

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 79 (1961)
Heft: 33

Artikel: Die Freistrahlturbinen des Kraftwerkes Kurobegawa in Japan
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-65583>

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: 30.01.2026

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

mittags abgegeben. Nach Kenntnisnahme des Vorprüfungsberichtes beschloss das Preisgericht, das Projekt Nr. 32 wegen verspäteter Abgabe von der Beurteilung auszuschliessen.

Trotz kleinerer Verstösse und Fehlens einzelner Räume bei verschiedenen Projekten wurde keines ausgeschieden. Jedoch sind diese Fehler bei der Bewertung beachtet worden. Nach Besichtigung des Bauareales prüfte das Preisgericht gemeinsam die Projekte und beschloss folgende Ausscheidungen. Im ersten Rundgang wurden fünf, im zweiten zehn und im dritten sieben Entwürfe ausgeschieden.

Die Projekte wurden nach folgenden Richtlinien beurteilt:

I. Situation. Städtebaulicher Gesichtspunkt, Einfügung in Landschaft und Topographie, Schutz des Baumbestandes, Lage zu den Verkehrswegen und Zugänge. *II. Betriebliche*

Organisation. Altersheim mit Insassenzimmer, Gemeinschafts-, Wirtschafts- und allgemeine Räume, Personalräume, Grundriss der Insassenzimmer, Alterssiedlung. *III. Gestaltung der Umgebung.* *IV. Architektonische Gestaltung.* *V. Wirtschaftlichkeit.*

Nach gründlicher Abwägung der Vor- und Nachteile der beschriebenen Projekte gelangt das Preisgericht einstimmig zur Rangordnung und Verteilung der Preise (siehe SBZ 1961, H. 23, S. 393).

Das Preisgericht stellt fest, dass keines der prämierten Projekte ohne wesentliche Ueberarbeitung zur Ausführung empfohlen werden kann. Es beantragt daher der ausschreibenden Behörde, die vier Verfasser der Projekte Nr. 7, 26, 20 und 22 zur Weiterbearbeitung ihrer Entwürfe einzuladen.

Das Preisgericht: Dr. W. Leber, Bachmann, E. Bosshardt, E. Schindler, Dr. E. Knupfer, W. Hiltbrunner, M. Hool.

Die Freistrahl turbines des Kraftwerkes Kurobegawa in Japan

DK 621.241.2

Der Bau grosser Francisturbinen ist namentlich in der Richtung auf die Bewältigung grosser Gefälle weiterentwickelt worden. Diese Turbinenart tritt damit in immer schärferen Wettbewerb mit der Freistrahlтурbine. Die Gesichtspunkte, die bei der Wahl zwischen den beiden Turbinarten zu berücksichtigen sind, hatte schon vor über zehn Jahren Ch. Weingart hier ausführlich dargelegt¹⁾. Inzwischen gelang es, die Gefälle für Francisturbinen weiter beträchtlich zu steigern: Beim Kraftwerk Fionnay der Kraftwerke Mauvoisin AG., die im August 1956 in Betrieb kamen, wird ein maximales Nettogefälle von 470 m bei einer Leistung von 63 000 PS je Einheit ausgenutzt. Ueber das gute Betriebsverhalten dieser Pionierausführung ist hier berichtet worden²⁾. Noch grösser ist das Gefälle bei den Francisturbinen in der Zentrale Ferrera der Kraftwerke Hinterrhein AG.; es beträgt 522 m bei einer Turbinenleistung von 72 100 kW (98 000 PS)³⁾.

Es ist nun höchst bemerkenswert, dass neben diesen Ausführungen in Grenzfällen auch mehrdüsige Freistrahlturbinen gewählt werden. Als besonders interessantes Beispiel seien die zwei Freistrahlturbinen für das japanische Kraftwerk Kurobegawa genannt, die von *J. M. Voith, GmbH*, Heidenheim geliefert wurden und Ende 1960 in Betrieb kamen⁴⁾. Jede der beiden vertikalachsenigen Turbinen ist für ein Nutzgefälle von 540 m, ein grösstes Nettogefälle von 580 m, eine Wassermenge von 18 m³/s, eine Nennleistung von 118 000 PS und eine Maximalleistung von 135 000 PS gebaut. Es dürfte sich also hier um Freistrahlturbinen handeln, die zu den grössten je gebauten gehören. Die Drehzahl beträgt 360 U/min (bei 60 Hz) bzw. 300 U/min (bei 50 Hz). Die Durchgangsdrehzahl bei einem Gefälle von 590 m und 360 U/min erreicht 670 U/min. Jede Turbine ist mit sechs Düsen ausgerüstet und mit dem zugehörigen Drehstrom-Synchron-Generator direkt gekuppelt. Dieser ist für 95 000 kVA bei 60 Hz bzw. 86 000 kVA bei 50 Hz ausgelegt. Bild 1 zeigt eine Turbine in Aufriss und Grundriss.

Der japanische Fluss Kurobe ist rd. 86 km lang und weist ein Bruttogefälle von rd. 2150 m auf. Er wird in einer Kette von Kraftwerken ausgenutzt, von denen das Kavernenkraftwerk Kurobegawa die jüngste Anlage darstellt. Eine 188 m hohe Bogenstaumauer schafft einen Nutzspeicherraum von rd. 150 Mio m³; das Einzugsgebiet beträgt an der Sperrstelle über 200 km², die durchschnittliche Niederschlagsmenge 3810 mm pro Jahr.

Zur Zeit der Projektierung standen die Francisturbinen für derartige Gefälle noch in Entwicklung. Nach dem heutigen Stand hätte der Einbau von Francisturbinen kein Risiko

bedeutet. Damals aber war noch keine solche Turbine für ein auch nur entfernt so grosses Gefälle gebaut worden, und so fehlten die nötigen Betriebserfahrungen. Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass das Projekt für das Kraftwerk Ferrera vom Jahre 1956 horizontalachsige Pelton-Zwillingsturbinen für je 11,25 m³/s bei 500 m Nettogefälle (47 500 kW) vorsah⁵⁾, und man erst später auf Francisturbinen überging. Massgebend für die Wahl von Freistrahlturbinen war in Kurobegawa weiter der günstige Verlauf des Wirkungsgrades, der bis zu kleinen Leistungen sehr hoch bleibt.

Bei der Konstruktion waren die beschränkten Abmessungen der Transportstollenquerschnitte zu berücksichtigen wie auch die Begrenzung der Stückgewichte auf 25 t, weshalb z. B. das Turbinengehäuse achtteilig ausgeführt werden musste.

Das Turbinenlaufrad ist in einem Stück aus Stahl mit 13 % Chrom gegossen; es wiegt 13 t. Sein Strahlkreisdurchmesser beträgt 2640 mm, sein Aussendurchmesser 3310 mm, die lichte Breite der 22 Schaufeln 675 mm. Ein leicht zugänglicher Rost über dem Unterwasser sowie konstruktive Massnahmen am Befestigungsflansch erleichtern das Auswechseln des Rades. Die verhältnismässig kurze Turbinenwelle ist in einem Führungslager von 1000 mm Bohrung gehalten und trägt an beiden Enden angeschmiedete Kuppelflanschen. Dabei wurden die Bolzenlöcher der oberen Flansche gemeinsam mit denen der Generatorwelle bearbeitet und beide zusammengekuppelten Wellen auf Rundlauf geprüft. Das Turbinenführungslager ist als selbstschmierendes Oellager ausgebildet und mit einem wassergekühlten Mantel in Schweißkonstruktion versehen. Das Schmieröl wird aus dem unter dem Lager angeordneten Behälter von einer Reibungspumpe an der tiefsten Stelle der Lagerschale angesaugt, durch das Lager gepresst und fliesst dann durch einen widerstandsarmen Kühler wieder dem Behälter zu. Für normalen Betrieb und kurzzeitigen Lauf bei der Durchgangsdrehzahl genügt die Wasserkühlung der Lagerschale. Der zusätzliche Oelkühler erlaubt den vorgeschriebenen halbstündigen Betrieb mit voller Durchgangsdrehzahl und einer höchsten Oeltemperatur von 70° C. Besondere Thermometer überwachen die Oeltemperatur und lösen bei deren Ansteigen zuerst Warnsignale aus; nachher stellen sie die Turbine ab. Das selbe geschieht bei Absinken des Oelspiegels wie auch bei dessen Ansteigen infolge Wasserbruches.

Das vom Laufrad abströmende Betriebswasser reisst erfahrungsgemäss Luft mit sich und würde so ein Vakuum erzeugen, durch welches das Unterwasser zum Laufrad aufsteigen könnte. Der Unterdruck ist zwischen Laufrad und Wasserführungsschild am grössten, weshalb dort Kanäle münden, die Aussenluft zuführen und so den Unterdruck begrenzen. Damit sich dieser nicht auf den Oelstand im Tur-

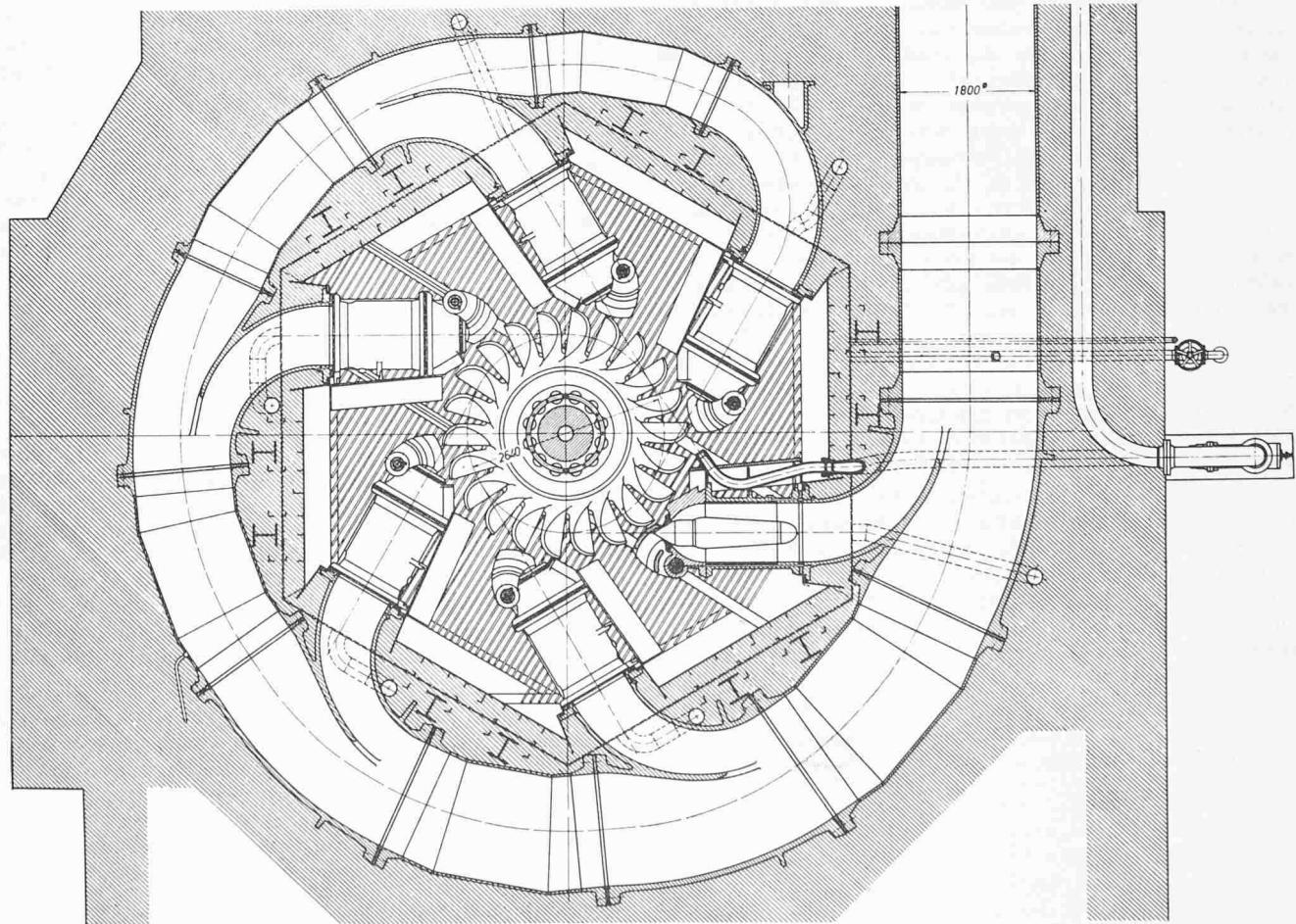
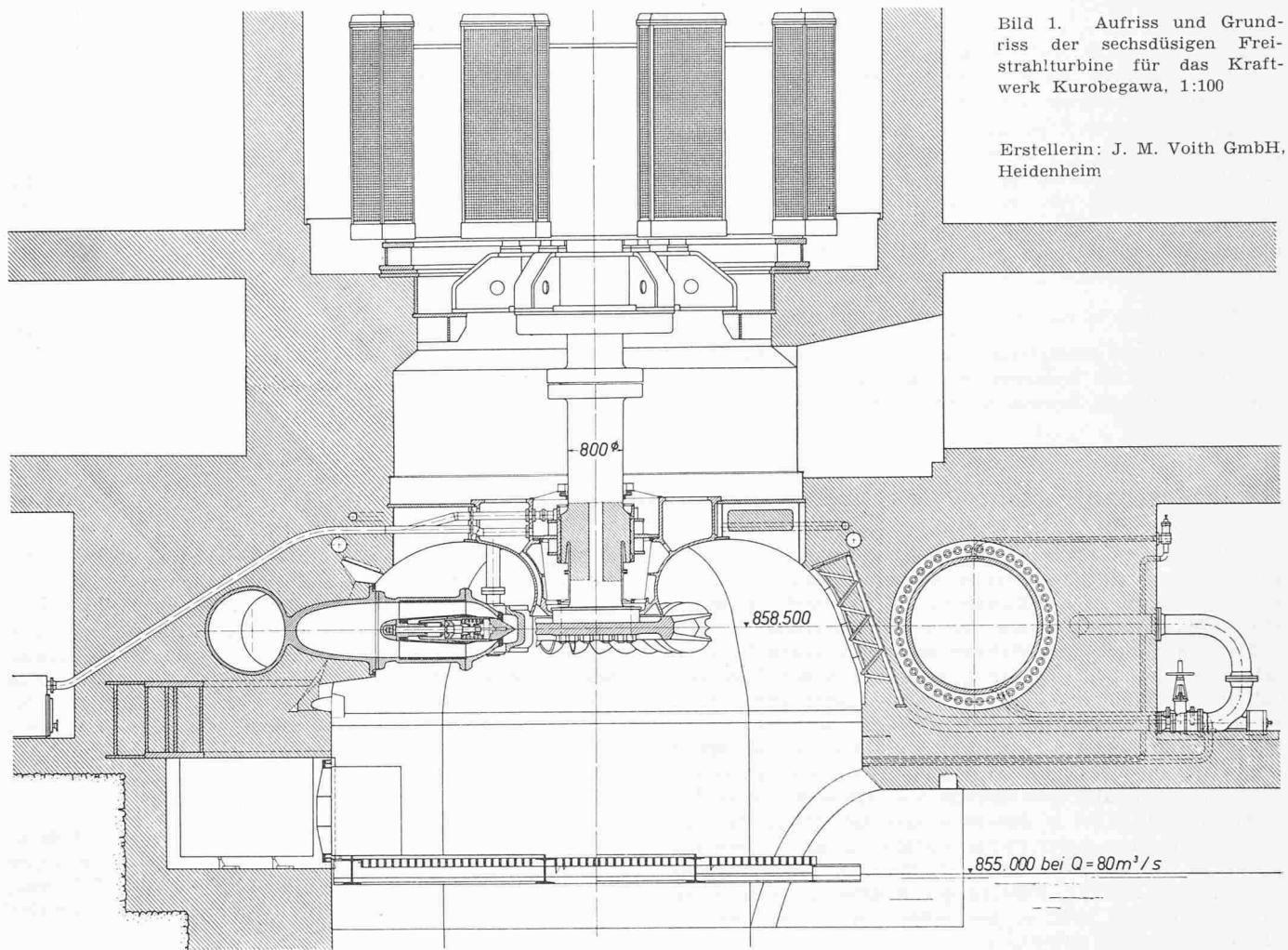
¹⁾ SBZ 1950, Heft 32, S. 429.

²⁾ SBZ 1959, Heft 39, S. 653.

³⁾ SBZ 1960, Heft 33, S. 537.

⁴⁾ Eine eingehende Beschreibung findet man in der Firmenzeitschrift «Voith, Forschung und Konstruktion» 1961, Heft 7.

⁵⁾ SBZ 1957, Heft 5 und 6, S. 65 u. 79, speziell S. 81.



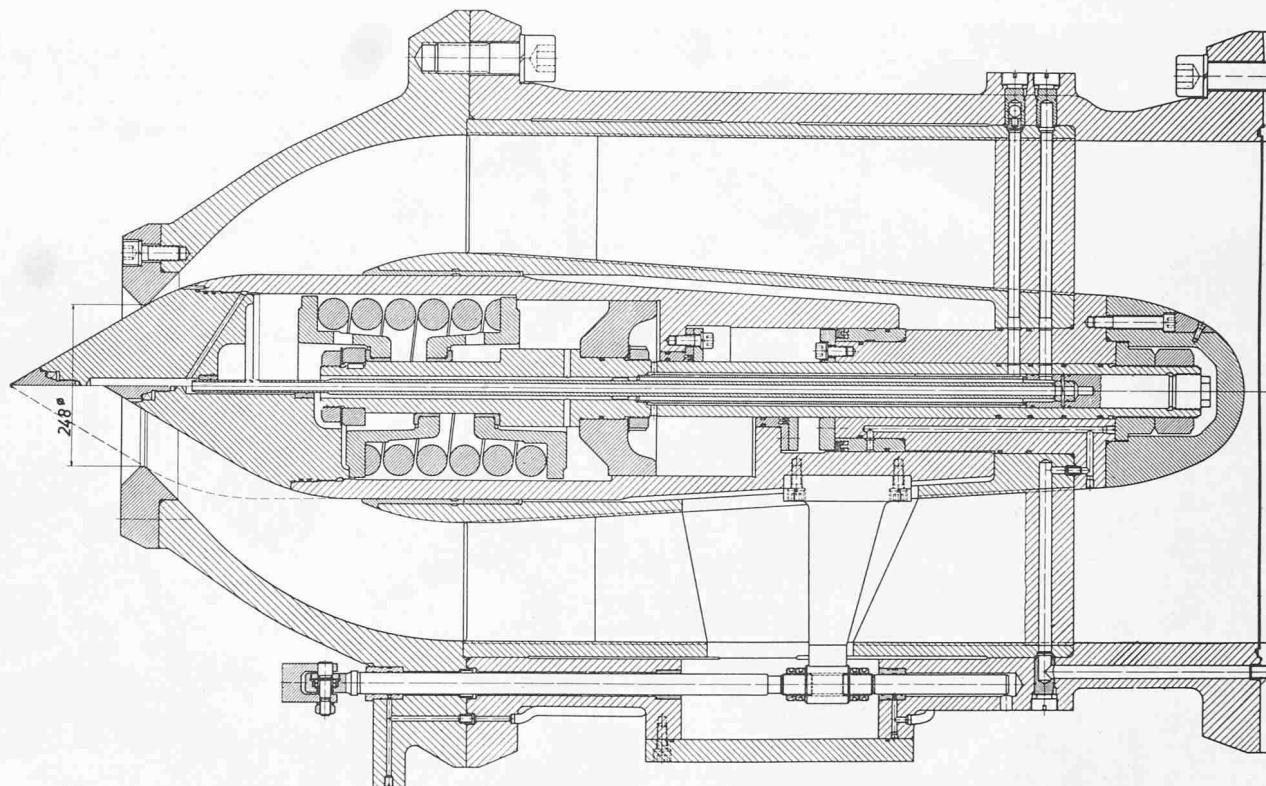


Bild 2. Schnitt durch die Nadeldüse mit innenliegendem Servomotor und Rückführgestänge

binenlager auswirkt, ist dort eine zusätzliche Belüftung angebracht. Nach oben muss der Oelraum des Lagers abgedichtet sein, weil die Generatorventilatoren die Kühlung aus dem über dem Lager liegenden Raum absaugen und dort einen gewissen Unterdruck erzeugen. Zur Dichtung sind zwei Labyrinth vorgesehen, zwischen welche Sperrluft von der Druckseite der Kühlung-Ventilatoren eingeführt wird.

Das Turbinengehäuse bildet ein regelmässiges Sechseck, Bild 4, und dient, wie die Schachtpanzierung, dem Schutz des Betons. Zur Verbindung mit diesem ist ein Fachwerk aus Winkelstahl angeschweisst worden. An das Turbinengehäuse sind die sechs Verteilstücke der Ringleitung für das Betriebswasser angeflanscht, die zu den Düsen einläufen führen. Der obere Boden ist als ebene Platte aus Stahlblech ausgebildet, auf welcher die Ablenkerwellenlager, die Nadel-Steuerventile, der Ablenker-Servomotor und andere Teile montiert sind.

Die Ringleitung von 1800 mm Eintrittsdurchmesser ist in fünf Verteilstücke, fünf Bogenrohre und einen Düsenkrümmer unterteilt. Die Verteilstücke bestehen aus Stahlguss, die Bogenrohre und der Düsenkrümmer sind aus hochfestem, feinkörnigem Stahlblech geschweißt und mit geschmiedeten Vorschweißflanschen versehen. Zur Verbindung dienen Dehnschrauben mit einer Mindeststreckgrenze von 90 kg/mm², was kleine Schraubendurchmesser und kleine Flanschabmessungen ergab. Für die Festigkeitsberechnungen waren die zulässigen Spannungen vorgeschrieben. Bei den komplizierten Verteilstücken musste man sich mit Annäherungsverfahren begnügen. Die Nachprüfung der fertigen Leitung durch Dehnungsmessungen bei der Druckprobe ergab grösste Abweichungen von nur 5 %, woraus hervorgeht, dass die vereinfachenden Annahmen richtig getroffen worden sind. Die Leitung ist mit einem automatisch gesteuerten Entlüftungsventil und einem Entleerungsventil versehen. Sie wurde während des Betonierens und Abbindens unter einem Druck von 25 at gehalten, um spätere Rissbildungen im Beton zu vermeiden.

Die Düsen sind, wie aus den Bildern 2 und 5 hervorgeht, mit innenliegenden Servomotoren versehen. Dabei wirken die Wasserdrücke auf Nadel und Ausgleichskolben sowie die Federkräfte so zusammen, dass sich über den ganzen Nadelhub eine kleine resultierende Kraft ergibt, welche im Schliesssinn auf die Nadel wirkt und angenähert konstant bleibt; sie

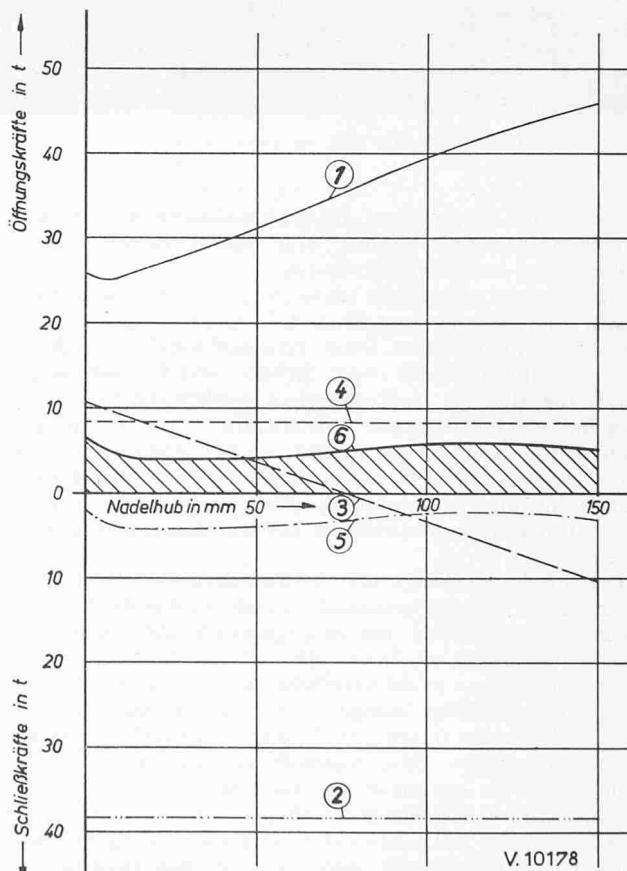


Bild 3. Kräfte an der Düsenneedle in Abhängigkeit des Hubes

- | | |
|---|---|
| 1 Hydraulische Kräfte auf die Nadel | 5 Resultierende der Kräfte 1, 2 u. 3 (= Schliesskraft bei Ausfall des Oeldruckes) |
| 2 Hydraulische Kraft auf den Ausgleichskolben | 6 Resultierende der Kräfte 4 u. 5 (= Ueberschusskraft des Servomotors, schraffiert) |
| 3 Federkraft | |
| 4 Kraft des Oeldruckes auf den Servomotorkolben | |

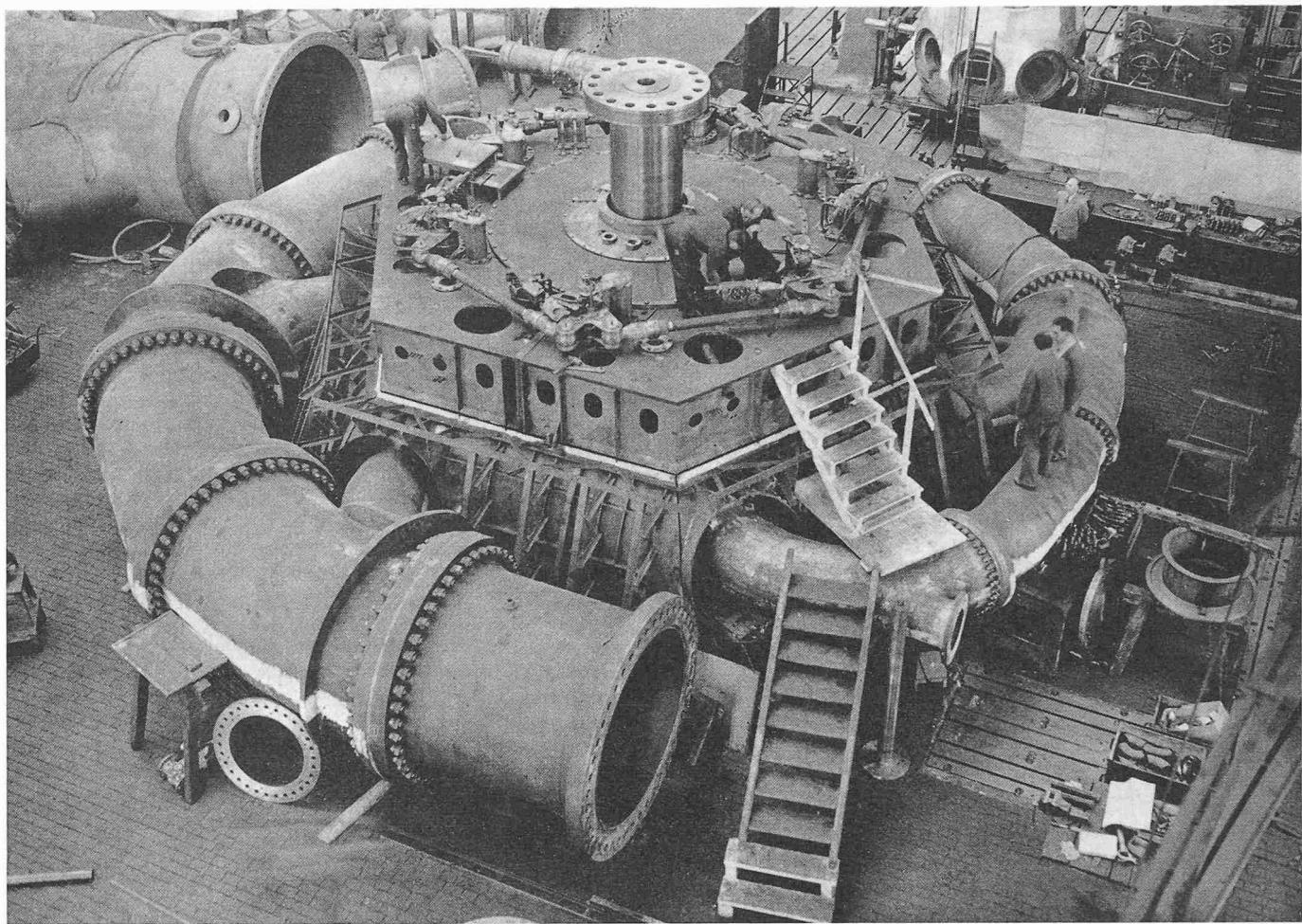


Bild 4. Zusammengebaute Turbine im Herstellerwerk

ist in Bild 3 mit 5 bezeichnet. Damit konnten normale Steueröldrücke angewendet werden, und man kam mit kleinen Durchmessern des Servomotors aus.

Die Nadelspitze und der Einsatzring zum Mundstück lassen sich auswechseln, ohne dass die Düse oder das Laufrad ausgebaut werden müssen. Diese Teile sind durch eine 0,3 mm starke Hartchromschicht gegen Erosion und Verrostung geschützt, die sich bei sachgemäßem Aufbringen besser bewährt hat als hochlegierter Chromstahl. Auch die übrigen wasserberührten Stahlteile wurden an den gleitenden Oberflächen aus den selben Gründen hart verchromt. Die Steuerleitungen hat man in den Beton verlegt, um sie vor Tropfenschlag zu bewahren, weshalb sie aus Chromstahl hergestellt wurden.

Die einzelnen Düsen erhielten Schutzschilder, deren Oberflächen aus 13 %igem Chromstahl bestehen (Bild 6). Auch die Düsenmundstücke sind mit angegossenen Schutzschildern versehen, bei denen die Oberflächen durch Auftragschweißung mit rostfreiem Stahl verstärkt sind. Die Düsen können im zusammengebauten Zustand mittels eines lenkbaren Düsentransportwagens durch eine Türe in der Schachtpanzerung ausgefahren werden. Dabei befindet sich der Ablenker mit dem Unterteil der Ablenkerwelle noch an der Düse.

Zum raschen Stillsetzen erhielt jeder Maschinensatz eine Bremsdüse, deren Betriebswasser der Druckleitung vor dem Kugelschieber entnommen und über ein mit Drucköl gesteuertes Nadelventil der Düse zugeführt wird. Die Abbremszeit beträgt etwa vier Minuten.

Jeder Düse ist ein Strahlablenker zugeordnet, dessen auswechselbare Schneide aus Stahlguss mit 13 % Chrom besteht. Die aus Montagegründen zweiteilig ausgeführte Ablenkerwelle ist an ihrem unteren Ende in einem Anguss des Düsenmundstückes und am oberen Ende in einem Lager gehalten, das am Turbinendeckel befestigt ist. Über diesem Lager ist der Stahlgusshebel für das Ablenkergestänge aufgekeilt.

Alle sechs Hebel sind durch Zugstangen miteinander verbunden; an einem greift die Kolbenstange des ölgesteuerten Ablenkerservomotors an. Dieser ist auf dem Turbinendeckel angeordnet. Seine Kolbenstange trägt einen zweiten Kolben, der sich in einem besonderen Zylinder bewegt und in Notfällen mit Betriebswasser betätigt wird. Mittels dieses Wasserservomotors werden bei Versagen der Steuerung die Ablenker in etwa 1,5 s vollständig eingeschwenkt. Die Düsen schließen dabei in 18 s. Damit lässt sich die Drehzahlbegrenzung auf das garantierte Mass beschränken. Die Schliesskraft des Wasserservomotors genügt zum sicheren Einschwenken der Ablenker gegen den vollen Oeldruck im Oelservomotor. Sollte dabei die Regulierung voll offen stehen, so stellt sich zwischen den Steuerölleitungen eine Druckdifferenz von 30 at ein, worauf ein Ueberströmventil öffnet und diese Leitungen miteinander verbindet. Der Betriebswasserzutritt zum Wasserservomotor steht unter der Kontrolle eines magnetgesteuerten Notschluss-Steuerventils.

Jede einzelne Düse erhielt ein eigenes Nadel-Steuerventil, so dass sie einzeln abgeschaltet werden kann, wie es der Besteller vorschrieb. Diese Ventile werden von den Ablenkerwellen aus über je eine Kurvenscheibe betätigt. Dabei ist der Zusammenhang zwischen der Ablenkerstellung und der Nadelstellung durch die Form der Kurvenscheibe gegeben, die so bestimmt wurde, dass sich günstigste Verhältnisse ergeben. Der Regelimpuls geht von einem Geschwindigkeitsregler (Fremdlieferung) aus. Dieser verstellt über einen Hebel das Steuerventil des Ablenker-Servomotors und löst dadurch die entsprechende Verdrehung der Ablenker aus. Zugleich schiebt eine mechanische Rückführung, die auf das andere Ende des genannten Hebeln wirkt, das Steuerventil wieder in seine Deckstellung zurück. Mit dem Verdrehen der Strahlablenker bewegen sich auch die Kurvenscheiben der Nadel-Steuerventile und bewirken so eine sinngemäße Bewegung der Düsenadeln. Auch hier sorgt ein mechani-

sches Gestänge für das Rückführen der Kurvenscheiben und damit der Steuerventile, so dass also im Beharrungszustand jeder Belastung eine bestimmte Stellung der Ablenker und der Düsennadeln entspricht. Ferngeber, die von den Rückführwellen angetrieben werden, zeigen die Stellung jeder Düsennadel auf der Instrumententafel an.

Das für die Regelung benötigte Öl sammelt sich in einem grossen, mit Wasserkühlung versehenen Behälter, in dem zwei vertikalachsige Pumpen eingebaut sind, die mittels Elektromotoren angetrieben werden. Davon ist eine Reserve. Die Betriebspumpe fördert das Öl zunächst in einen Windkessel, der durch eine Luftkompressoranlage unter Druck gehalten wird. Eine automatische Einrichtung mit Schwimmer regelt den Druckölzutritt zum Windkessel derart, dass dort der Ölstand konstant bleibt. Dieser kann an einem Anzeiger jederzeit abgelesen werden. Am Windkessel angebrachte Druckschalter dienen zur Anzeige des Öldrucks, zum selbstdämmigen Einschalten der Reservepumpe und zum Betätigen des Notschlusses. Ausser den Servomotoren für die Ablenker und die Düsennadeln werden mit Drucköl betätigt: die Bremsdüse, das Entlüftungsventil zur Ringleitung, die Steuerung zum Notschluss und der Hauptabsperrschieber in der Druckölleitung. Mit Druckwasser aus der Druckleitung arbeiten der Kugelschieber, der Notschluss-Servomotor und die Bremsdüse.

Die Unterlagen zu den Bildern wurden uns in freundlicher Weise von Firma J. M. Voith, GmbH, Heidenheim, zur Verfügung gestellt, was ihr bestens verdankt sei.

Mitteilungen

Neue Hygrostaten der Fr. Sauter AG., Basel. Die Apparate dienen zur Feuchtigkeitsregelung in Klimaanlagen, Kälteanlagen, gewerblichen und industriellen Räumen sowie in Wärme- und Trockenschranken. Sowohl der Apparatekopf als auch der Fühler können für beide Typen einem Temperaturbereich zwischen -20°C und $+70^{\circ}\text{C}$ ausgesetzt werden, wobei der Schalter Leistungen bis zu 10 A (bei 250 V~, $\cos\varphi = 1$) bewältigt. Die beweglichen Teile sind kreuzbandgelagert und haben demzufolge hohe Ansprechempfindlichkeit. Eine Ueberdehnsicherung schützt den Apparat vor Verstellungen. Der Messteil besteht aus einer Baumwollharfe, die unter einer bestimmten Vorspannung arbeitet und sich bei Aufnahme von Wasser verkürzt. Die Verkürzung steht in einem bestimmten Verhältnis zur relativen Luftfeuchtigkeit. Diese Apparate sind wartungsfrei (Baumwollharfen müssen nicht regeneriert werden und sind robuster als Haarharfen) und können für Luftgeschwindigkeiten bis zu 10 m/s verwendet werden. Der Typ HBC wird als Zweipunkt-Regler (Ein-Aus) verwendet und hat einen Einstellbereich (geichte Skala) von 0 bis 95 % r. F., wobei eine feste Schaltdifferenz von 1 % r. F. eingehalten wird. Er ist mit einem Umschaltkontakt (Momentschalter) ausgerüstet. Der Typ HBCC wird als Dreipunkt- oder Zweilauf-Regler sowie als Geber in Regeleinrichtungen mit einem Schmittrelais eingesetzt und kann ebenfalls mittels geeichter Skala zwischen 0 und 95 % r. F. eingestellt werden. Im Gegensatz zum HBC hat dieser

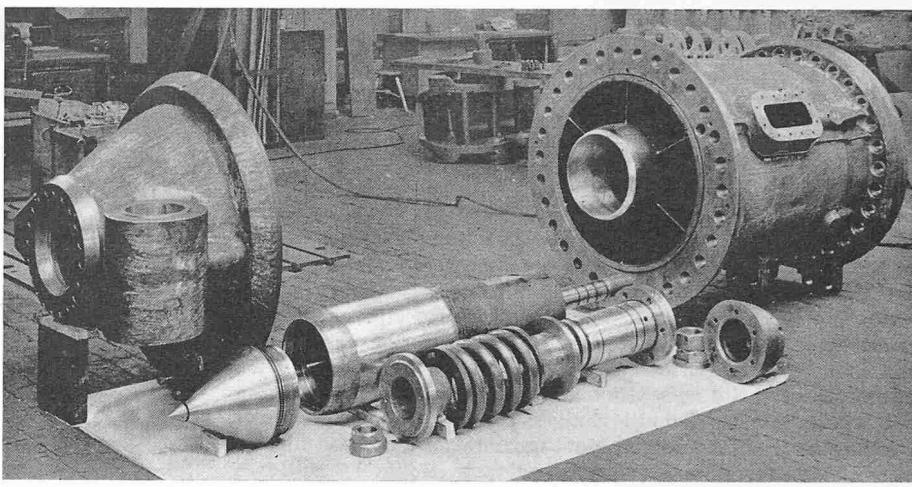


Bild 5. Düse mit Düsennadel und Innenteilen

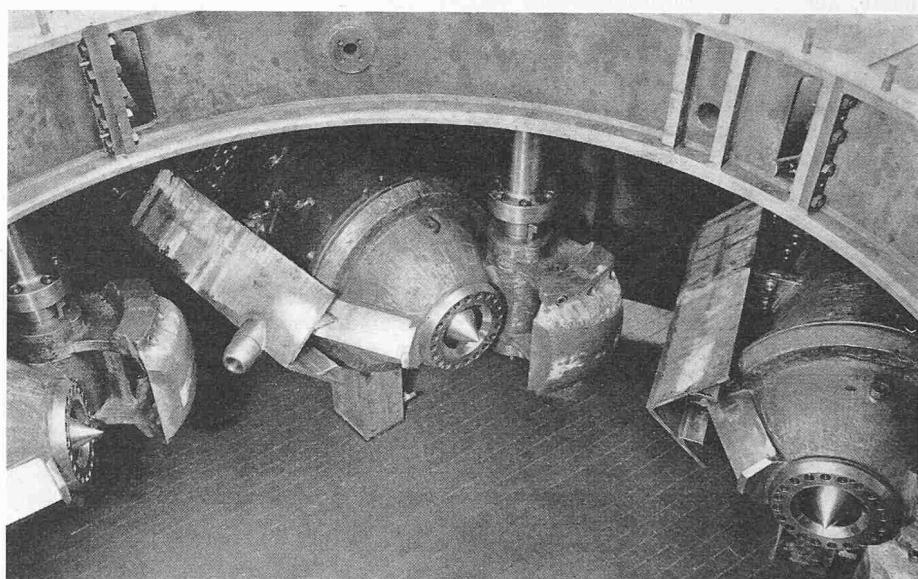


Bild 6. Düsen mit Ablenkern und Schutzhüllen; aus dem Schutzhüll der mittleren Düse ragt die Bremsdüse hervor

Typ zwei Umschaltkontakte, wobei der Schaltabstand zwischen den beiden Umschaltern von 1,5 % r. F. bis 30 % r. F. eingestellt werden kann. Zusätzlich wurde als Geber für die stetige Regelung der Luftfeuchtigkeit in Verbindung mit den bekannten elektromechanischen Sauter-Regelgeräten der Hygrostat Typ HBG entwickelt. Sein normaler Einstellbereich beträgt 20 bis 95 % r. F. und die Geberweite ist einstellbar im Bereich von 5 bis 20 % r. F.

Die Autobahneinführung München-Freimann dient dem Anschluss der Stadt an die Autobahn Richtung Nord; sie führt kreuzungsfrei über den äusseren Autobahnring, die Gleise der Bundesbahn und über städtische Straßen, jedoch mit Anschluss an den äusseren Ring, direkt zum mittleren Autobahnring München. Das interessanteste Bauwerk dieser rd. 3 km langen Einführung der Autobahn in das Weichbild der Stadt ist die 600 m lange Hochbrücke. In 29 Feldern mit Spannweiten von 24 bis 41 m ist diese vorgespannte Eisenbetonkonstruktion ein nicht nur kühnes, sondern auch sehr gefälliges Bauwerk. Die Brücke besitzt einen Hohlkastenquerschnitt von rund 1,4 m Höhe, welcher sich auf kreisrunde Säulen stützt, die sich nach unten verjüngen. Die Hochstrasse und damit auch die Brücke wurden bei einer mittleren monatlichen Leistung von 2000 m² Brückengröße in äusserst kurzer Bauzeit erstellt. Die vorgespannte Konstruktion in Sichtbeton verlangte ein besonders hochwertiges Baumaterial. Durch geeignete Zusätze wurden die verlangten Festigkeiten bei guter Verarbeitungsfähigkeit des