

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 72 (1954)  
**Heft:** 17

**Artikel:** Die Peltonturbinen des Kraftwerkes Pouget  
**Autor:** Ateliers des Charmilles SA  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-61175>

### **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:** 14.03.2025

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

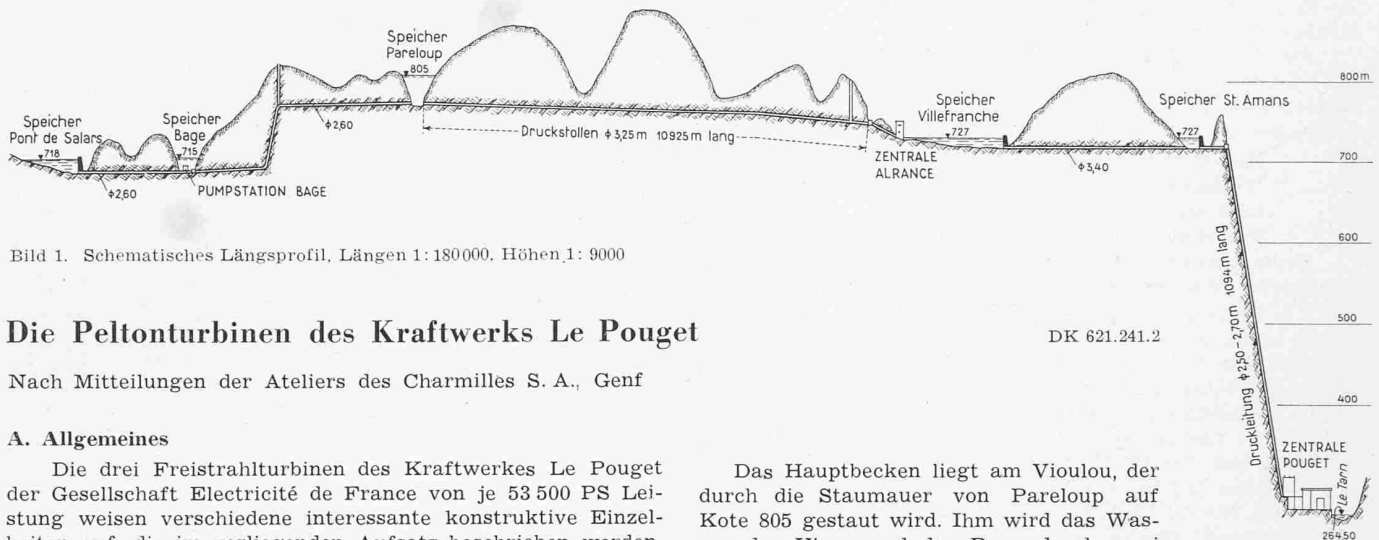


Bild 1. Schematisches Längsprofil, Längen 1:180000, Höhen 1:9000

## Die Peltonturbinen des Kraftwerks Le Pouget

DK 621.241.2

Nach Mitteilungen der Ateliers des Charmilles S. A., Genf

### A. Allgemeines

Die drei Freistrahlturbinen des Kraftwerkes Le Pouget der Gesellschaft Electricité de France von je 53 500 PS Leistung weisen verschiedene interessante konstruktive Einzelheiten auf, die im vorliegenden Aufsatz beschrieben werden. Diese Turbinen wurden durch die Arbeitsgemeinschaft Alsthom-Charmilles geliefert, in der die Ateliers des Charmilles S. A., Genf, sämtliche Studien und Pläne sowie einen Teil der Ausführung übernahmen, während der andere Teil durch die Société Générale de Constructions Electriques et Mécaniques Alsthom in Belfort besorgt wurde. Jede Turbine ist mit einem Alsthom-Generator von 42 500 kVA starr gekuppelt, wobei dank einer sehr engen Zusammenarbeit zwischen Turbinen- und Generatorherstellern ein besonders gedrängtes Aggregat entstanden ist.

Das Kraftwerk Le Pouget befindet sich am rechten Ufer des Flusses Tarn, einige Kilometer flussaufwärts von St. Affrique (Dept. de l'Aveyron) entfernt. Es nützt das Wasser von vier Bächen (Viour, le Bage, le Vioulou und l'Alrance) aus, das in künstlichen Seen gespeichert wird (Bilder 1 und 2). Die einzelnen Becken sind durch ein Stollensystem von insgesamt 25 km Länge miteinander verbunden.

Das Hauptbecken liegt am Vioulou, der durch die Staumauer von Pareloup auf Kote 805 gestaut wird. Ihm wird das Wasser des Viour und des Bage durch zwei Pumpengruppen von je 7 m<sup>3</sup>/s Fördermenge und 9500 PS Leistungsbedarf bei 62 bis 100 m Förderhöhe zugeführt. Die Pumpstation befindet sich am Fuss der Staumauer des Bage. Die Ausnützung findet in zwei Stufen statt. Die Zentrale von Alrance, die zur oberen Stufe gehört, ist mit einer vertikalachsigen Franzisturbine ausgerüstet, die eine Wassermenge von 24 m<sup>3</sup>/s bei einem Bruttogefälle von 78 m verarbeitet und mit einem Drehstromgenerator von 14 500 kVA gekuppelt ist. Ihr Betriebswasser ergießt sich in das Staubecken von Villefranche am Alrance, von wo es über das Aus-

Tabelle 1. Hauptdaten der Speicher

Speicher		Pont Salars	Bage	Pareloup	Alrance
Oberfläche	km <sup>2</sup>	186	35	160	43
Jahresabfluss	Mio m <sup>3</sup>	119	22	101	28
mittl. Menge	m <sup>3</sup> /s	3,8	0,7	3,2	0,9
Stauziel	m	718	715	805	727
max. Höhe	m	35	27	42	17
Nutzinhalt	Mio m <sup>3</sup>	14,5	3,1	170	9,0
Betonkubatur	m <sup>3</sup>	35 500	12 850	43 000	31 500

Tabelle 2. Energieproduktion der einzelnen Zentralen

Zentrale		Pumpstat Bage	Alrance	Le Pouget	Total
max. Leistung	kW	14 000	12 000	110 000	136 000
mittl. Jahresproduktion	Mio kWh	— 41	32	269	260
Speicherenergie	Mio kWh	—	20	269	289

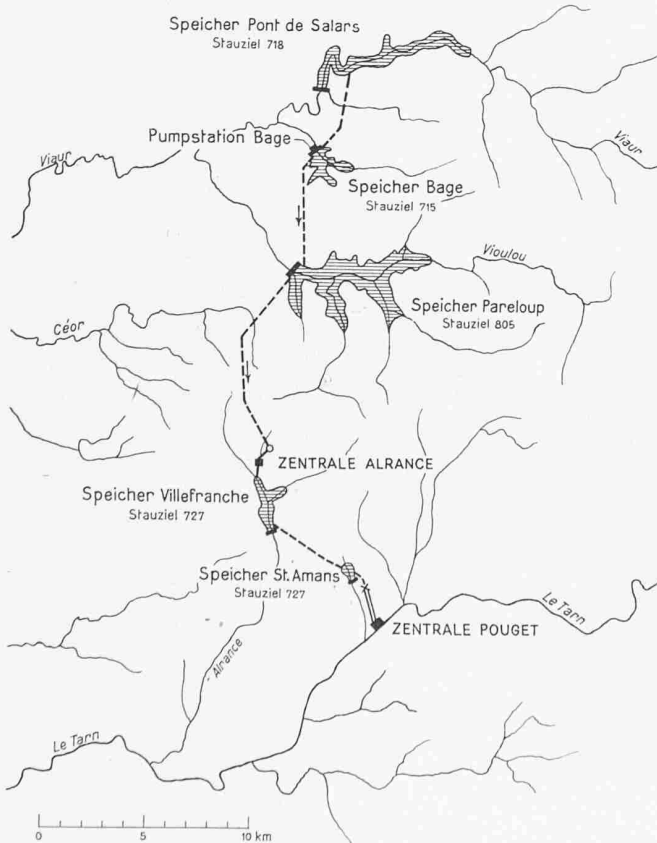


Bild 2. Lageplan 1:350000

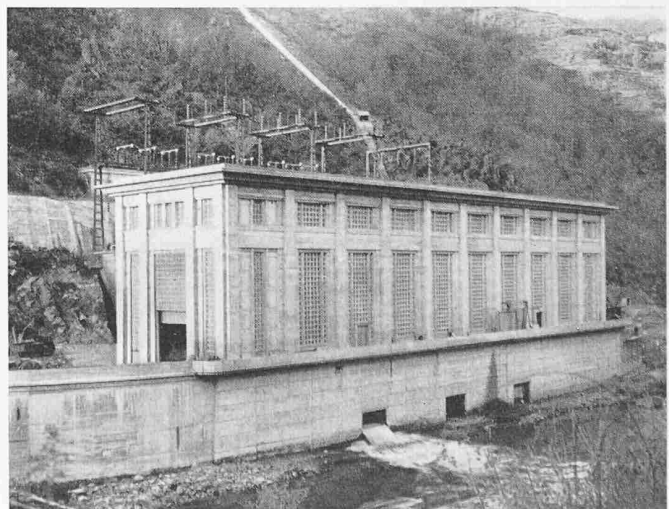


Bild 3. Die Zentrale des Kraftwerkes Le Pouget am Tarn

gleichbecken von St. Amans der Zentrale Le Pouget zufließt. Tabelle 1 gibt die Hauptdaten der Speicher, Tabelle 2 einige Angaben über die mittlere Jahresproduktion.

Die drei vertikalen Pelton-turbinen der Zentrale Le Pouget sind mit je zwei Düsen ausgerüstet; jede Turbine ist für folgende Hauptdaten konstruiert worden:

Nettogefälle	443 m
Wassermenge	10,27 m <sup>3</sup> /s
Leistung	53 500 PS
Drehzahl	300 U/min

Bemerkenswert ist hier vor allem die hohe spezifische Wassermenge pro Düse (bezogen auf 1 m Gefälle) von  $Q_1 = Q/\sqrt{H} = 244$  l/s. Sie ergibt einen Strahldurchmesser von 270 mm. Man fragt sich, ob hier nicht Francisturbinen eher am Platze gewesen wären. Tatsächlich haben diesbezüglich Studien gezeigt, dass sich mit dieser Turbinenart unter Annahme einer Drehzahl von 750 U/min vorteilhafte Verhältnisse ergeben hätten, wobei allerdings die Laufräder mit Rücksicht auf die Kavitation unter einem gewissen Gegendruck hätten gehalten werden müssen. Im Zetpunkt, da die Maschinengruppen an Alsthom-Charilles bestellt wurden, bot aber die Beschaffung der für Hochdruck-Francisturbinen der fraglichen Grösse erforderlichen Gusstücke aus Spezialstahl noch erhebliche Schwierigkeiten. Hauptsächlich mit Rücksicht auf den Liefertermin entschied man sich schliesslich zur Ausführung der Variante mit Pelton-turbinen.

Die erste Maschinengruppe kam Ende 1951 in Betrieb. Die bisherigen Betriebsergebnisse lassen erkennen, dass die Leistung beim Nenngefälle reichlich überschritten ist. Aus den Bildern 5 und 6 ist ersichtlich, dass man bei der Konstruktion bestrebt war, den ganzen Maschinensatz zu einem möglichst kompakten Ganzen zusammen zu drängen. Die von der Firma Alsthom gelieferten Generatoren sind mit innerer Umwälzung der Kühlluft und in den Luftstrom eingebauten Luftkühlern versehen. Der Stator mit den Luftkanälen wird von einer Blechverschalung umschlossen, die auf einem wenig über den Maschinensaal-Fussboden hinaufragenden Sockel ruht. Das Gewicht des Stators und sämtlicher rotierender Teile stützt sich über einen kräftigen konischen Stützring aus Blech, Bild 9, auf einen am Turbinen-Gehäuse angebrachten Tragring ab. Der Generatorrotor ist für die Durchbrenndrehzahl der Turbine von 560 U/min gebaut und weist ein Schwungmoment von 1350 t/m<sup>2</sup> auf.

## B. Beschreibung der Turbinen

Aus den Bildern 5 und 6 erkennt man die Gesamtanordnung mit den beiden einander diametral gegenüberliegenden Düsen, dem kräftigen, im wesentlichen aus Stahlblech durch Schweissung hergestellten Gehäuse 3, dem konischen Stützring 4 und dem über dem Generator 5 angeordneten Spurlager 6. Die ganze Stützkonstruktion hat nicht nur die Gewichte, sondern auch das Kurzschluss-Drehmoment des Generators zu übertragen und ist dementsprechend ausgebildet. Das Turbinengehäuse (Bild 4) besteht mit Rücksicht auf den Transport aus mehreren Teilen, die mit Mutterschrauben zusammengehalten werden. Der im Grundriss angenähert quadratische Gehäusekörper weist am untern Flansch eine Seitenlänge von 8,75 m und eine Höhe von 3,6 m auf; er wiegt rd. 100 t. Er ist durch Rippen verstärkt und mit Ausnahme der Einführungsstücke für die Düsen fest ein-

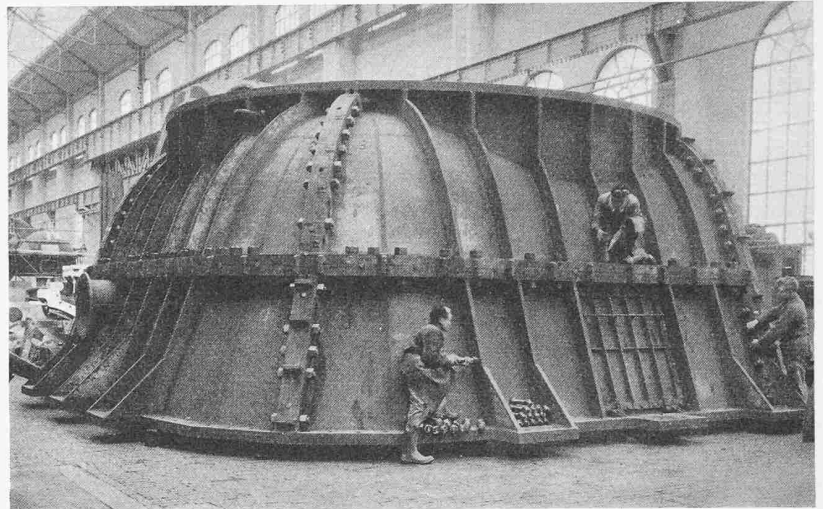


Bild 4. Turbinengehäuse (Werkstattaufnahme)

betoniert. Diese Stücke bestehen aus Stahlguss. Sie weisen eine verhältnismässig komplizierte Form auf und haben bedeutende Kräfte zu übertragen. Durch das Einbetonieren erhält die ganze Gruppe die erforderliche Stabilität und Sicherheit gegen Vibrationen.

Das Turbinenrad 1 besteht aus manganhaltigem Spezialstahlguss, weist 20 Schaufeln auf und wiegt rd. 21 t. Sein Aussendurchmesser beträgt 3760 mm, die grösste Breite einer Schaufel, gemessen über beide Becken, 860 mm. Es ist durch Bolzen mit der untern Kupplungsscheibe der Welle verbunden; ein Transversalkeil 9 übermittelt das Drehmoment. Ohne Zweifel stellt die Herstellung eines so grossen und komplizierten Rades sehr hohe Anforderungen an die Stahlgießerei; die gelieferten Stücke entsprachen diesen Anforderungen in weitgehendem Masse. Trotzdem bedeutete die Bearbeitung der

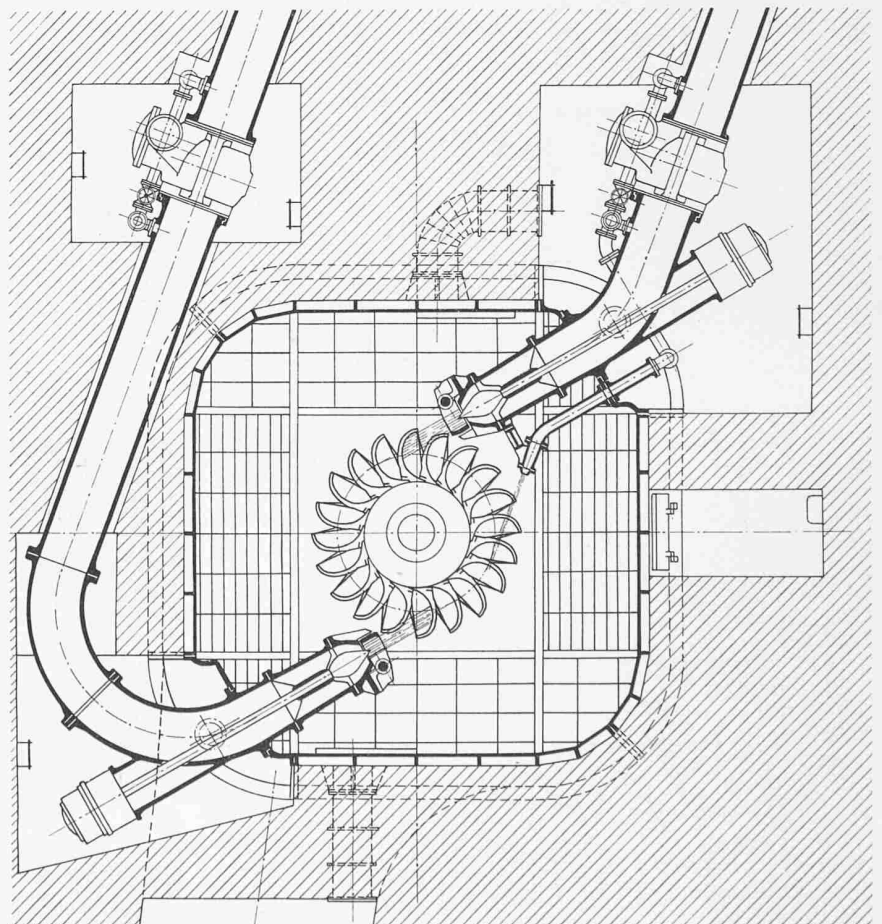


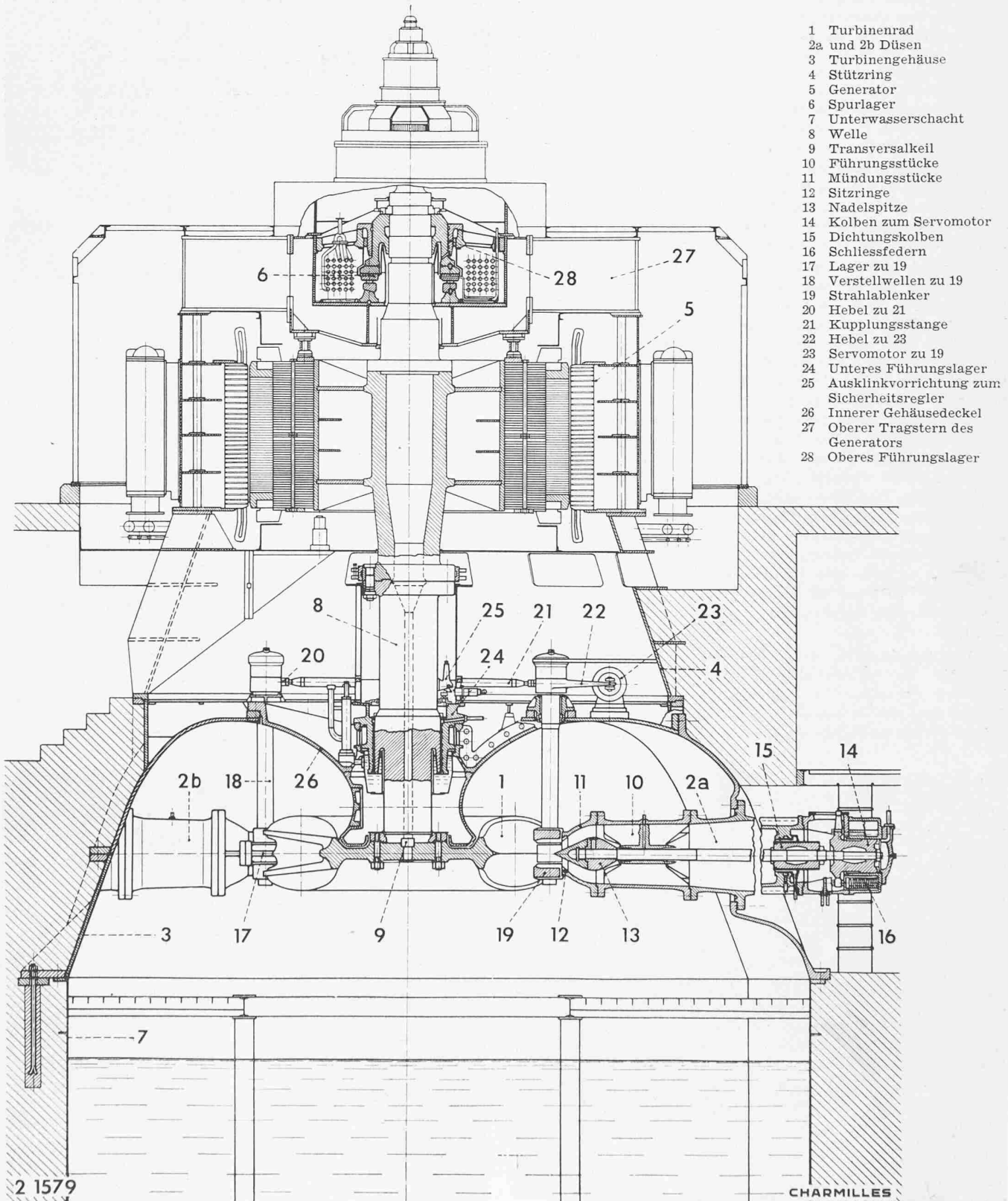
Bild 5. Horizontalschnitt durch die Turbine

wasserbespülten Oberflächen einen grossen Aufwand, mussten doch pro Rad durch Schleifen und Polieren insgesamt rund 0,5 m<sup>3</sup> Material weggearbeitet werden! Die durch die Wasserstrahlen besonders hochbeanspruchten Mittelkanten der Schaukeln sind durch Aufschweissen von rostfreiem Stahl mit 18 % Chrom und 8 % Nickel aufgewertet worden.

Zur Demontage des Laufrades wird zunächst die Schraubenverbindung mit der Kupplungsscheibe gelockert und dann Keil 9 entfernt. Nun kann durch die hohle Welle eine aus mehreren Teilen zusammengesetzte Stange mit dem Kran abgesenkt werden, bis ihr unteres Ende aus der Radnabe unten austritt. Man befestigt alsdann dort eine Gegenplatte an der

Stange, auf die sich das Rad beim Lösen der Befestigungsschrauben abstützt. Ueber dem Unterwasserspiegel ist ein Montagerost angebracht (Bild 7), den man im mittleren Teil durch eine Brücke ergänzt. Auf dieser Brücke kann ein Montagewagen unter das Rad geschoben werden, auf den man das Rad absenkt und festschraubt. Der Wagen wird nun unter eine im Fussboden ausgesparte Montageöffnung gefahren, durch welche Wagen und Rad mit dem Kran hochgehoben und am gewünschten Ort im Maschinensaal abgesetzt werden können.

Den Düsen sind, wie aus dem Grundriss, Bild 5, zu sehen ist, verhältnismässig lange Führungsstücke vorgeschaltet, um die durch die Rohrkrümmer und Abzweigungen ver-



- 1 Turbinenrad
- 2a und 2b Düsen
- 3 Turbinengehäuse
- 4 Stützring
- 5 Generator
- 6 Spurlager
- 7 Unterwasserschacht
- 8 Welle
- 9 Transversalkeil
- 10 Führungsstücke
- 11 Mündungsstücke
- 12 Sitzringe
- 13 Nadelspitze
- 14 Kolben zum Servomotor
- 15 Dichtungskolben
- 16 Schliessfedern
- 17 Lager zu 19
- 18 Verstellwellen zu 19
- 19 Strahlableiter
- 20 Hebel zu 21
- 21 Kupplungsstange
- 22 Hebel zu 23
- 23 Servomotor zu 19
- 24 Unteres Führungslager
- 25 Ausklinkvorrichtung zum Sicherheitsregler
- 26 Innerer Gehäusedeckel
- 27 Oberer Tragstern des Generators
- 28 Oberes Führungslager

Bild 6. Vertikalschnitt durch eine Maschinengruppe

ursachten Störungen der Strömung wirkungslos zu machen und so einen kompakten Strahl zu erhalten. Dem selben Zweck dienen auch die Führungsrippen, die die Bronzeführungen der Regulierspindeln tragen. Die Führungsstücke 10 (Bild 6) bestehen aus Stahlguss, die auswechselbaren Mündungsstücke 11 aus rostfreiem Stahl. Die Regulierspindeln sind im Führungsbereich mit Messingbüchsen überkleidet, so dass keine Oxydation möglich ist. Sie sind mit zweckentsprechenden Schmier- vorrichtungen versehen und tragen am einen Ende die zweiteilige Reguliernadel 13 und am andern einen Kolben 14, dessen Stirnfläche durch den Druck des Regelöls belastet ist. Weiter wirken im Sinne des Schliessens die resultierende Kraft von sechs seitlich angeordneten Federn 16 von insgesamt 23 t. Im Sinne des Oeffnens wirken die Kraft des Wasserdruckes auf die Fläche des Kolbens 15 sowie diejenige des Wasserdruckes auf die Nadel. Die Flächen sind so bemessen, dass eine Oeffnungskraft von rd. 10 t durch den Regelöldruck auszugleichen ist. Somit ist die Anordnung so getroffen, dass die Nadeln bei zufälligem Abfallen des Regelöldruckes selbsttätig öffnen, so dass in einem solchen Fall das Auftreten eines Druckstosses in der Rohrleitung ausgeschlossen ist.

Die Düsen tragen die Lager 17 für die Strahlableiter 19, die durch die vertikalen Wellen 18 und ein durch die Hebel 20 und 22 und die Kuppelstange 21 gebildetes Gestänge von einem Servomotor 23 aus betätigt werden. Die Wirkungsweise dieser Strahlableiter soll später beschrieben werden.

Das untere Führungslager 24 der Hauptwelle weist einen Durchmesser von 850 mm auf. Es trägt unten eine Oelwanne, deren innerer Rand in eine aus der Welle herausgedrehte Rinne weit über das untere Lagerende hinaufreicht. In der Tragfläche sind schraubenförmige Schmiernuten ins Weissmetall eingeschnitten, durch die das Schmieröl beim Betrieb hoch steigt, so dass die ganze Höhe der Tragfläche mit Oel versorgt wird. Kühlschlangen aus Kupfer, die unmittelbar unter der Lauffläche angeordnet sind, dienen zum Abführen der Reibungswärme. Der Oelumlaufl kann an einem besondern Strömungsanzeiger kontrolliert werden. Weiter lässt ein Schwimmer mit Uebertragungsgestänge den Oelstand jederzeit erkennen. Das Führungslager ruht im Deckel 26 des Turbinengehäuses, der aus Stahlguss besteht. Dieser Deckel ist derart ausgebildet, dass er das von den Laufradschaufeln nach oben austretende Wasser auffängt und nach aussen ableitet, ohne dass es dabei das Laufrad oder die Strahlen aus den Düsen berührt. Unmittelbar über dem Führungslager 24 befindet sich der Sicherheitsregler 25 mit der Ausklinkvorrichtung.

Das Spurlager 6 ist mit dem oberen Führungslager 28 kombiniert und befindet sich unmittelbar über dem Generator. Es ist sehr reichlich dimensioniert, da auch schon beim Anfahren die volle Belastung aufzunehmen ist. Es ist von der üblichen Charmilles-Konstruktion mit elastisch-beweglichen

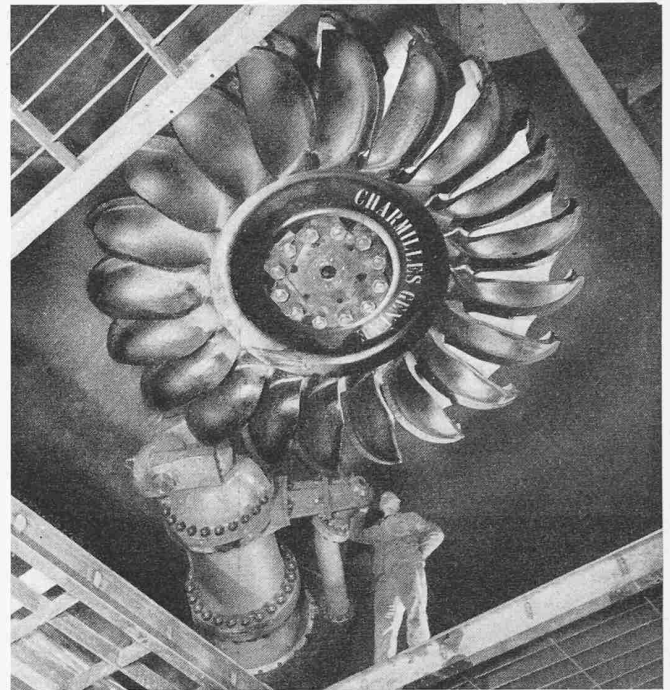


Bild 7. Turbinenrad mit Düse, gesehen von unten

Tragsegmenten, die gemeinsam kugelig gelagert sind. Im umgebenden Oelbad sind reichlich bemessene Kühlschlangen eingebaut.

Jeder Düse ist ein Kugelschieber vorgeschaltet, der durch je eine Umleitung überbrückbar ist und durch einen Servomotor betätigt wird. Von der einen Umleitung führt eine Druckwasserleitung zur Bremsdüse, die sowohl automatisch als auch von Hand betrieben werden kann (Bild 5).

### C. Die Regelung

Zur Erleichterung der Betriebsführung sind die Turbinengruppen in der Zentrale Le Pouget mit vollautomatischen Regulierungen ausgerüstet, die so ausgebildet sind, dass die Inbetriebsetzung bis zur Lastaufnahme und das Stilllegen lediglich durch Betätigen von Druckknöpfen vollzogen werden können. Die einzelnen zu diesem Zweck erforderlichen Operationen sind elektrisch derart miteinander verkettet, dass sich diese Operationen in bestimmter Reihenfolge nacheinander vollziehen und dass jeweilen nach Abschluss der einen Operation die nächstfolgende zwangsläufig eingeleitet wird. Die Electricité de France verlangte eine Handbetätigung von

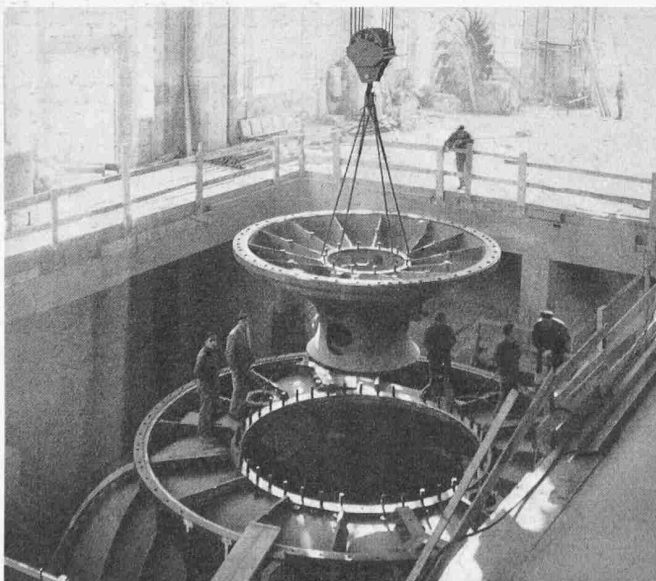


Bild 8. Montage des inneren Gehäusedeckels

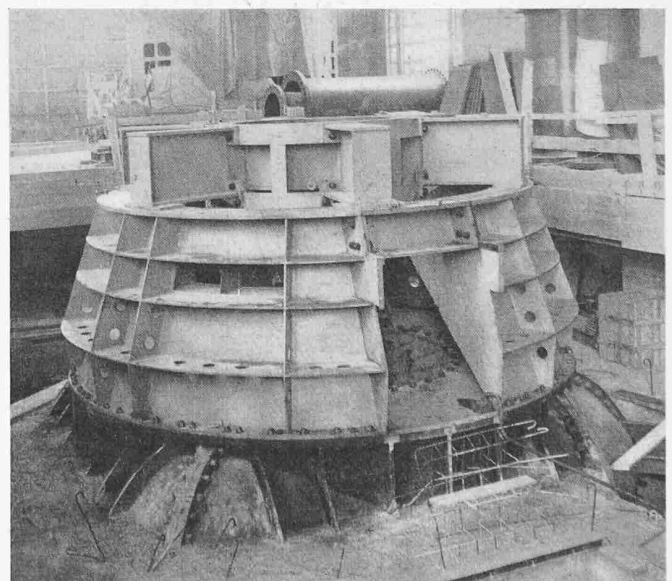


Bild 9. Stützring, darunter das teilweise einbetonierte Gehäuse

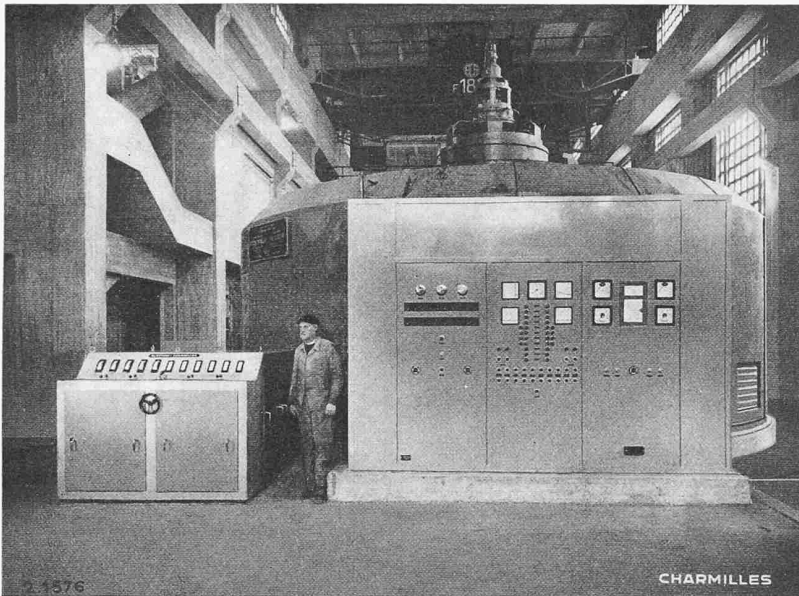


Bild 10. Generator, davor zugehöriger Gruppenschaltschrank, links Drehzahlregler

der Schalttafel aus, die wiederum so verriegelt sein musste, dass jeder mögliche Fehlgriff ohne Folgen bleibt. Die Verwirklichung dieses Begehrens machte Massnahmen zum Aufheben der elektrischen Automatik nötig und erschwerte die Lösung des Gesamtproblems. Schliesslich wurde gefordert, dass jedes hydraulisch-mechanische Relais unmittelbar von Hand betätigt werden könne, wenn je eine Störung in den Betätigungsstromkreisen der elektrischen Automatik vorkommen sollte. Dabei sollen diese Relais von Hand in die gewünschten Stellungen verbracht werden können, wo sie automatisch verriegelt werden; ferner wird die Verriegelung nach Beheben der Störung automatisch wieder gelöst. Nachfolgend soll eine kurze Beschreibung der Art und Weise, wie diese Aufgabe gelöst wurde, gegeben werden. Im zugehörigen vereinfachten Schema Bild 15 wurden die zahlreichen Apparate und elektrischen Relais, die der Verkettung der Betäti-

gungen dienen, weggelassen. Die Regulierung erfolgt in bekannter Weise durch Düsenadeln und Ablenker. Die beiden Nadeln  $P_1$  und  $P_2$  einerseits und die beiden Ablenker  $A_1$  und  $A_2$  andererseits werden immer gleichzeitig betätigt, da man darauf verzichtet hat, eine Turbine nur mit einem Strahl zu betreiben.

Da es sich hier um Wasserstrahlen von sehr grossem Durchmesser handelt, und die Verstellkräfte der Nadeln sehr bedeutende Werte aufweisen, wurde jede dieser Nadeln mit ihrem eigenen Servomotor  $S_{mp1}$  und  $S_{mp2}$  versehen. Dabei ist die Anordnung so getroffen, dass die Regulierung zunächst auf die Nadel  $P_1$  wirkt, während die Nadel  $P_2$  den Bewegungen der Nadel  $P_1$  genau nachfolgt. Dagegen werden die beiden Ablenker  $A_1$  und  $A_2$  unmittelbar durch den einzigen Reglerservomotor  $S_{md}$  betätigt, mit dem sie durch ein entsprechendes Gestänge verbunden sind; diese Anordnung ist sehr wohl zulässig, da die Stellkräfte für die Ablenker verhältnismässig gering sind.

Die Rückführung zwischen den Nadeln  $P_1$  und  $P_2$  und den Ablenkern  $A_1$  und  $A_2$  erfolgt über die unrunderen Scheiben  $K_1$  und  $K_2$ , die bezwecken, die Schneidekante der Ablenker in unmittelbarer Nähe des Strahls zu halten, welches auch die Oeffnung der Düse sein mag, damit im Falle einer Entlastung der Turbine der Strahl sofort abgelenkt werde.

Bild 13 zeigt das Schema der Oelförderungsanlage. Eine Schraubenpumpe  $P_{o1}$ , die durch einen Asynchron-Motor angetrieben wird, saugt das Oel aus dem Behälter  $R_{v1}$  über einen Filter  $F$  und einen Kühler  $K_o$  und fördert es in einen Windkessel  $W_1$ , der die ganze Regulieranlage durch die Rohrleitung  $N_1$  speist. Das am Anfang dieser Leitung eingebaute Isolierventil  $D_R$  wird beim Stilllegen der Gruppe automatisch geschlossen. Das nicht benützte Drucköl fliesst durch das Abblaseventil  $E_o$  in den Behälter zurück. Zugleich hält dieses Ventil den Förderdruck der Pumpe  $P_{o1}$  konstant. Ein Rückschlagventil  $E_R$  verhindert, dass das im Windkessel enthaltene Drucköl zur Pumpe zurückfliessen kann. Durch Verwendung des Windkessels  $W_1$  wird erreicht, dass die Fördermenge der Pumpe  $P_{o1}$  wesentlich kleiner ist als die Oelmenge,

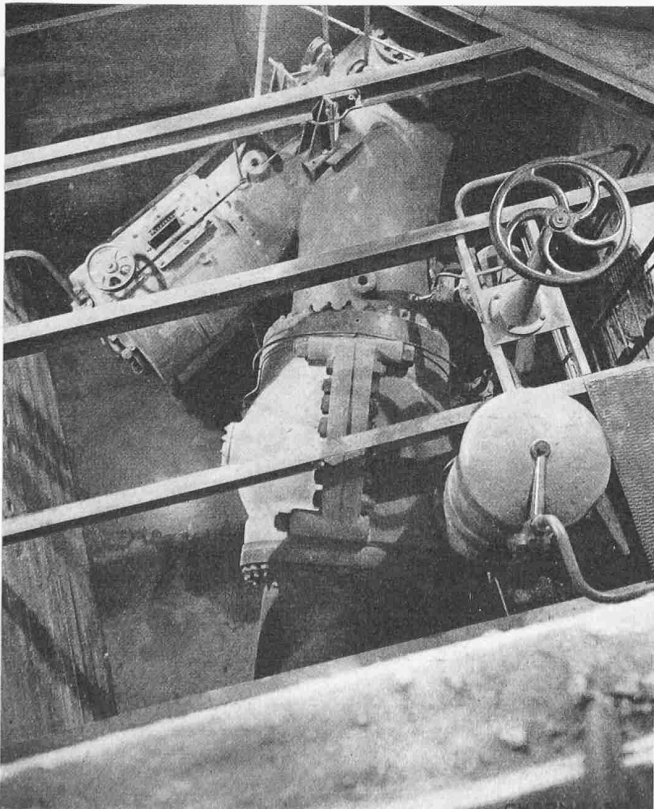


Bild 11. Kugelschieber und Servomotor für eine Düsenadel, gesehen durch die abgedeckte Oeffnung im Maschinensaalboden

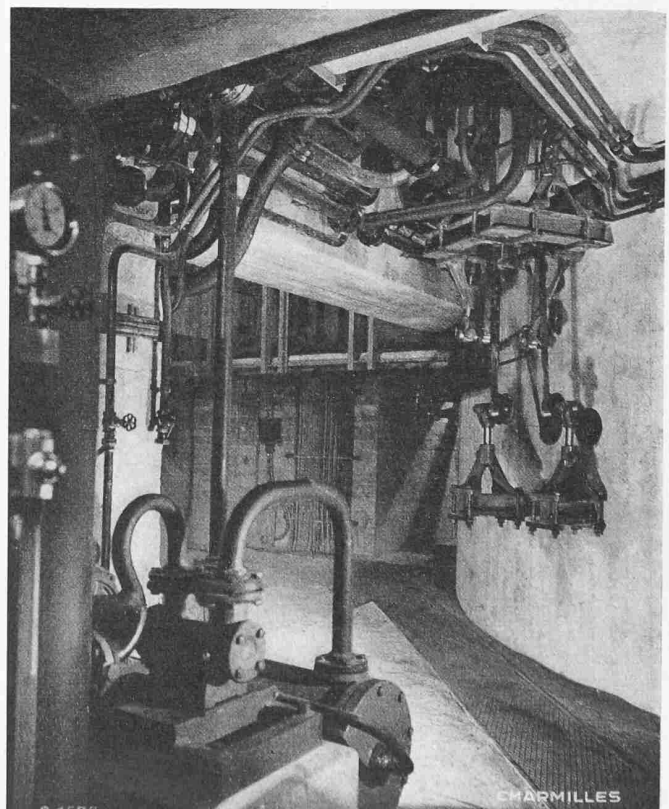


Bild 12. Vorn Oelpumpenstation eines Reglers, rechts Rückführungsgestänge mit Stahlbandübertragung

die für grosse und rasche Bewegungen der Ablenkerservomotoren erforderlich ist. Für die Betätigung der Nadeln ist die Oelmenge geringer, da die betreffenden Servomotoren nur verhältnismässig langsame Bewegungen ausführen; dafür sind entsprechende Blenden in die Zulaufleitungen eingeschaltet. Die Verstellgeschwindigkeiten sind so eingestellt, dass die Druckstösse in der Rohrleitung innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen bleiben.

Das Druckluftpolster im Windkessel  $W_1$  wird durch zwei Kompressorengruppen  $C$  erzeugt, von denen eine immer als Reserve dient. Auf Bild 13 ist nur eine Gruppe dargestellt. Diese Gruppen werden automatisch derart gesteuert, dass der Druck im Windkessel  $W_1$  konstant bleibt. Die Druckluft gelangt von  $W_2$  über das elektrisch gesteuerte Ventil  $E_v$  in den Windkessel  $W_1$  des Reglers. Dabei wird  $E_v$  durch einen im Windkessel untergebrachten Kontaktschwimmer gesteuert, der bei anormalem Steigen des Oelniveaus im Windkessel, also bei Verminderung des Luftvolumens, den betreffenden Hilfsstromkreis schliesst. Ausserdem besitzt dieser Schwimmer zwei Alarmkontakte, die bei extrem hohem oder extrem tiefem Oelniveau ansprechen. Ein dritter Kontakt bringt die Turbinengruppe zum Stillstand, wenn das Oelniveau eine bestimmte unterste Grenze erreicht. Ferner sind Kontaktmanometer vorgesehen, die einerseits das Inbetriebsetzen der Turbine verhindern, wenn der Oeldruck ungenügend ist, und andererseits die Turbine zum Stillstand bringen und das Betriebspersonal alarmieren, wenn während des Betriebes der Oeldruck versagt.

Die Regulierung wirkt wie folgt: Ein auf der Turbinenwelle fliegend montierter Steuergenerator speist den Reglermotor  $M$  (Bild 15) des Vorsteuerreglers  $R_v$ . Dieser Motor läuft mit einer Geschwindigkeit um, die jederzeit genau proportional zur Turbinendrehzahl ist. Der Vorsteuerregler ist mit Beschleunigungs- und Fliehkraftpendel ausgerüstet. Diese Kombination wird seit vielen Jahren bei sämtlichen Chammiles-Regulieranlagen angewendet und ist genügend bekannt, so dass auf ihre Beschreibung hier verzichtet werden kann. Seine hohe Empfindlichkeit sowie seine sonstigen sehr günstigen Eigenschaften wurden in zahlreichen Anlagen erprobt. Ein vollständig reibungslos arbeitendes hydraulisches Relais betätigt gleichzeitig einerseits den Steuerschieber  $D_A$  des Ablenkerservomotors  $S_{md}$  und andererseits den Steuerschieber  $D_N$  des Servomotors  $S_{mp1}$  der Düsenadel  $P_1$ .

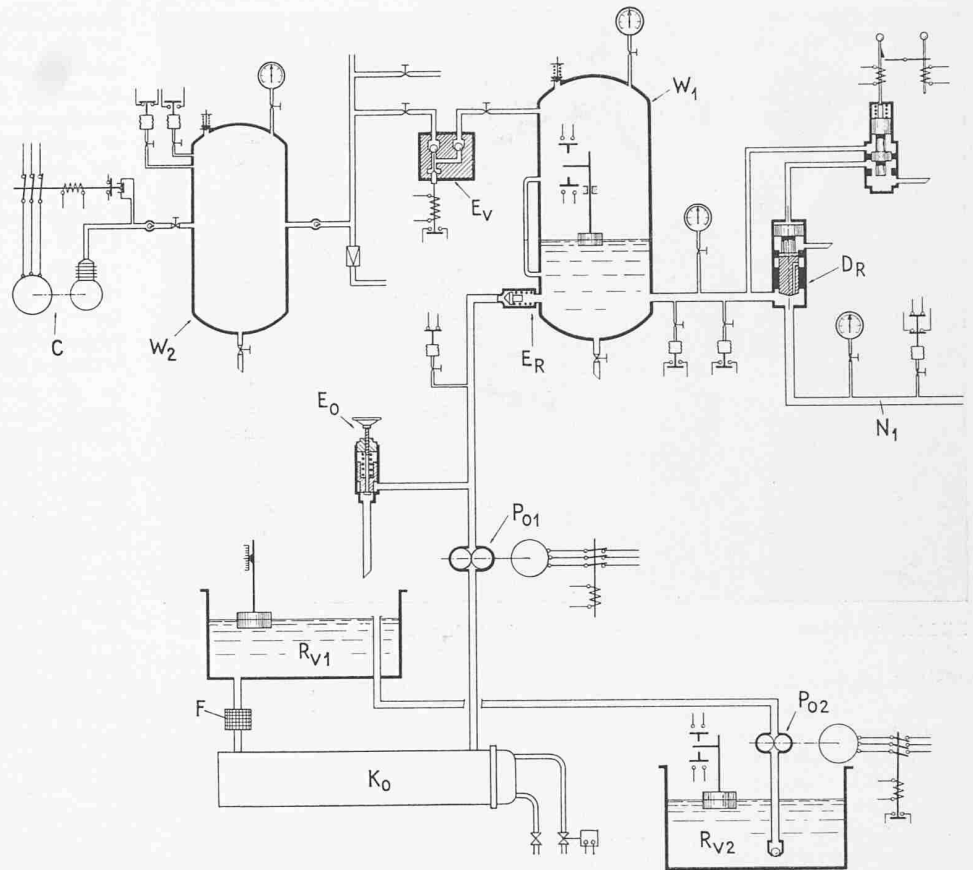


Bild 13. Schema der Druckölversorgung

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| $P_{o1}$ Hauptölpumpe        | $K_o$ Ölkühler  |
| $P_{o2}$ Hilfsölpumpe        | $C$ Luftkompressor                                      |
| $W_1$ Windkessel zu $P_{o1}$ | $E_o$ Abblaseventil für Drucköl                         |
| $W_2$ Windkessel zu $C$      | $E_v$ Elektrisch gesteuertes Speiseventil für Druckluft |
| $R_{v1}$ Hauptölreservoir    | $D_r$ Ventil zum Speisen des Regelölsystems $N_1$       |
| $R_{v2}$ Hilfsölreservoir    | $E_r$ Rückschlagventil                                  |

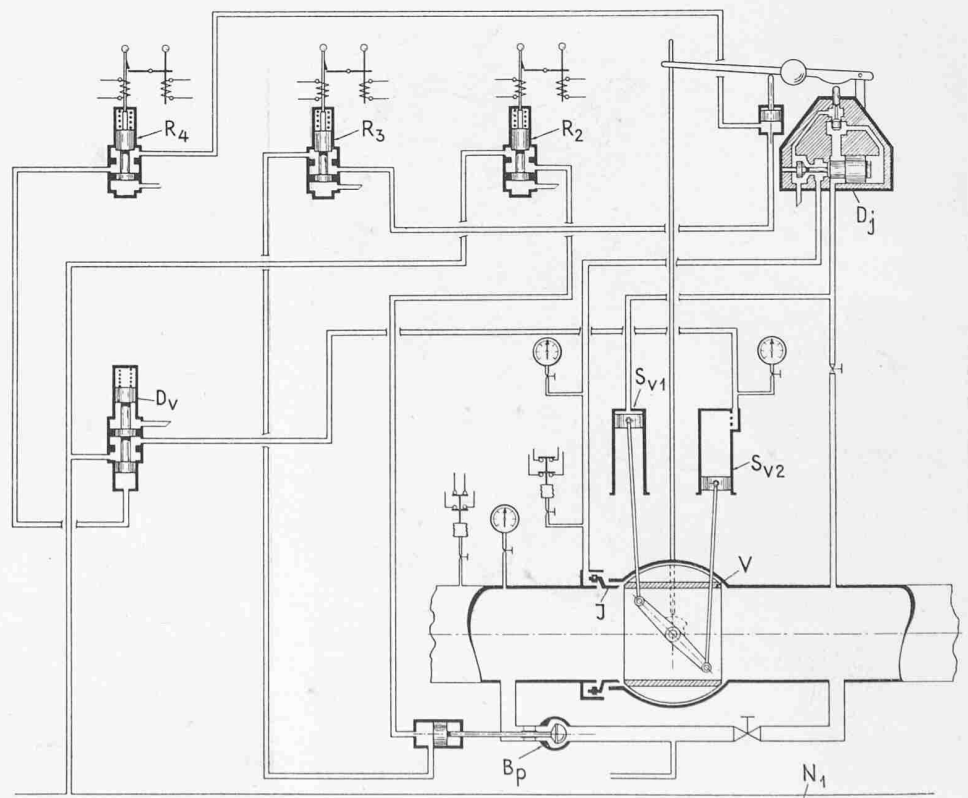


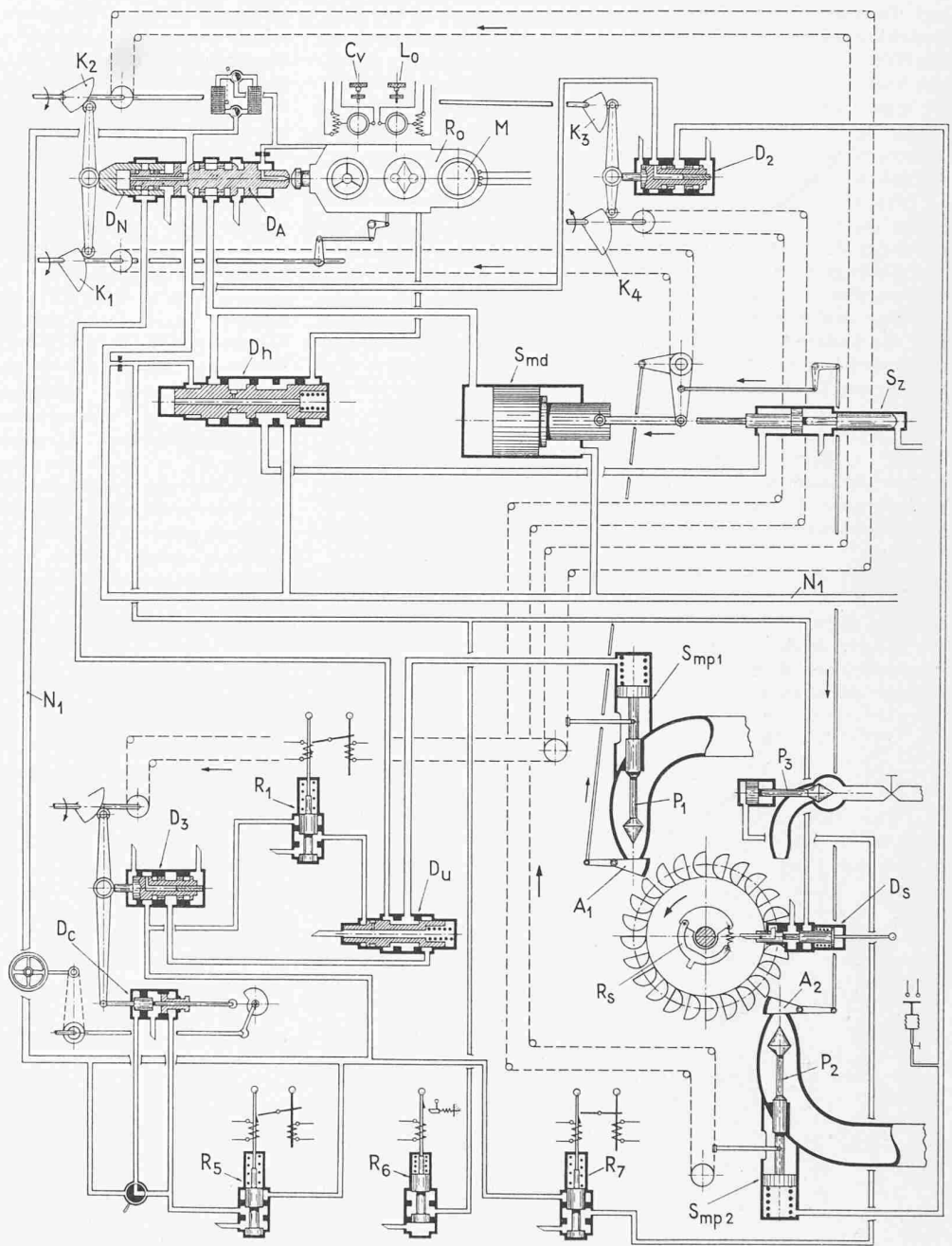
Bild 14. Steuerschema für einen Kugelschieber (Legende Seite 237)

Bild 15 (rechts). Allgemeines Prinzipschema der Turbinenregelung

- R<sub>0</sub> Kombierter Fliehkraft- und Beharrungsregler
- L<sub>0</sub> Lastbegrenzer
- C<sub>v</sub> Drehzahlstellvorrichtung
- M Antriebsmotor zu R<sub>0</sub>
- R<sub>s</sub> Sicherheitsregler
- P<sub>1</sub> Leitende Düsennadel
- P<sub>2</sub> Nachlaufende Düsennadel
- P<sub>3</sub> Absperrorgan zur Bremsdüse
- A<sub>1</sub> Strahlablenker zu P<sub>1</sub>
- A<sub>2</sub> Strahlablenker zu P<sub>2</sub>
- S<sub>md</sub> Servomotor für die Strahlablenker
- S<sub>mp1</sub> Servomotor für die Regulierspindel P<sub>1</sub>
- S<sub>mp2</sub> Servomotor für die Regulierspindel P<sub>2</sub>
- D<sub>A</sub> Steuerschieber zu S<sub>md</sub>
- D<sub>N</sub> Steuerschieber zu S<sub>mp1</sub>
- D<sub>2</sub> Steuerschieber zu S<sub>mp2</sub>
- K<sub>1</sub> bis K<sub>4</sub> Kurvenscheiben zum Rückführen der Regulierbewegungen
- D<sub>3</sub> Anfahrsteuerschieber
- D<sub>u</sub> Umsteuerschieber
- D<sub>h</sub> Hilfsschieber für S<sub>z</sub>
- D<sub>c</sub> Hilfsschieber zu D<sub>3</sub>
- D<sub>s</sub> Hilfsschieber zu R<sub>s</sub>
- S<sub>z</sub> Sicherheitservomotor
- N<sub>1</sub> Druckölnetz für die Regelung
- R<sub>1</sub> Relais zu D<sub>u</sub>
- R<sub>5</sub> Relais zu D<sub>c</sub> (Anfahrrelais)
- R<sub>6</sub> Schnellschlussrelais
- R<sub>7</sub> Relais zur Steuerung von P<sub>3</sub>

Legende zu Bild 14

- V Kugelschieber
- S<sub>v1</sub> Mit Druckwasser betätigter Servomotor zu V, für Schliessen
- S<sub>v2</sub> Mit Drucköl betätigter Servomotor zu V, für Öffnen
- D<sub>v</sub> Steuerschieber zu S<sub>v2</sub>
- B<sub>p</sub> Bypass zu V
- J Bewegliche Sitzringe im Schiebergehäuse
- D<sub>j</sub> Steuerschieber zur Betätigung von J
- R<sub>2</sub> Relais zum Bypass B<sub>p</sub>
- R<sub>3</sub> Relais zu D<sub>j</sub>
- R<sub>4</sub> Relais zu D<sub>v</sub>



Die Bewegungen dieser Servomotoren werden durch Stahlbänder auf die Kurvenscheiben K<sub>1</sub> und K<sub>2</sub> übertragen, welche mit Hilfe eines Hebels die Hülse des Ölverteilers D<sub>N</sub> verschieben und die bereits oben erwähnte Verbindung zwischen der Bewegung der Nadel P<sub>1</sub> und derjenigen der Ablenker A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> herstellen. Der Servomotor S<sub>mp2</sub> der gesteuerten Nadel P<sub>2</sub> wird durch den Ölverteiler D<sub>2</sub> betätigt, dessen Schieber mit Hilfe der Kurvenscheibe K<sub>3</sub> betätigt wird. Die Rückführung wird durch K<sub>4</sub> übermittelt. Ein dritter Ölverteiler D<sub>3</sub> erlaubt, die Nadeln von Hand und unabhängig von der Regulieranlage zu betätigen. Zugleich dient D<sub>3</sub> bei der automatischen Inbetriebsetzung dazu, die Verbindung zwischen den Nadeln und den Ablenkern vorübergehend zu lösen und die Ablenker unabhängig hochzuheben. Zu diesem Zweck stellt das Umschaltventil D<sub>u</sub> den Servomotor S<sub>mp1</sub> entweder unter die Kontrolle des Steuerschiebers D<sub>N</sub> des Reglers oder unter diejenige des Ölverteilers D<sub>3</sub>, wobei der Servomotor S<sub>mp2</sub> der gesteuerten Nadel P<sub>2</sub> durch ihren Ölverteiler D<sub>2</sub> stets mit P<sub>1</sub> verbunden bleibt.

Der Ablenkerservomotor S<sub>md</sub> ist mit einem Differentialkolben versehen, dessen kleinere Ringfläche stets mit dem Druckölssystem verbunden ist, während der Steuerschieber D<sub>A</sub> die grössere Fläche entweder mit diesem System oder mit dem Ablauf verbindet. Der Oeldruck auf die Ringfläche wirkt im Sinne einer Ablenkung der Wasserstrahlen. Bei

den Nadelservomotoren S<sub>mp1</sub> und S<sub>mp2</sub> wird der Oeldruck durch eine konstante Stellkraft ersetzt, die durch die Wirkung des Druckwassers auf die innern Organe der Einlaufdüse zustande kommt. Diese Stellkraft wirkt im Sinne eines Öffnens der Nadeln.

Ein schnelles Einschwenken der Ablenker A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> kann durch einen Sicherheitservomotor S<sub>z</sub> erfolgen, dessen Kolben unmittelbar auf das Betätigungsgestänge der Ablenker wirkt. Dieser Kolben ist dauernd in der Richtung des Ablenkens dem Wasserdruck ausgesetzt. Im normalen Betrieb hält ihn der Oeldruck in der voll geöffneten Stellung, wodurch die Bewegungen des Ablenkergestänges frei vor sich gehen können. Im Falle eines Schnellschlusses bewegt sich der Schieber des Ölverteilers D<sub>h</sub> z. B. infolge Ansprechen des Sicherheitsreglers R<sub>s</sub> und Auslösen des Ventils D<sub>s</sub> nach links, wodurch das Drucköl des Sicherheitservomotors S<sub>z</sub> mit dem Ablauf verbunden wird und die Ablenker sofort eingeschwenkt werden.

Zum Bremsen der Gruppe dient eine Bremsdüse. Das zugehörige Absperrorgan P<sub>3</sub> wird durch einen Servomotor mit Drucköl betätigt, der durch das Relais R<sub>7</sub> gesteuert wird.

Bild 14 zeigt die Betätigungsvorrichtungen des einen Einlaufschiebers. Dieser Kugelschieber V ist imstande, bei Durchfluss der vollen Turbinenwassermenge zu schliessen. Die Schliessbewegung erfolgt mit Hilfe eines mit Druckwas-



ser betätigten Servomotors  $S_{v1}$ , welcher dauernd mit der Druckleitung verbunden ist, während die Oeffnungsbewegung mit Hilfe eines mit Drucköl betätigten Servomotors  $S_{v2}$  durch das Steuerventil  $D_v$  bewerkstelligt wird. Der Kugelschieber  $V$  ist ausserdem mit einer Umleitung versehen, deren Absperrorgan  $B_p$  durch Drucköl betätigt wird. Der Sitz  $J$  des Kugelschiebers wird hydraulisch betätigt, wie weiter unten beschrieben wird.

Nachdem nun die Hauptorgane generell beschrieben sind, sollen die verschiedenen Verfahren kurz erwähnt werden, die entweder die vollautomatische Regulierung oder die getrennten Betätigungen zu bewerkstelligen erlauben. Diese Verfahren werden mit Hilfe von Schaltern eingeleitet, von denen der eine auf dem Schaltpult des Kommandoraumes montiert und der andere in der Gruppenschalttafel des Maschinensaales untergebracht ist. Die vollautomatische Verkettung der verschiedenen Betätigungen kann vom einen oder vom andern Schalter aus eingeleitet werden, während die getrennten Betätigungen nur von der Gruppenschalttafel aus möglich sind. Ferner tragen sowohl der automatische Geschwindigkeitsregler als auch die Steuertafel der Kugelschieber Handbetätigungsorgane mit den nötigen Verriegelungen, die im Notfall sämtliche Betätigungen mit Hilfe von Drucköl auszuführen erlauben.

Damit die weiter angeführten Erklärungen besser verständlich sind, sollen vorerst die Hauptmerkmale der elektrischen Schaltung kurz erläutert werden. Diese wurden durch die Electricité de France grundsätzlich festgelegt. Vier Hauptsteuerschienen dienen den vier Hauptfunktionen der Regulieranlage; diese sind:

1. Automatische Regulierung
2. Getrennte Betätigungen
3. Vollständiges Stilllegen
4. Meldewesen

Ein Umschalter, der auf der Gruppenschalttafel montiert ist, ermöglicht das Durchführen einer der drei ersten Funktionen, indem durch ihn eine der drei Hauptsteuerschienen unter Spannung gesetzt wird. Dementsprechend weist er drei Stellungen auf: «Automatische Regulierung», «Getrennte Betätigungen», «Stillstand», wobei die Stellung «Automatische Regulierung» ebenfalls für das vollständige Stilllegen aufrecht erhalten bleibt. Ein zweiter Schalter mit zwei Stellungen erlaubt, die eine oder die andere Möglichkeit zu wählen.

Der im Kommandoraum untergebrachte Umschalter weist ebenfalls drei Stellungen auf, und zwar: «Automatische Regulierung», «Ruhe» und «Vollständiges Stilllegen», wobei dieser Umschalter mit Vorrecht die entsprechenden Verfahren bestimmt und nur die Stellung «Ruhe» die Benützung des auf der Gruppenschalttafel montierten Schalters erlaubt.

Die Unterspannungsetzung der verschiedenen Steuerschienen wird durch Signallampen angezeigt. Eine elektrische Verriegelung verhindert, dass andere Schienen unter Spannung gesetzt werden, wenn diejenige für vollständiges Stilllegen eingeschaltet ist. Das Betriebspersonal muss diese Verriegelung zuerst lösen, bevor es eine neue Inbetriebsetzung der Turbine vornehmen kann. Schliesslich werden sämtliche Schalter wieder in ihre Ruhestellung zurückgeführt, sobald die Inbetriebsetzung oder das Stilllegen der Gruppe vollzogen ist.

Die Schiene für die Signalvorrichtungen wird immer automatisch unter Spannung gesetzt, sobald das Inbetriebsetzen oder das Stilllegen der Gruppe vorgenommen wird, gleichgültig, ob dies auf automatischem Weg oder durch getrennte Betätigung erfolgt. Nach durchgeführter Inbetriebsetzung oder abgeschlossenem Stilllegen werden die Signallampen ausgelöscht. Druckknöpfe, die auf den Schalttafeln der Turbine oder des Kommandoraumes angebracht sind, erlauben jederzeit die Unterspannungsetzung der Schiene für Signalvorrichtungen, damit die verschiedenen Kontrollen vorgenommen werden können.

Zur Inbetriebsetzung der Turbine sieht man vorerst nach, ob der Windkessel  $W_1$  und der Luftbehälter  $W_2$  betriebsbereit, ferner ob die Kugelschieber  $V$  sowie deren Umlaufschieber  $B_p$  geschlossen sind und ob der Oeffnungsbegrenzer  $L_0$  des Reglers  $R_0$  sich in geschlossener Stellung befindet. Die Inbetriebsetzung wird alsdann durch den einen bereits erwähnten Umschalter eingeleitet, und zwar nach folgendem Verfahren:

1. Im Fall, dass das Druckluftnetz einen ungenügenden Druck aufweist, wird der Luftkompressor  $C$  unter der Wir-

kung eines ersten Pressostates in Betrieb gesetzt und dann wieder automatisch stillgelegt, sobald der richtige Druck im Windkessel  $W_2$  erreicht ist. Gleichzeitig wird die Pumpe  $P_{o2}$  laufen gelassen, die eventuelle Oelverluste dem Oelbehälter  $R_{v1}$  zurückbringt; dabei wird diese Pumpe durch zwei Kontakte in und ausser Betrieb gesetzt, je nach der Höhe des Oelspiegels im Oelverlustbehälter  $R_{v2}$ .

Weiter dienen verschiedene Kontakte zur Kontrolle der Erfüllung folgender Bedingungen: Wasserspiegel im Turbinenauslauf genügend tief, Hauptschalter 220 kV offen, Bremse des Generators gelöst, Schütze im Ablaufkanal offen. Wenn diese letzte Bedingung erfüllt ist, so wird diese Schütze automatisch in ihrer Offenstellung verriegelt und die Hauptölpumpe  $P_{o1}$  in Gang gesetzt, wodurch der Oelkreislauf zum Windkessel  $W_1$  unter Druck gesetzt wird; ein entsprechender Pressostat meldet das Erreichen dieses Druckes.

2. Ein kleiner Elektromotor öffnet nun den Absperrschieber in der Wasserleitung zur Kühlvorrichtung  $K_0$ ; der Regulierölkreislauf  $N_1$  wird durch das Öffnen des Isolierventils  $D_R$  unter Druck gesetzt; ein Manostat, der diese Unterdrucksetzung festgestellt hat, setzt durch das Relais  $R_1$  den Servomotor  $S_{mp1}$  der Steuernadel  $P_1$  unter die Wirkung des Oelverteilers  $D_3$ . Dazu wird der Kolben des Relais  $R_1$  angehoben und in seiner oberen Stellung verriegelt. Dadurch verschiebt sich der Schieber des Umschaltventils  $D_u$  nach rechts und verbindet  $S_{mp1}$  mit  $D_3$ .

3. Nach Ablauf dieser Vorgänge bewerkstelligt das Relais  $R_2$  (Bild 14) das Öffnen der Umleitung  $B_p$  des einen der beiden Kugelschieber  $V$ ; das Relais  $R_2$  wird in seiner oberen Stellung verriegelt, wenn die Ablenker  $A_1$  und  $A_2$  eingeschwenkt, die Steuernadeln geschlossen sind und der Servomotor  $S_{mp2}$  der gesteuerten Nadel  $P_2$  unter Druck gesetzt ist.

Ein Manostat, welcher an der Einlaufdüse angeschlossen ist, bewirkt das Zurückziehen des Dichtungssitzes  $J$  des Kugelschiebers, wenn in der Einlaufdüse der nötige Wasserdruk erreicht ist, wobei diese Betätigung durch das Relais  $R_3$  und das Wasserventil  $D_j$  erfolgt. Nach Ablauf dieser Rückbewegung des Sitzes  $J$  spricht das Relais  $R_4$  an und hebt den Schieber des Verteilers  $D_v$ , worauf die Oeffnungsbewegung des Kugelschiebers einsetzt.

4. Das gleiche Verfahren wird dann zum Öffnen des andern Kugelschiebers  $V$  eingeleitet. Endkontakte erlauben, die Ablenker  $A_1$  und  $A_2$  auszuschwenken und den Elektromagneten des Anlaufrelais  $R_5$  (Bild 15) unter Spannung zu

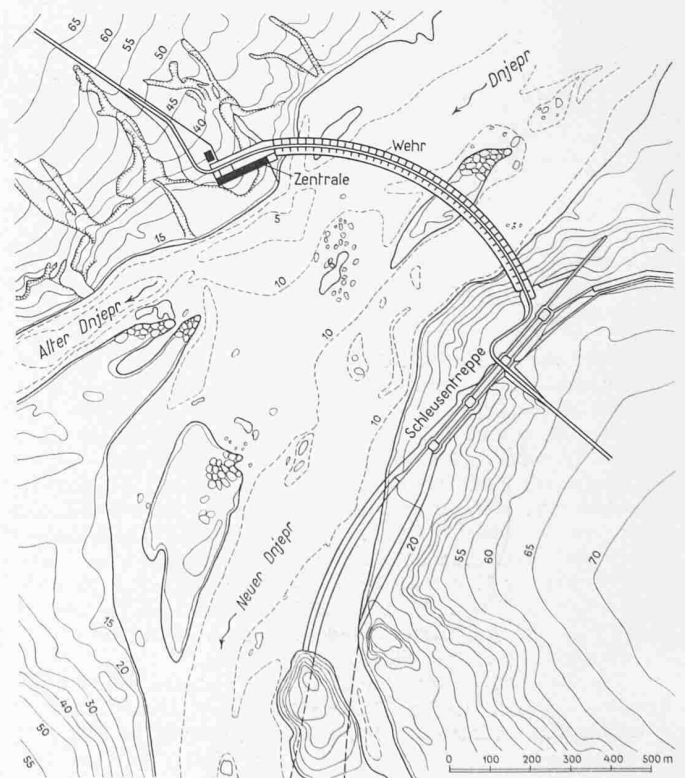


Bild 1. Kraftwerk Dnjeproströj, Lageplan 1 : 18 000

setzen. Mit Hilfe des Umschaltchiebers  $D_c$  und des Oelverteilers  $D_3$  wird die Steuernadel  $P_1$  teilweise geöffnet, wobei die gesteuerte Nadel  $P_2$  diese Bewegung ebenfalls mitmacht. Nun setzt sich die Turbine in Bewegung.

5. Nachdem die Turbine eine gewisse Geschwindigkeit erreicht hat, wird die Regulierung unter die Wirkung ihres Reglers gesetzt. Dies geschieht, sobald die Spannung zur Speisung des Motors  $M$  des Vorsteuerreglers  $R_0$  einen genügenden Wert erreicht hat und die Verriegelung des Relais  $R_1$  gelöst wird. Die Betriebsdrehzahl wird alsdann durch den automatischen Regler festgelegt, wobei der Sollwert dieser Drehzahl entweder von Hand oder von der Schalttafel aus durch einen kleinen Elektromotor der Drehzahl-Verstellvorrichtung  $C_v$  eingestellt werden kann.

6. Das Einschalten des Generators erfolgt durch die automatische Synchronisierungsvorrichtung, welche auf die Drehzahlverstellvorrichtung  $C_v$  wirkt. Sobald die Parallelschaltung erfolgt ist, kann die Gruppe die Last aufnehmen.

Vor dem Stilllegen der Turbine muss der Generator völlig entlastet und vom Netze getrennt werden. Alsdann wird die entsprechende Hauptsteuerschiene unter Spannung gesetzt, was folgende Operationen auslöst:

1. Der Öffnungsbegrenzer  $L_0$  wird in die Schliesstellung versetzt, wodurch die Ablenker  $A_1$  und  $A_2$  eingeschwenkt und die Nadeln  $P_1$  und  $P_2$  vollständig geschlossen werden.

2. Endkontakte stellen diese Veränderungen fest, worauf die Kugelschieber  $V$  geschlossen und deren Sitze auf die entsprechenden Dichtungsflächen gepresst werden.

3. Das Absperrorgan  $P_3$  zur Bremsdüse öffnet sich. Sobald die Drehzahl der Turbine genügend abgesunken ist, sprechen die Generatorbremsen an, bis ein Frequenzrelais sie beim Stillstand der Gruppe wieder löst. Inzwischen hat sich die Bremsdüse wieder geschlossen.

4. Das Isolierventil  $D_R$  schliesst sich und unterbricht die Oelspeisung der verschiedenen Regulierölkreisläufe.

5. Die Oelpumpe  $P_{01}$  wird abgestellt.

6. Der Wasserdurchfluss durch den Oelkühler  $K_0$  wird unterbrochen.

Ein Relais setzt die Hauptsteuerschienen 1 und 4 für automatische Regulierung und für das Meldewesen ausser Spannung. Gleichzeitig verursacht dieses Relais das Ausserbetriebssetzen des Spannungsreglers sowie die Verriegelung verschiedener Sicherheitsvorrichtungen. Die elektrischen Relais werden schliesslich zur nächsten Inbetriebsetzung vorbereitet.

Wenn an Stelle des beschriebenen Stilllegens der Gruppe eine Sicherheitsvorrichtung dieses Stilllegens veranlasst, so wird das Verfahren durch Vermittlung eines Hauptrelais eingeleitet, das den Elektromagneten des Schnellschlussrelais  $R_6$  unter Spannung setzt. Durch Heben des Schiebers dieses Relais wird die Oelleitung nach dem Ventil  $D_h$  mit dem Ablauf verbunden, wodurch das Ventil  $D_h$  nach links verschoben wird. Diese Bewegung hat, wie bereits oben beschrieben, zur Folge, dass der Sicherheitsservomotor  $S_2$  anspricht und die Ablenker sofort in die Strahlen eingeschwenkt werden. Ausserdem bewirkt das erwähnte Hauptrelais die Unterspannungssetzung der Schiene für vollständiges Stilllegen, wodurch die bereits für das normale Stilllegen beschriebenen Funktionen ebenfalls erfolgen.

Auf der Turbinenwelle ist oberhalb des Halslagers ein Sicherheitsregler  $R_5$  angebracht, der das Ventil  $D_8$  betätigt, sobald die Drehzahl der Turbine einen bestimmten Wert überschreitet. Die Verschiebung dieses Ventils nach rechts hat die gleichen Betätigungen zur Folge wie das Ansprechen des Schnellschlussrelais  $R_6$ .

Schliesslich ist noch zu bemerken, dass beim Versagen der normalen Speisung der elektrischen Hilfskreisläufe eine kleine Pelton-Turbine von 650 PS automatisch in Gang gesetzt wird, wodurch der Zentrale Le Pouget in dieser Hinsicht eine vollständige Unabhängigkeit gesichert wird.

## Der Wiederaufbau des 1941 zerstörten Stauwerkes Dnjeproströj

DK 627.824.7.004.6

Von Direktor Dr.-Ing. Fritz Hartung, Dortmund

### I. Beschreibung der Anlage

Die Wasserkraftanlage Dnjeproströj liegt im Dnjep-Fluss nahe der Industriestadt Saporoshje im südwestlichen Teil der Sowjet-Union, ungefähr 350 km nördlich der Südspitze der Halbinsel Krim, 150 km von der Küste des Asowschen Meeres und etwa 850 km südlich von Moskau. Ein grosser Teil der erzeugten Energie wird in den Stahl- und Aluminiumwerken sowie der Flugzeug-Industrie von Saporoshje verbraucht. Ein weiterer Teil gelangt in den nördlich liegenden Hafen und in kleinere industrielle Anlagen. Die nächsten wichtigen Grossabnehmer sind dann Kriwoi Rog,

130 km westlich, Dnjepropetrowsk, 80 km nördlich, und das Gebiet um Stalino, 200 km östlich. Der Stromabsatz konnte jedenfalls schon zur Zeit der Inbetriebnahme, 1931, als in naher Zukunft gesichert gelten.

Das Nutzgefälle schwankt je nach der Wasserführung des Flusses zwischen 27,75 und 37,40 m. Der Dnjep hat an dieser Stelle ein NNW von 350 m<sup>3</sup>/s und ein HHW von 23 500 m<sup>3</sup>/s. Die Ausbauleistung ist 560 000 kW bei einer Wasserführung von 2200 m<sup>3</sup>/s. Der Stau wird erzeugt durch eine schwach gekrümmte Gewichtsmauer von etwa 40 m

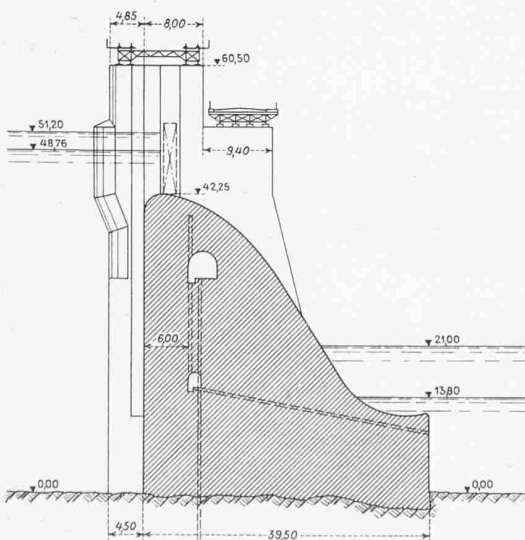


Bild 2. Querschnitt des Wehres, 1 : 1000

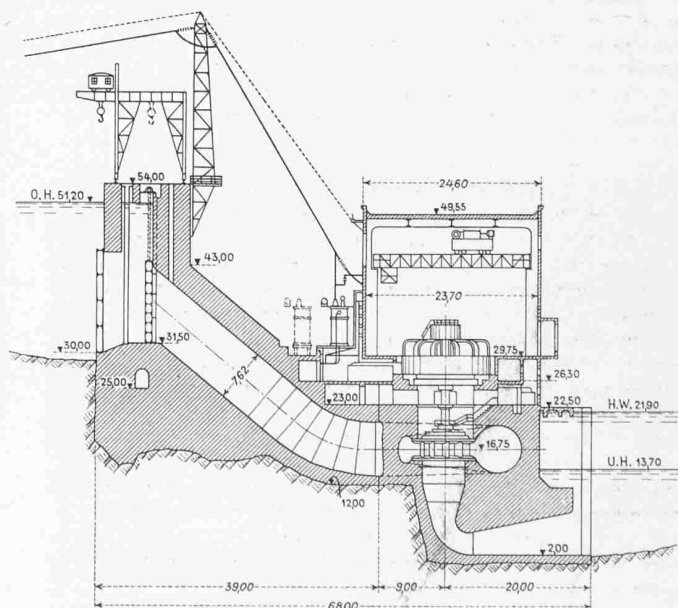


Bild 3. Querschnitt der Zentrale, 1 : 1000