes Turbinensatzes werden von je einem Geschwindigkeitsregler betätigt, dessen Wirkungsweise aus dem Reglerschema (Bild 21) hervorgeht. Kennzeichnend für diesen Apparat ist die konstruktive Trennung der massgebenden Organe, nämlich des auf die Geschwindigkeit empfindlichen Empfängers 33, des Steuerventils 27 und des Kataraktes mit starrer und nachgiebiger Rückführung 34 und 35. Diese Trennung bietet wesentliche Vorteile. So war es ohne weiteres möglich, als Empfängerorgan an Stelle eines Fliehkraftpendels einen elektrischen Reglerkopf anzubringen, der dank dem sehr geringen erfor-

derlichen Arbeitsvermögen der übrigen Organe ohne besondere Vorsteuerung verwendet werden konnte. Alle diese Teile sind in einem Kasten eingeschlossen, dessen Vorderseite durch die kleine Schalttafel gebildet wird, welche die Organe für die Betätigung des ganzen Steuerwerks trägt. Dieser Kasten ist über dem Hauptservomotor angeordnet, der mit dem oberen Oelreservoir 23, dem unteren Reservoir 51 und dem Oelkühler 62 einen geschlossenen Baukörper bildet. In ihm sind die Imo-Oelpumpen 52 und 53 eingebaut, von denen die erste durch einen Elektromotor, die zweite durch eine kleine Freistrahlтурbine angetrieben werden. Der elektrische Drehzahlreglerkopf 33 der Firma Brown Boveri, Baden, stellt im wesentlichen eine Frequenz- oder Geschwindigkeits-Messeinrichtung dar, die aus zwei Messtrommeln 33 a und 33b sowie einer Drehdrossel 33 c besteht. Die Statorwicklungen der beiden Trommeln werden vom Spannungswandler des Generators oder von einem besonderen kleinen Drehstromgenerator, der auf der Turbinenwelle sitzt, gespeist und zwar derart, dass die beiden Drehfelder einander entgegenwirken. Der Stromkreis des einen Stators ist durch Einschalten eines dreiphasigen Kondensators 33d kapazitiv, derjenige des andern induktiv. Bei Normalfrequenz halten sich die beiden Drehfelder das Gleichgewicht und die Reglerwelle ist in Ruhe. Bei der geringsten Frequenzabweichung nach oben oder nach unten überwiegt das eine Drehmoment oder das andere, so dass sich die Welle in der einen oder andern Richtung dreht. Die oben erwähnte dreiphasige Drehdrossel 33c stellt die

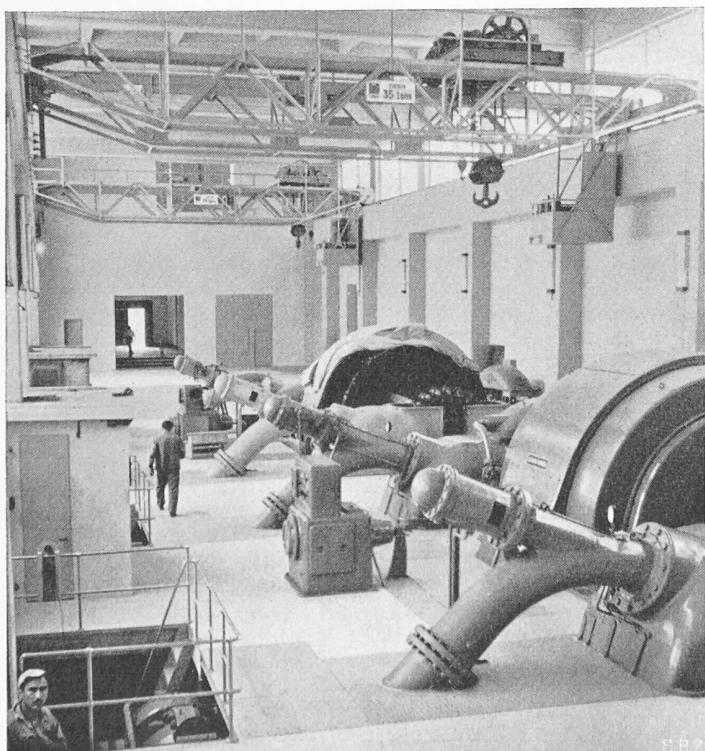


Bild 19. Maschinensaal mit den Gruppen I und II und den beiden Kranen

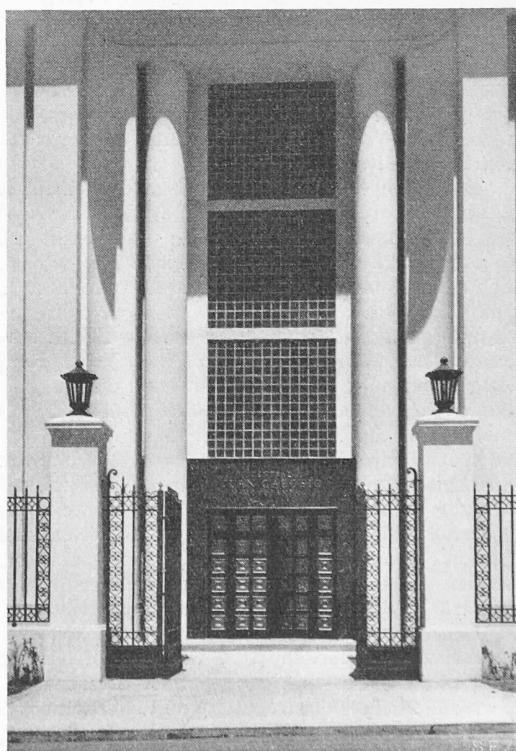


Bild 20. Portal zur Zentrale, Arch. G. Payet, Lima

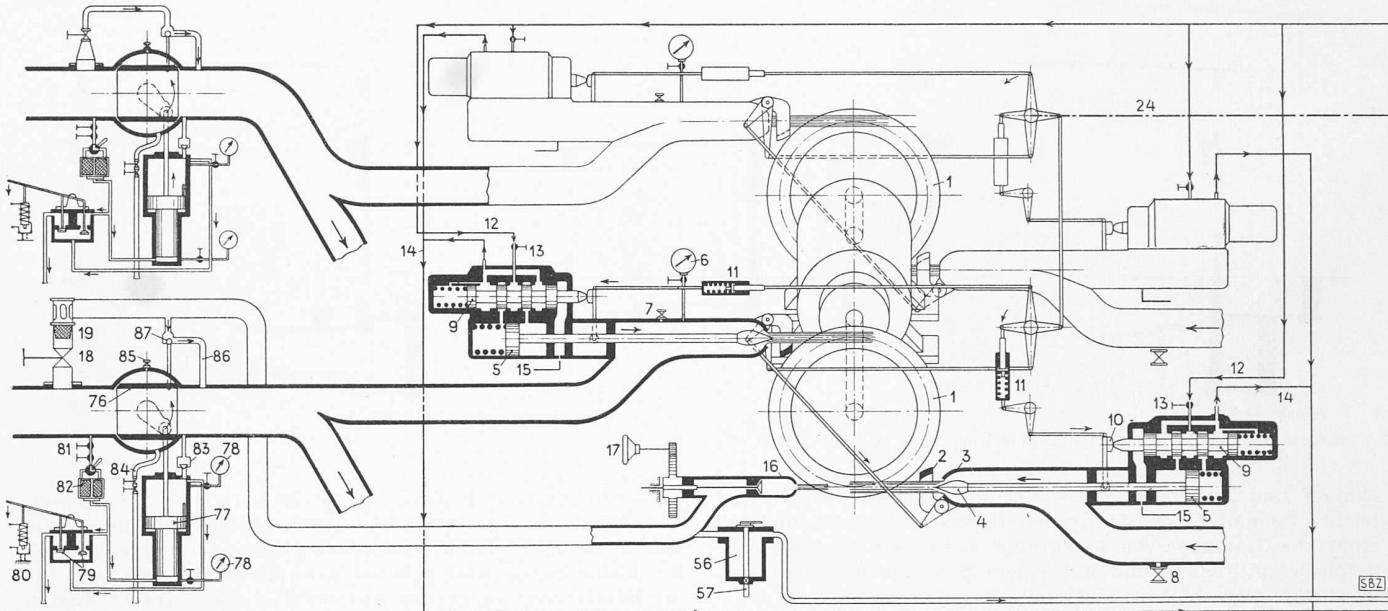


Bild 21. Regulierschema der Turbine

**Turbine**

- 1 Laufrad
- 2 Strahlablenker
- 3 Nadeldüse
- 4 Nadel
- 5 Nadelervomotorkolben
- 6 Manometer für Betriebswasserdruck
- 7 Entlüftungsventil
- 8 Entleerungshahn
- 9 Hauptsteuerventil zu 5
- 10 Reguliernocke
- 11 Elastisches Reguliergehänge zu 9
- 12 Druckölleitung zu 5
- 13 Absperrhahn zu 12
- 14 Oelrücklaufleitung
- 15 Sickerölleitung
- 16 Bremsdüse

- 17 Handantrieb zu 16
- 18 Schieber zu 16, zugleich Bypassventil zur Entlastung von 76
- 19 Filter

**Regulator**

- 21 Kolben des Haupt-Servo-Motors
- 22 Schliessfeder
- 23 Oberes Oelreservoir
- 24 Regulierwelle
- 25 Sicherheitsventil für Drucköl
- 26 Oelneuaanzeiger
- 27 Steuerventilgehäuse
- 28 Steuerkolben
- 29 Steuernadel für Vorsteuerung
- 30 Druckölmanometer
- 31 Anlasser
- 32 Druckknopf zu 31

- 33 Reglerkopf (Brown Boveri & Cie.)
- 33a, 33b Messstrommeln
- 33c Drehdrossel
- 33d Kondensator
- 33e Reglerwelle
- 34 Katarakt
- 35 Kataraktkolben
- 36 Reglerhebel
- 36a Zwischenhebel
- 37 Vorrichtung zum Einstellen des Ungleichförmigkeitsgrades
- 38 Anzeiger des Ungleichförmigkeitsgrades
- 39 Gestänge zur Oeffnungsbegrenzung
- 40 Anzeiger der eingestellten Grenzlast
- 41 Handrad zu 39
- 42 Handrad für Drehzahländerung
- 43 Motorfernlantrieb für Drehzahländerung
- 44 Gestänge zur starren Rückführung

Induktivität im einen Stromkreis dar. Ihr Rotor übt bei Verdrehung aus der Nullage ein zunehmendes Gegendrehmoment auf die Reglerwelle 33e aus. Sobald dieses Moment so gross ist wie das resultierende Moment der beiden Messstrommeln, steht die Welle still. Sie nimmt also für jede Frequenz eine bestimmte Gleichgewichtslage ein, was dem Apparat eine statische Charakteristik verleiht. Die Wirkungsweise des Apparates ist grundsätzlich spannungsunabhängig. Nur bei völligem Verschwinden der Spannung würde die Reglerwelle im indifferenten Gleichgewicht stehen bleiben. Dies verhindert das Eigengewicht des Steuergestänges, das so ausgelegt ist, dass die Welle im Schliess-Sinne ein ausreichendes Drehmoment erhält.

Bei einer Laständerung, beispielsweise bei einer Entlastung, verdreht sich die Welle 33e des Reglerkopfes im Sinn des eingezeichneten Pfeiles und lenkt über die Vorsteuernadel 29 den Steuerschieber 28 aus seiner Deckstellung nach unten aus. Der Ringraum auf der rechten Seite des Kolbens 21 kommt dadurch mit dem Ablauf in Verbindung, worauf die Feder 22 die Reglerwelle 24 im Sinne einer Ablenkung der Wasserstrahlen (Ablenker 2) verdreht. Gleichzeitig verschiebt ein mit der Reglerwelle gekuppeltes Gestänge mit elastischen Zwischengliedern 11 über Kurvenscheiben 10 die Steuerschieber 9 der Nadelervomotoren in der Weise, dass der Raum unter den Servomotorkolben 5 mit dem Ablauf und der gegenüberliegende Raum mit der Druckölleitung 12 verbunden werden, worauf die Nadeln unter der zusätzlichen Wirkung von Federn schliessen. Diese Bewegung geht nur langsam vor sich, indem Blenden in den Steuerkanälen den Oeldurchfluss hemmen. Diese sind so eingestellt, dass das vorübergehende Anschwellen des Wasserdrukkes in der Druckleitung in zulässigen Grenzen bleibt.

Die starre Rückführung wird durch den Kolben 34 und das Gestänge 44a und 44b gebildet. Diese Teile werden von der Welle 24 über ein Gestänge und eine schiefe Ebene bewegt und verschieben den rechten Drehpunkt des Reglerhebels 36 im Sinne einer Gegenbewegung zur Auslenkung durch den Reglerkopf. Wäre nur diese Vorrichtung wirksam, so würde

der Drehzahlaussschlag, der infolge einer Entlastung auftritt, in mehreren Schwingungen abklingen. Um diese Schwingungen zu vermeiden, ist eine nachgiebige Rückführung angefügt, die aus dem Kolben 35 besteht und die Rückführbewegung vorübergehend wesentlich verstärkt. Der Kolben 35 wird im Prinzip durch ein Federsystem 46 in seiner Mittellage festgehalten. Bei Bewegungen des Kolbens 34 nimmt ein Oelpolster auch den Kolben 35 mit, so dass sich die beiden Endpunkte des Hebels 36a im gleichen Sinn verschieben. Zugleich aber wird das System 46 in der gleichen Richtung gespannt. Es entsteht so eine der Auslenkung von 35 entgegenwirkende Kraft, die die zusätzliche Rückführung allmählich wieder aufhebt.

Unter der Wirkung der beschriebenen Organe läuft der Regelvorgang z. B. bei einer Lastabschaltung wie folgt ab: Zunächst lenken die Ablenker 2 die Strahlen in wenigen Sekunden wie beschrieben völlig ab. Allmählich schieben sich die Nadeln 4 vor und verringern den Wasserdurchfluss. Mit abnehmender Drehzahl macht sich die Rückführwirkung geltend: Die Reglerwelle dreht sich im Sinne des Oeffnens, die Ablenker 2 treten aus der Strahlzone heraus, und die Nadeln lassen so viel Wasser durchtreten, dass die Rotoren der Maschinengruppe mit der eingestellten Ungleichförmigkeitsgrad entsprechenden höheren Drehzahl umlaufen. Der Ungleichförmigkeitsgrad lässt sich durch Verschieben der Rolle 37, d. h. des Drehpunktes des Hebels 44a verändern, und der eingestellte Wert kann bei 38 abgelesen werden. Zur Veränderung der Drehzahl, bzw. der Belastung bei Parallelbetrieb, dienen das Handrad 42 oder der Motor 43. Bei einer bestimmten Stellung des Kolbens 34 wird über das Hebelwerk 39 die Auslenkung der Vorsteuernadel 29 nach oben begrenzt, so dass die Turbine nicht mehr weiter öffnen kann. Diese Lastbegrenzung lässt sich am Handrad 41 verändern; die jeweiligen eingestellten Grenzlast kann am Anzeiger 40 abgelesen werden. Bei grösseren Lastabschaltungen soll die nachgiebige Rückführung nur begrenzt zur Wirkung kommen, damit sie die Schliessgeschwindigkeit nicht verzögert. Dazu ist im Innern des Kolbens 35 ein Ventil 47 eingebaut,

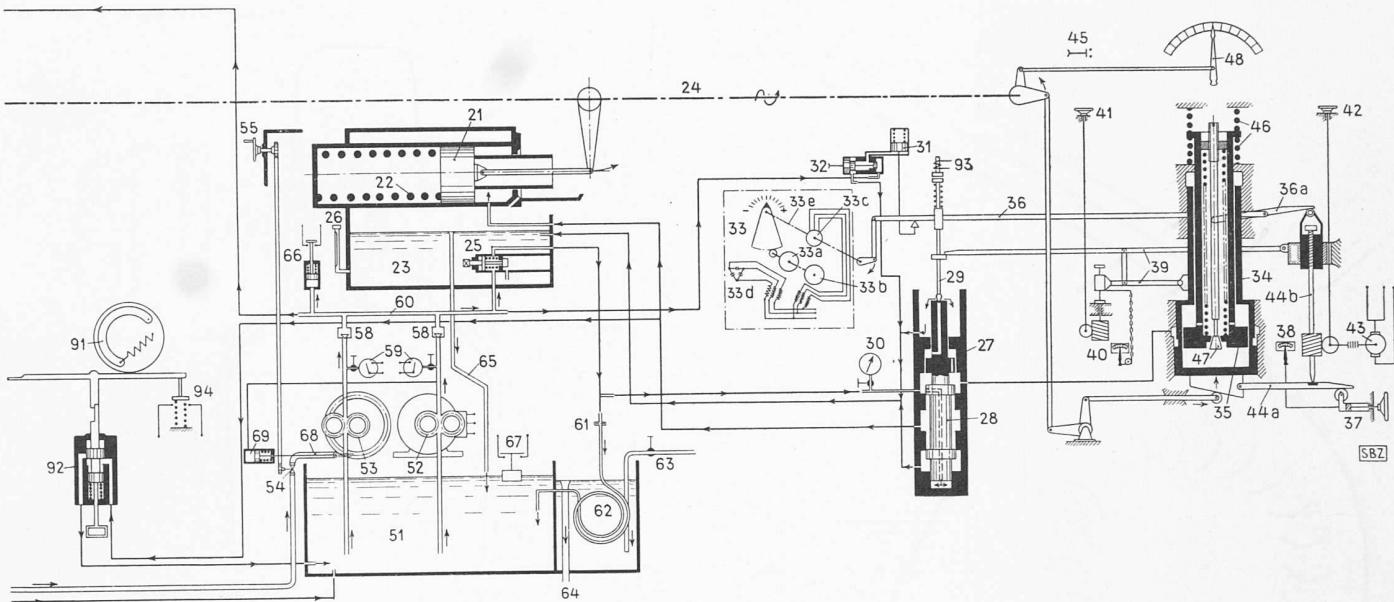


Bild 21. Regulierschema der Turbine

- |    |  |    |                                     |    |   |
|----|--|----|-------------------------------------|----|---|
| 45 | Druckknopf für die Notabstellung der Gruppe      | 58 | Rückschlagventil                    | 78 | Druckwasser-Manometer                             |
| 46 | Federn zur nachgiebigen Rückführung              | 59 | Manometer mit Maximalkontakt        | 79 | Steuerventile                                     |
| 47 | Ventil zur Begrenzung des Druckes im Oel-polster | 60 | Drückleitung                        | 80 | Schliess-Elektromagnet                            |
| 48 | Oeffnungsanzeiger                                | 61 | Blende                              | 81 | Schieber  |
|    |  | 62 | Oelfühler                           | 82 | Doppelfilter                                      |
|    |  | 63 | Eintritt des Kühlwassers            | 83 | Rückschlagventil                                  |
|    |  | 64 | Austritt des Kühlwassers            | 84 | Spülhahn  |
|    |  | 65 | Oel-Ueberlaufleitung                | 85 | Entlüftung  |
|    |  | 66 | Manostat                            | 86 | Bypassleitung zur Entlastung von 76               |
|    |  | 67 | Elektrischer Kontakt des Schwimmers | 87 | Ventil zum Schliessen von 86, wenn 76 geschlossen |
|    |  | 68 | Regulieradel zu 53                  |    |   |
|    |  | 69 | Servomotor zu 68                    |    |   |
|    |  |    |                                     |    | <b>Sicherheitsapparate</b>                        |
|    |  |    |                                     | 91 | Sicherheitsregler                                 |
|    |  |    |                                     | 92 | Oelablassventil                                   |
|    |  |    |                                     | 93 | Elektromagnet                                     |
|    |  |    |                                     | 94 | Schliesskontakt                                   |

das mit einer einstellbaren Feder belastet ist und öffnet, sobald der Oeldruck im oberen Polster einen bestimmten Wert überschreitet.

Die Kämme 10 im Gestänge der Düsenadelregulierung werden so ausgebildet, dass die Ablenker 2 bei allen Belastungen bis auf wenige Millimeter an die Wasserstrahlen heran kommen, so dass sie bei einer Abschaltung sehr rasch zur Wirkung kommen. Soll eine Düse ausser Betrieb gesetzt werden, so unterbricht man die Druckölzufuhr bei 13.

Zum Anfahren wird zunächst die Hilfsturbine 53 durch Öffnen der Druckabschließung 54 in Betrieb gesetzt, so dass Drucköl verfügbar ist. Nun lässt man durch Druck auf

den Knopf 32 Drucköl unter den Kolben 31 treten, worauf sich der Reglerhebel 36 anhebt; die Düsenadeln 4 öffnen sich und die Turbine läuft an. Sobald eine minimale Geschwindigkeit erreicht ist, genügt die im Primärgenerator des Geschwindigkeitsreglers erzeugte Spannung, um die Verstellwelle 33e in der geöffneten Stellung zu halten, worauf der Druckknopf losgelassen werden kann. Nun kann auch durch eine Fernsteuerung der Motor zur Oelpumpe 52 eingeschaltet und die Hilfsturbine 53 abgestellt werden. Die Turbine ist gegen Abfallen des Oeldruckes und Ueberdrehzahl geschützt. Im ersten Fall öffnet beim Absinken oder sogar Fehlen des Oeldruckes in der Leitung zwischen Pumpe 52 und Rückschlagventil 58 der Servomotor 69 dank der Wirkung einer Feder die Düsenadel, wodurch sofort die Hilfspumpe 53 in Betrieb kommt. Wird nachher die Betriebspumpe 52 wieder eingeschaltet, erhält auch der Servomotor 69 auf der Schliessseite Drucköl und die Hilfspumpe 53 wird automatisch wieder ausser Betrieb gesetzt. Bleibt diese Massnahme wirkungslos, so schliessen die Kontaktmanometer 59 einen Hilfsstromkreis, worauf der Magnet 93 über die Vorsteuerung 29 den Steuerschieber 28 auf Schliessen einstellt. Eine zweite Sicherheit besteht darin, dass alle Servomotorkolben durch Schlussfedern belastet sind, die bei absinkendem Oeldruck den Wasserzufluss sperren. Die Schnellschlussvorrichtung 92 verbindet im Notfall den Raum unter dem Kolben 21 mit dem Ablauf, so dass die Feder 22 die Ablenker rasch auf Nullstellung bringt. Sie wird vom Sicherheitsregler 91 oder durch Ausklinken von Hand ausgelöst. Zugleich schliesst der Kontakt 94 den Hilfsstromkreis der Störungsmeldung, die ihrerseits den Magneten 93 zum Abfallen bringt und damit den Steuerventilkolben 28 auf Schliessen steuert. Eine Turbine pro Gruppe ist mit einer Bremsdüse 16 ausgerüstet, die am Handrad 17 betätigt wird. Damit kann die Gruppe in Notfällen rasch stillgesetzt werden.

#### 4. Kühlwasserversorgung

Der Bedarf an Kühlwasser für die beiden Generatoren von 30 000 kVA Leistung und die dazugehörigen Trans-

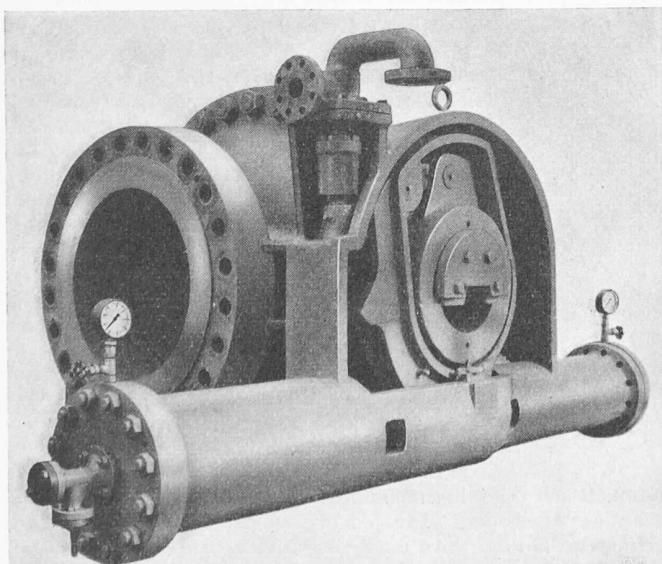


Bild 22. Kugelschieber (geöffnet)

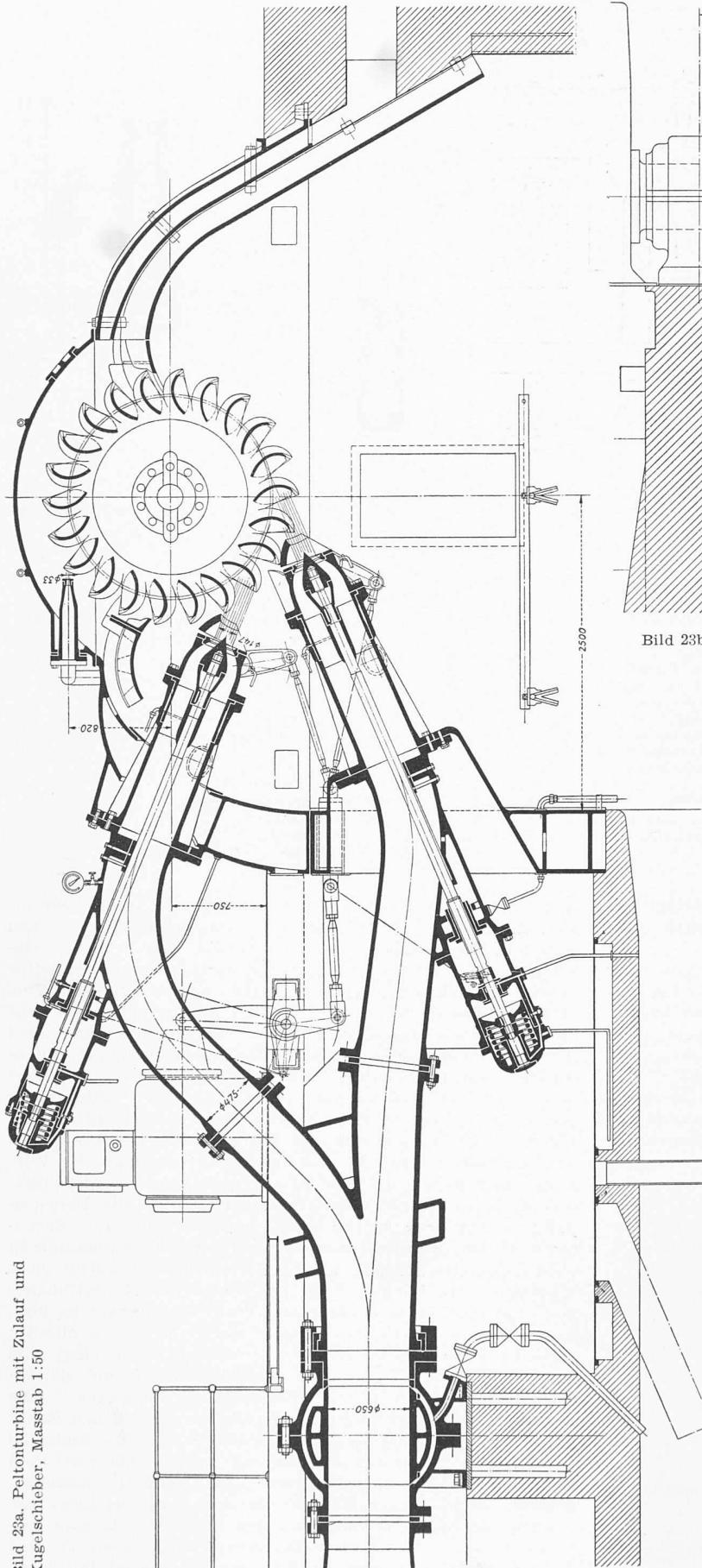


Bild 23a. Pelonturbine mit Zulauf und Kugelschieber, Maßstab 1:50

formatoren beträgt etwa 200 m<sup>3</sup>/h. Das Kühlwasser wird dem Unterwasserkanal entnommen, durchströmt eine Filterkammer mit Feinsieben und wird mit zwei Pumpen für je 80 l/s, wovon eine als Reserve dient, durch eine Ringleitung in die Kühler der Generatoren und Transformatoren ge-

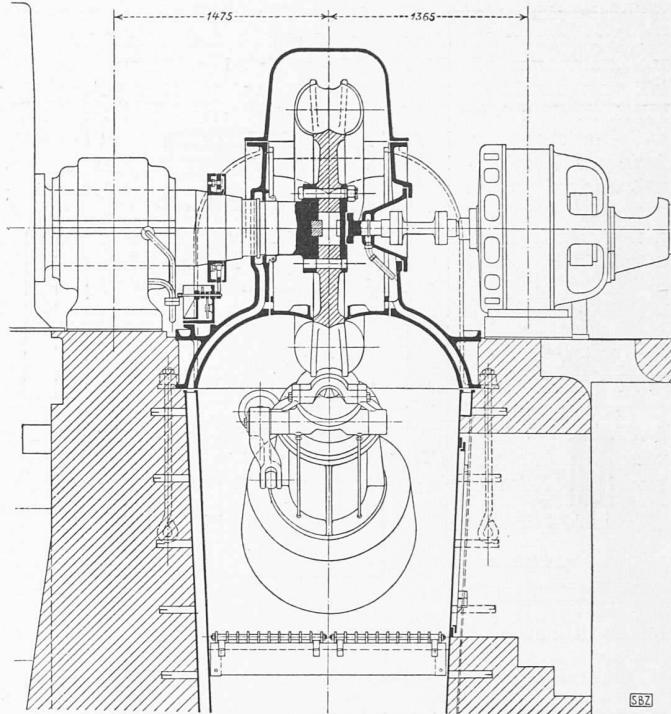


Bild 23b. Pelonturbine von Bell & Cie., Kriens, Maßstab 1:50

pumpt, von wo es wieder ins Unterwasser zurückgelangt. An die erwähnte Ringleitung ist ein Reservoir mit 200 m<sup>3</sup> Inhalt angeschlossen, das im Falle eines längeren Ausfalles der Kühlwasserpumpen über eine besondere Leitung mit eingebautem Druckreduzierventil auch direkt aus der Druckleitung gefüllt werden kann.

#### E. Elektrische Anlagen

##### 1. Generatoren

Die von der Firma AG. Brown Boveri & Cie., Baden, hergestellten Dreiphasen-Wechselstromgeneratoren weisen folgende Hauptdaten auf:

Nennleistung ( $\cos \varphi = 0,7$ )	30 000 kVA
Nennspannung	10 000 V
Frequenz	60 Hz
Drehzahl	514 U/min
Schwungmoment	200 t m <sup>2</sup>
Grösstes Transportstückgewicht (Rotor samt Welle, jedoch ohne Pole)	45 t
Grösstes Montage-Stückgewicht (kompletter Rotor)	62 t

Die Erregermaschine, die Hilfserreger und ein kleiner Hilfsgenerator für die Speisung des Turbinensteuerwerkes sind für jedes Aggregat ausserhalb der einen Turbine an das freie Wellenende angekuppelt. Die Verlustwärme des Generators wird durch ein geschlossenes Kühlungssystem mit wasserdruckflossenen Luftkühlern abgeführt. Diese Kübler werden von der unter D 4 beschriebenen Kühlwasseranlage gespeist.

Den Schutz der Generatoren übernehmen Thermorelais kombiniert mit Maximal-Ueberstromauslösung, Maximal-Spannungsrelais und Differentialstromrelais gegen innere Störungen und Kurzschlüsse. Die Stator- und Rotorwicklungen werden durch Windungsschlussrelais, bzw. Erdschlusschutzrelais, die Kühl Luft- und die Lagertemperaturen durch Thermostaten überwacht. Alle diese Kontrollapparate arbeiten auf Warnrelais, die in drei Gruppen unterteilt sind, nämlich für Gefahrenmeldung, Notauslösung und betriebsmässige Auslösung. Die jedem Generator zugeteilte Brandschutzeinrichtung wird entweder automatisch durch Thermostaten oder von Hand elektrisch bzw. mechanisch ausgelöst. Auf einer in nächster Nähe jeder Maschinengruppe stehenden

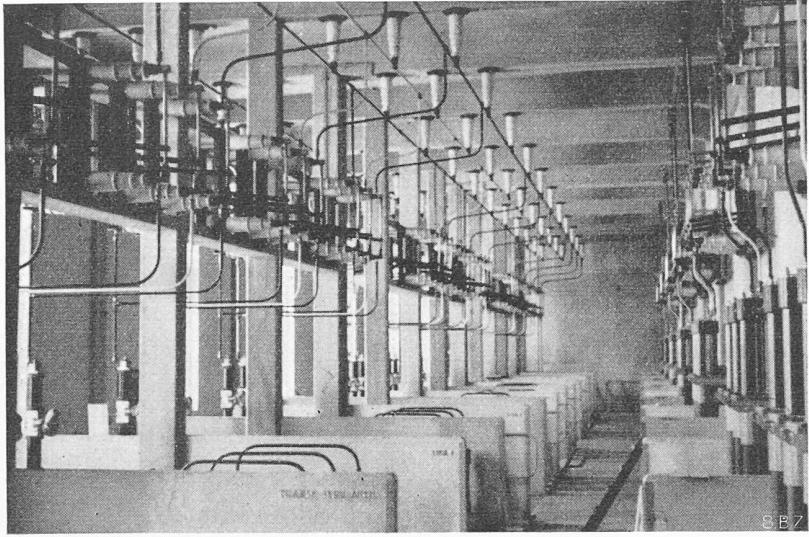


Bild 24. 60 kV-Raum

Schalttafel befinden sich die für eine betriebmässige Ueberwachung der Generatoren erforderlichen Messinstrumente und Warnrelais sowie der Spannungsregler und der dazu gehörende Einstellwiderstand. Im normalen Betrieb werden alle Schalt- bzw. Steuermaenöver auf der Kommandostelle ausgeführt. Das Anlassen der Gruppen aber erfolgt im Maschinensaal, und zwar auf telephonische Anweisung vom Kommandoraum aus.

## 2. Transformatoren- und Schaltanlage

### a) Allgemeines

Die gesamte erzeugte elektrische Energie des Kraftwerks wird über vier Leitungsstränge von etwa 40 km Länge mit 60 kV Uebertragungsspannung an die Stadt Lima und Umgebung abgegeben. Das Schaltschema Bild 25 der Schaltanlage konnte dementsprechend einfach gestaltet und dadurch eine sehr übersichtliche Anordnung erreicht werden.

Die Hochspannungsanlage wurde, wie schon erwähnt, mit Rücksicht auf die lokalen Verhältnisse als Innenraumanlage ausgebildet. Sie liegt, wie aus den Bildern 16 bis 18 hervorgeht, auf der rechten Längsseite des Maschinensaales und auf gleicher Höhe mit diesem. Jeder Generator arbeitet in Blockschaltung mit einer Transformatorengruppe auf die 60 kV-Doppelsammelschienen, von denen die Ueberlandleitungen nach Lima und dem Kraftwerk Juan Carosio abgehen.

### b) Transformatoren

Die jedem Generator zugeordnete Transformatorengruppe besteht aus drei Einphasentransformatoren zu je 10 000 kVA Abgabeleistung mit einem Uebersetzungsverhältnis von 9500/63 000 V bei Vollast und  $\cos \varphi = 0,7$  in der Dreieck/Stern-Schaltung; Kurzschlussspannung 9 %. Jeder Einphasen-Transfomator besitzt angebaute Oelumlaufkühler mit Pumpe. Die Oelkühlung erfolgt durch Wasser. Die Oelkühler können bei reduzierter Belastung ohne Betriebsunterbruch einzeln gereinigt werden. Zur Ueberwachung der

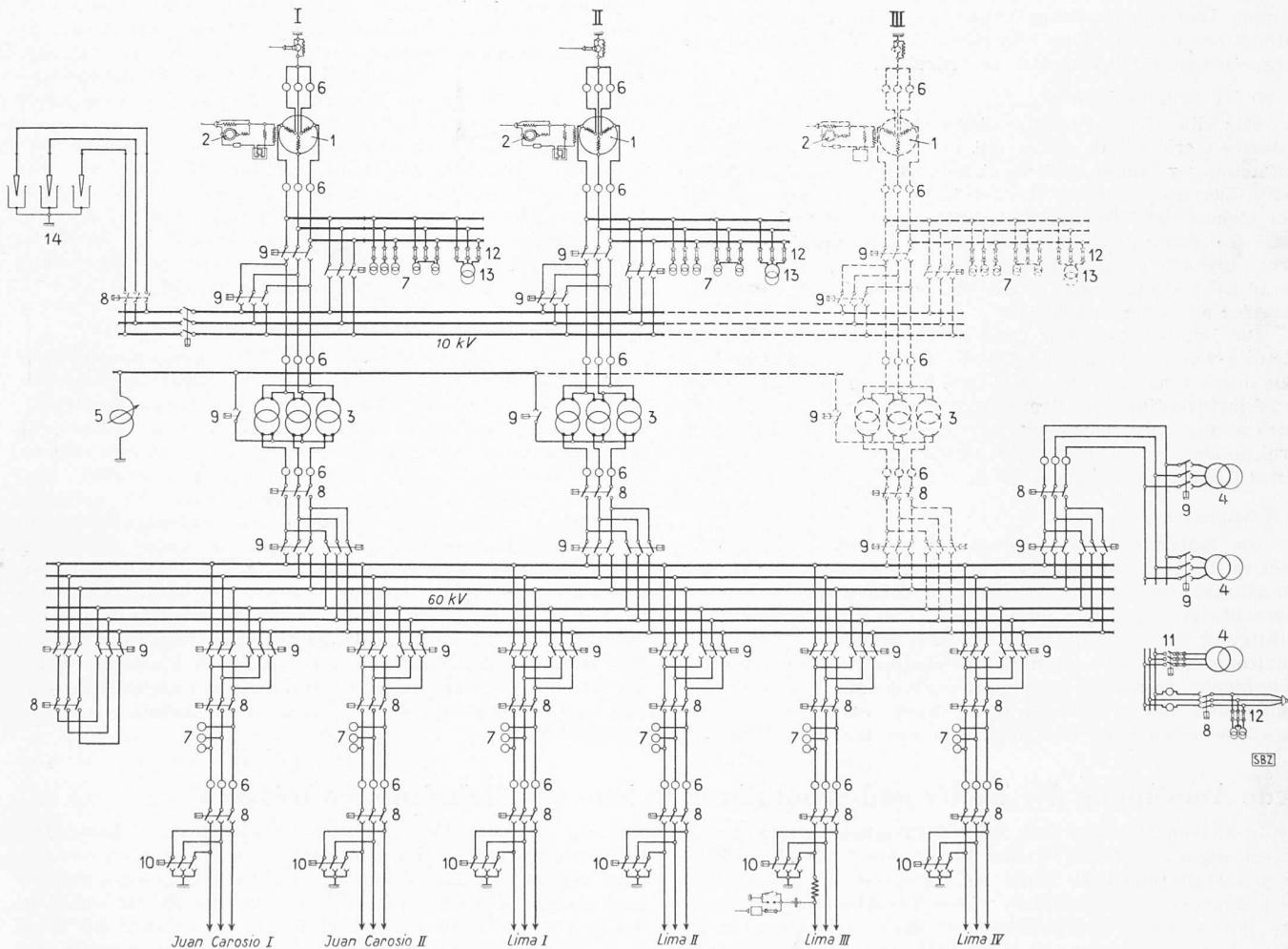


Bild 25. Generelles Schalschema

- 1 Generator
- 2 Erregermaschine
- 3 Haupttransformator
- 4 Transformatoren für Hilfsdienst
- 5 Löschspule für 60 kV-Netz

- 6 Strom-Messwandler
- 7 Spannungs-Messwandler
- 8 Druckluftschalter
- 9 Leitungstrenner mit Druckluftantrieb

- 10 Erdungstrenner mit Druckluftantrieb
- 11 Lasttrenner mit Druckluftantrieb
- 12 Sicherungen
- 13 Transformator für Turbinenregulierung
- 14 Belastungswiderstand

Transformatoren sind diese mit Buchholzschutz und Differentialschutz gegen innere Störungen, ferner mit Kontakt- und Fernmessthermometer sowie mit Wasser-Kontrollapparaten ausgerüstet. Jede Transformatorengruppe ist in einem von der übrigen Anlage getrennten Raum untergebracht. Die Wahl von Einphasen-Transformatoren war durch die Transportverhältnisse gegeben. Das Gewicht eines ölfüllten Transformators beträgt 13,25 t. Sie können auf ihren eigenen Rollen von ihrem Standort auf im Boden verlegtem Gleis unter den Kran im Maschinensaal verbracht werden.

Für den Eigenverbrauch des Werkes sind drei Dreiphasentransformatoren für natürliche Luftkühlung aufgestellt von je 320 kVA Abgabeleistung, von denen zwei ein Uebersetzungsverhältnis von 64 000/235—115 V und der dritte ein solches von 10 300/235—115 V aufweisen.

#### c) 10 kV-Schaltanlage

Sie beschränkt sich auf die zwischen den Generatoren und der Transformatorengruppe liegenden Schalteinrichtungen, die Zuleitung zum Belastungswiderstand und die Installationen für Fremdstrombezug für den Eigenverbrauch. Die 10 kV-Verbindung zwischen Generatoren und Transformatoren ist offen in Kupferschienen erstellt. Ueber eine Hilfschiene können die Generatoren und Transformatoren im Bedarfsfalle mit pneumatisch betätigten Trennern kreuzweise zusammengeschaltet werden. Die 10 kV-Spannungswandler für Mess- und Regulierzwecke und ein Kleintransformator für den Regler-Oelpumpenmotor sind in den Trenner-Zellen der Transformatorengruppen untergebracht. Alle Messwandler sind in Trocken-Isolation und die Stromwandler in kurzschlüssiger Bauart als Stabwandler ausgeführt.

Der für Belastungs- und Regulierversuche der Maschinengruppen erstellte regulierbare Wasser-Belastungswiderstand ist für die Vernichtung einer Leistung von bis 30 000 kW bemessen. Das erforderliche Wasser wird den Druckleitungen entnommen und sein Druck in einem auch für andere Zwecke vorgesehenen Energievernichter reduziert.

#### d) 60 kV-Schaltanlage

Für die Unterbringung dieses Anlageteiles wurde ein Hallenbau erstellt, da keine mit Oel gefüllten Apparate zur Aufstellung gelangen und somit keine Verrußungsgefahr besteht. Der Bau enthält die 60 kV-Schalteinrichtungen für drei Generatoren-Transformatorengruppen, sechs Freileitungen, das Kuppelfeld, die zwei Eigenverbrauchstransformatoren sowie ein Doppel-Sammelschiensystem; außerdem die 10 kV-Installationen für den Fremdstrombezug des Eigenbedarfes ab Zentrale Chosica.

Die Druckluftschalter weisen eine dreiphasige Abschaltleistung von 600 MVA auf. Die 60 kV-Trenner werden ebenfalls durch Druckluft gesteuert. Die Spannungswandler haben Druckluftisolation, die Stromwandler Trockenisolation. Durch eine weitgehende Vermeidung von zusätzlichen Eisenkonstruktionen im Innern wurde ein gefällig wirkendes Aussehen dieses Anlageteiles erreicht (Bild 24).

#### 3. Kommandorium

Die laufende Ueberwachung des Kraftwerkbetriebes erfolgt in der Kommandostelle, die mit freier Sicht in den Maschinensaal im zweiten Stock des Dienstgebäudes untergebracht ist. Alle betriebsmässigen Schaltungen wie Fernbetätigung der Leistungsschalter und Trenner, die Parallelschaltung der 60 kV-Leitungen und Generatoren auf die Sammelschienen, ferner die Spannungs-, Frequenz- und Leistungsregulierung usw. werden an dieser Stelle vorgenommen. Das Parallelschalten kann von Hand oder mit dem Parallelschalt-

apparat automatisch erfolgen. Hinter dem Schaltpult steht die Tafel mit dem Blindschema der Schaltanlage und den darin eingebauten betriebswichtigen Messinstrumenten. Auf der gegenüberliegenden Seite sind die verschiedenen, zum Teil bereits oben erwähnten Schutzeinrichtungen der Generatoren, Transformatoren und Leitungen, ferner der Wasserstandsfern-melder mit Geber im Wasserschloss und die Auslöseapparate der Drosselklappen der Druckleitungen untergebracht. Den Leitungsschutz übernehmen die bewährten Distanzrelais von Brown Boveri. Die Schalttafeln der Gleich- und Wechselstrom-Hilfsbetriebe und die Energiemesseinrichtungen sind vom Schaltpult aus nicht direkt sichtbar.

#### 4. Hilfsdienste

Zur Sicherstellung der Stromversorgung des Eigenbedarfes kann im Bedarfsfalle über eine 10 kV-Leitung Energie vom naheliegenden Kraftwerk Santa Rosa in Chosica bezogen werden. Die hiefür nötigen 10 kV-Installationen befinden sich in der Halle der 60 kV-Anlage. Auch die Organe im Wasserschloss werden von dieser 10 kV-Anlage aus mit Energie versorgt. Auf dem dorthin führenden Leitungsgestänge liegt im Sicherheitsabstand ein sich selbst tragendes Telephon- und Signalkabel, das unter anderem auch zur Auslösung der Drosselklappen der Druckleitung dient.

Als Gleichstromquelle ist eine Akkumulatorenbatterie mit einer Kapazität von 216 Ah für 130 V Spannung vorhanden. Ein Selengleichrichter gestattet Dauer- und Raschladung der Batterie. Ausser den Steuer- und Signalkreisen ist auch die Notbeleuchtung an der Akkumulatorenbatterie angeschlossen. Bei Störung im Wechselstromkreis wird die Notbeleuchtung automatisch auf die Batterie umgeschaltet.

Eine auf der Kommandostelle untergebrachte Zentraluhr sorgt für synchronen Gang aller im Werk angeschlossenen Nebenuhren und eventuell später für einen gleichlaufenden Vorschub der Registrierinstrumente. Für die Beschaffung der zur Betätigung der Trenner und Schalter erforderlichen Druckluft sind zwei Kolbenkompressoren mit zwei Luftbehältern aufgestellt. Alle pneumatisch betätigten Apparate arbeiten mit Druckluft von 12 bis 14 atü.

Zur Erreichung einer sicheren, werkeigenen Telephonverbindung wurde zwischen dem Werk und dem Zentrum der Energieverteilung in Lima, der Zentrale Santa Rosa, eine leitungserichtete Hochfrequenz-Telephonverbindung erstellt, die im Werk an den handbetätigten Vermittlerschrank der Hausteophonanlage angeschlossen ist; sie weist dort auch einen Anschluss an das öffentliche Telephonnetz auf.

#### F. Montage der elektromechanischen Anlagen

Für die Montage der elektromechanischen Anlagen standen aus leichtverständlichen Gründen nur sehr wenige erfahrene Leute der schweizerischen Lieferfirmen zur Verfügung, so für den hydraulischen Teil ein Mann der Firma Bell und für die elektrischen Anlagen vier Monteure der Firma Brown Boveri. Dazu kamen noch etwa sechs junge Europäer, meistens Schweizer mit abgeschlossener Lehrzeit, die auf dem Platz Lima engagiert worden waren. Das Hilfspersonal setzte sich im übrigen aus Peruanern zusammen, unter denen sich auch verschiedene tüchtige Mechaniker und Installateure befanden. Die Leitung der Montage lag in den Händen der Electro Peruana S.A., die in Peru die Vertretung der Firmen Brown Boveri und Bell inne hat. Mit dieser Organisation dauerte es, vom Montagebeginn an gerechnet, rd. fünf Vierteljahre, bis die erste Maschinengruppe Strom nach Lima abgeben konnte, und ein weiteres halbes Jahr, bis auch die zweite Gruppe in Betrieb kam.

## Neue Anordnung der Zähler und Schaltuhren in Ein- und Mehrfamilien-Häusern

DK 696.6

In älteren Häusern fehlt oft ein geeigneter Platz für die Unterbringung der Zähler und Schaltuhren für die elektrischen Installationen. Es bleibt dann nichts anderes übrig, als diese schwarzen, unfreundlich wirkenden Apparate an irgend eine Wand des Treppenhauses oder der Korridore zu montieren. Der eine oder andere Hauseigentümer hat später einen Kasten um die Schalttafel herumgebaut, um so das Ganze zu verstecken. Im Prinzip die gleiche Lösung trafen alsdann viele Architekten, indem sie besonders in Miethäusern, sei es im Treppenhaus oder im Korridor, Wandkästen einbauten, in denen die Messapparate Platz fanden.

Diese scheinbar gute Anordnung erweist sich indessen

für das Personal der Werke keineswegs als ideal. Die Schränke werden oft mit Gerümpel vollgestopft, den die Ableser zuerst wegräumen müssen, um die Instrumente ablesen zu können. In Einfamilienhäusern sind die Zähler meist in die Keller- und Estrichräume verbannt, wo es aber mit ihrer Zugänglichkeit auch nicht immer am besten bestellt ist. Während der Ableser am einen Ort auf Leitern und Kisten zu steigen hat, muss er am andern in fast kriechender Stellung zu den Apparaten vordringen. Wenn sich auch die Verhältnisse dank dem Entgegenkommen der Hauseigentümer und der Architekten nach und nach ganz wesentlich gebessert haben, so muss man trotz allem noch viele Mängel feststellen.