

Escher-Wyss-Rohrturbinen für Niederdruck-Wasserkraftwerke

Autor(en): **Battegay, C.L. / Widdern, H.C. von**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **81 (1963)**

Heft 10

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-66731>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Escher-Wyss-Rohrturbinen für Niederdruck-Wasserkraftwerke

DK 621.243.5

Von C. L. Battegay, dipl. Ing., Zürich, und Dr.-Ing. H. Cardinal v. Widdern, Ravensburg

1. Allgemeine Gesichtspunkte

Das Wasserkraftwerk Rostin in Pommern, das vor mehr als einem Vierteljahrhundert in Betrieb kam, erhielt die ersten von der Escher Wyss AG. gebauten Rohrturbinen. Seither wurde diese Turbinenart weiterentwickelt. In den letzten Jahren sind einige bemerkenswerte Neuanlagen entstanden, über die nachfolgend berichtet werden soll.

Neben der durch den im wesentlichen gradlinigen Durchfluss ermöglichten höheren Ueberlastbarkeit der Rohrturbine dürfte ihr entscheidender Vorteil in dem geringen Mindestabstand der Maschinenachsen liegen. Infolge der praktisch geraden Durchströmung, insbesondere durch das fast gerade Saugrohr, ergibt sich überdies bei Rohrturbinen im Vollastbetrieb ein um etwa 3 % höherer Wirkungsgrad als bei Kaplan- oder Francis-Turbinen mit Knie-Saugrohr.

Die Mehrzahl der neueren Rohrturbinenanlagen weist aus Gründen wirtschaftlicher Dimensionierung des Generators Getriebe auf, welche die niedrigen Drehzahlen der Turbinen so übersetzen, dass schnelllaufende Generatoren mit kleinen Abmessungen gewählt werden können.

Namentlich bei grossen Leistungen und grossen Übersetzungsverhältnissen wird dem Planetengetriebe der Vorzug gegeben, denn es läuft verhältnismässig geräuschlos und ist infolge der nachgiebigen Anordnung der Getriebe-Innenteile ziemlich unempfindlich gegenüber geringfügigen Verlagerungen ihres Wellenmittels, die sich insbesondere bei grösseren Maschinen infolge von Formänderungen, Montage-Unge-nauigkeiten usw. nicht ganz vermeiden lassen. Aus Preisgründen werden aber vielfach, namentlich bei mittleren Maschinenleistungen, auch Stirnradgetriebe verwendet. Bei kleineren Leistungen hat sich auch der Abtrieb der Turbinenleistung über Kegelräder zu dem ausserhalb des Maschinen-

satzes angeordneten und somit ebenfalls gut zugänglichen Generator in einer Reihe von Fällen bewährt.

Schon bei der Rohrturbine Rostin war der wasserumströmte Generator direkt mit dem Laufrad gekuppelt. Diese Bauweise hat namentlich dann ihre Berechtigung, wenn der Generator auch ohne Zwischengetriebe eine in wirtschaftlicher Hinsicht genügend hohe Drehzahl aufweist, was bei nicht zu grossen Turbinenabmessungen und bei zunehmender Fallhöhe zutrifft. Neuere Anlagen werden daher vielfach wieder ohne Getriebe ausgeführt.

2. Rohrturbinen mit Planetengetriebe

Die grössten bisher in Deutschland in Betrieb genommenen Rohrturbinen wurden im Zusammenhang mit dem Ausbau der Mosel durch die Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerke AG., Essen, für die *Anlage Trier* der Moselkraftwerke Trier GmbH, Andernach, geliefert. Jede der im Kraftwerk Trier eingebauten vier Rohrturbinen hat einen Laufraddurchmesser von 4600 mm; Tabelle 1 enthält die Konstruktionsdaten.

Der Aufbau der Rohrturbinen geht aus den Bildern 2 und 3 hervor. Der Maschinensatz zwischen Einlaufrechen und Saugrohr ist gegenüber der Waagrechten um 7° geneigt. In der Einlaufkammer aus Beton dient ein strom-

Tabelle 1. Konstruktionsdaten der Rohrturbinen für das Kraftwerk Trier

Fallhöhe	m	3,0	5,08	6,85
Wasserstrom	m ³ /s	98,0	99,5	72,2
Leistung	PS	3210	6000	6000

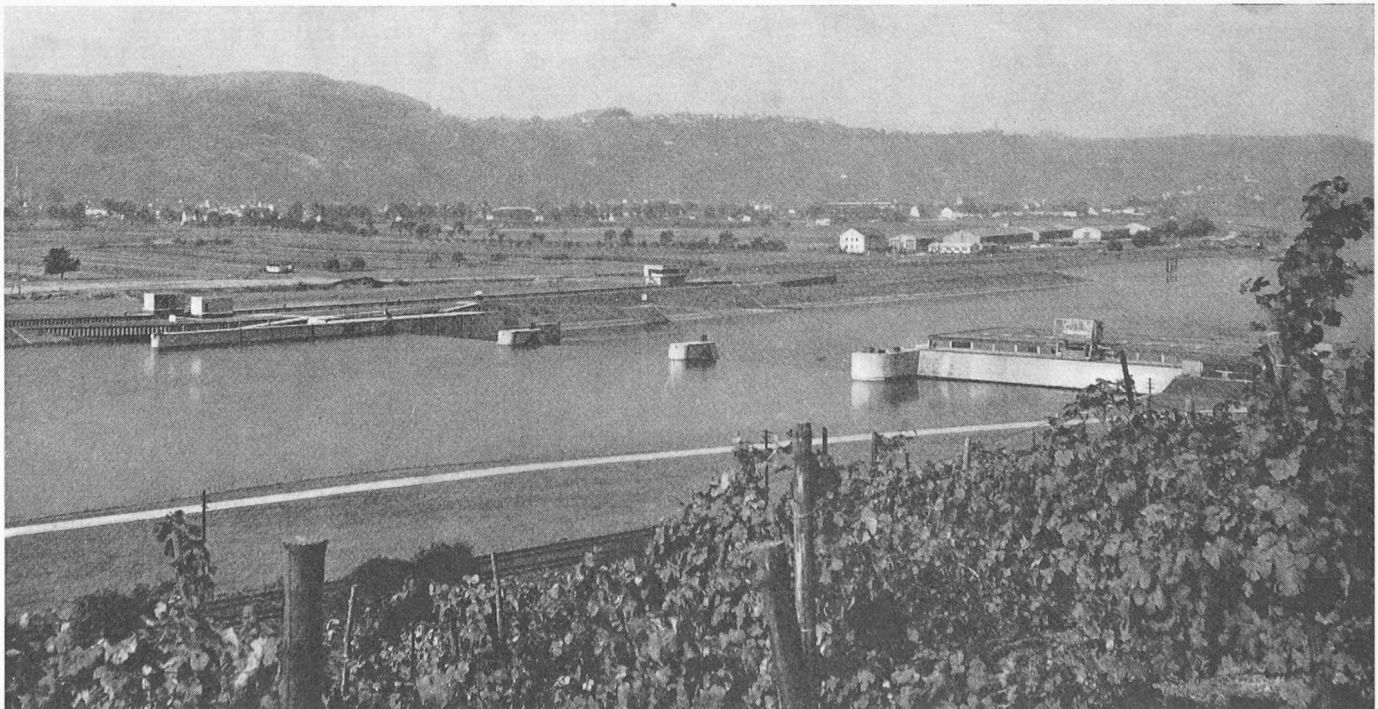


Bild 1. Staustufe Trier der Moselkraftwerke GmbH, Andernach. Man beachte die geringe Höhe des Krafthauses

linienförmiger Betonsockel 1 als Träger des geschweissten Turbinengehäuses, dessen Inneres über den ebenfalls geschweissten Einsteigschacht 2 während des Betriebes bequem zugänglich ist. Zur weiteren Abstützung des Turbinengehäuses gegenüber der Einlaufkammer sind radialverlaufende, geschweisste Stützschaufeln 3 vorhanden, die überdies dem zuströmenden Wasser einen Vordrall geben. Hinter diesen Stützschaufeln folgen die regulierbaren Leitschaufeln 4 und das mit drehbaren Schaufeln versehene Laufrad 5. Die Turbindrehzahl von 78 U/min wird durch ein koaxiales Planetengetriebe 6, System Stoeckicht, auf 750 U/min für den Antrieb des Generators hinaufgesetzt.

Im unteren Turbinenraum befinden sich die Ölpumpen 7 sowie die Sammelbehälter 8 für das Lager- und Regleröl. Das Lageröl wird vor dem Anfahren des Maschinensatzes und während des Betriebes durch elektrisch angetriebene Ölpumpen in die Lager gepumpt. Zur Kühlung des Lager- und Regleröls dienen im Triebwasser angeordnete und am Betonsockel unterhalb des Generators befestigte Kühlrohre 16, Bild 4.

Der Schalttafelregler 10, Bild 2, ist im oberen Maschinenraum aufgestellt. Sein Gehäuse dient als oberer Ölbehälter für die Versorgung der Lager und des Reglers selbst. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit sind zusätzlich

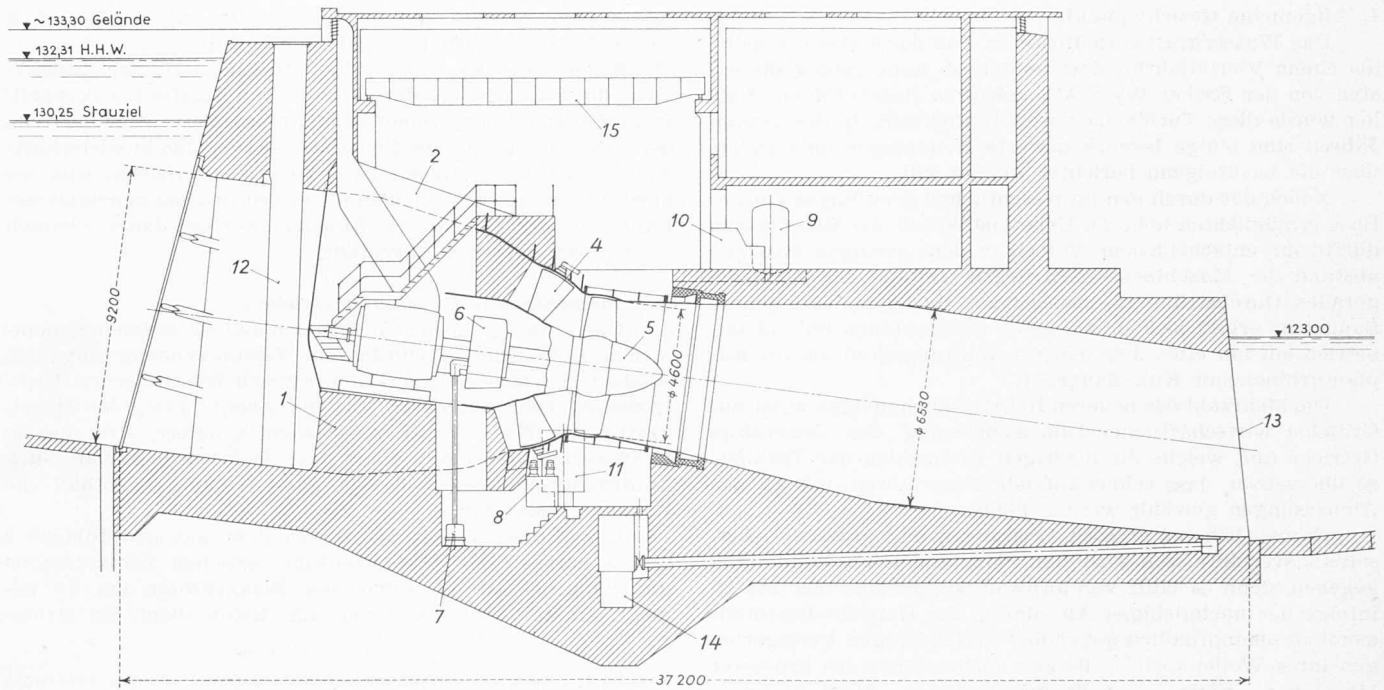


Bild 2. Längsschnitt durch das Krafthaus der Anlage Trier, 1:250

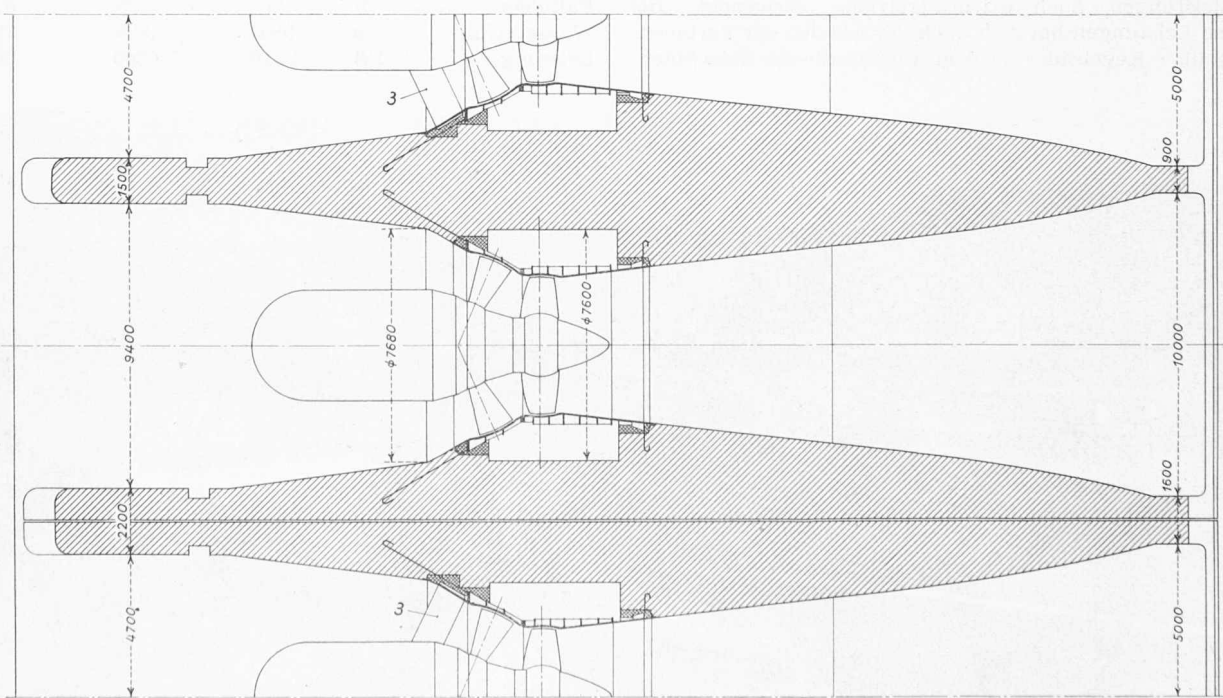


Bild 3. Horizontalschnitt auf der Höhe der Turbinenachse der Anlage Neef mit fast gleichen Abmessungen des Turbineneinbaues wie bei der Anlage Trier, 1:250

- | | | | |
|-------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 Betonsockel | 5 Laufrad | 9 Windkessel | 12 Dammtafelnuten |
| 2 Einsteigschacht | 6 Planetengetriebe | 10 Schalttafelregler | 13 Auslauföffnung |
| 3 Stützschaufeln | 7 Ölpumpe | 11 Leitrad-Servomotor | 14 Entleerungsschacht |
| 4 Leitschaufeln | 8 Ölbehälter | mit Schliessgewicht | 15 Laufkran |

zum Reglerwindkessel 9 Schliessgewichte vorhanden, die ebenso wie die Leitrad-Servomotoren 11 am Reguliererring des Leitrades angreifen.

Auf der Einlaufseite können bei 12 Dammtafeln gesetzt werden, die Auslauföffnung 13 lässt sich durch Abschlussnadeln verschliessen. Die Entwässerung der Einlaufkammer und des Saugrohres sowie des unteren Maschinenraumes erfolgt durch elektrisch angetriebene Pumpen aus dem Schacht 14. Für den Ein- und Ausbau des Maschinensatzes steht ein Maschinenhauskran 15 von 35 t Hubkraft zur Verfügung, der verhältnismässig tief angeordnet ist; die Bauhöhe des Krafthauses konnte somit klein gehalten werden, wodurch den berechtigten Wünschen aus Kreisen des Natur- und Heimatschutzes entsprochen werden konnte, Bild 1.

Aus dem Turbinenlängsschnitt, Bild 4, sind die konstruktiven Einzelheiten ersichtlich.

Aus Fertigungs- und Transportgründen ist das geschweisste Maschinengehäuse mehrteilig ausgeführt. Die Teile werden auf der Baustelle zunächst miteinander ver-

schraubt und dann an den Teilfugen mit einer Dichtschweissung versehen. Maschinengehäuse und Einsteigschacht sind, dem äusseren Wasserdruck entsprechend, auf der Innenseite durch T-Profil-Rippen und Spanten verstärkt. Das Maschinengehäuse hat einen Aussendurchmesser von etwa 4 m, der Einsteigschacht eine Breite von beinahe 3 m; es ist über Treppen während des Betriebes bequem zugänglich. Der von Brown Boveri gelieferte Generator 1 sowie das vom Hüttenwerk Sonthofen gebaute Stoeckicht-Planetengetriebe 2 sind von allen Seiten gut zugänglich und lassen sich durch den Einsteigschacht aus- und einbauen.

Die Generatoren 1 saugen die Kühlluft aus dem Maschinenraum durch die Einsteigschächte an und fördern die warme Abluft durch leicht abbaubare Abluftkanäle 3 nach vertikalen Schächten, die, wie aus Bild 2 ersichtlich, unter dem Maschinenhausdach auf der Oberwasserseite ausmünden.

Die Turbinenwelle ist mit dem Planeten-Träger sowie mit dem Laufrad über je einen Fansch starr gekuppelt. Der Turbinenrotor ruht auf zwei Radiallagern 4 und 5, von denen

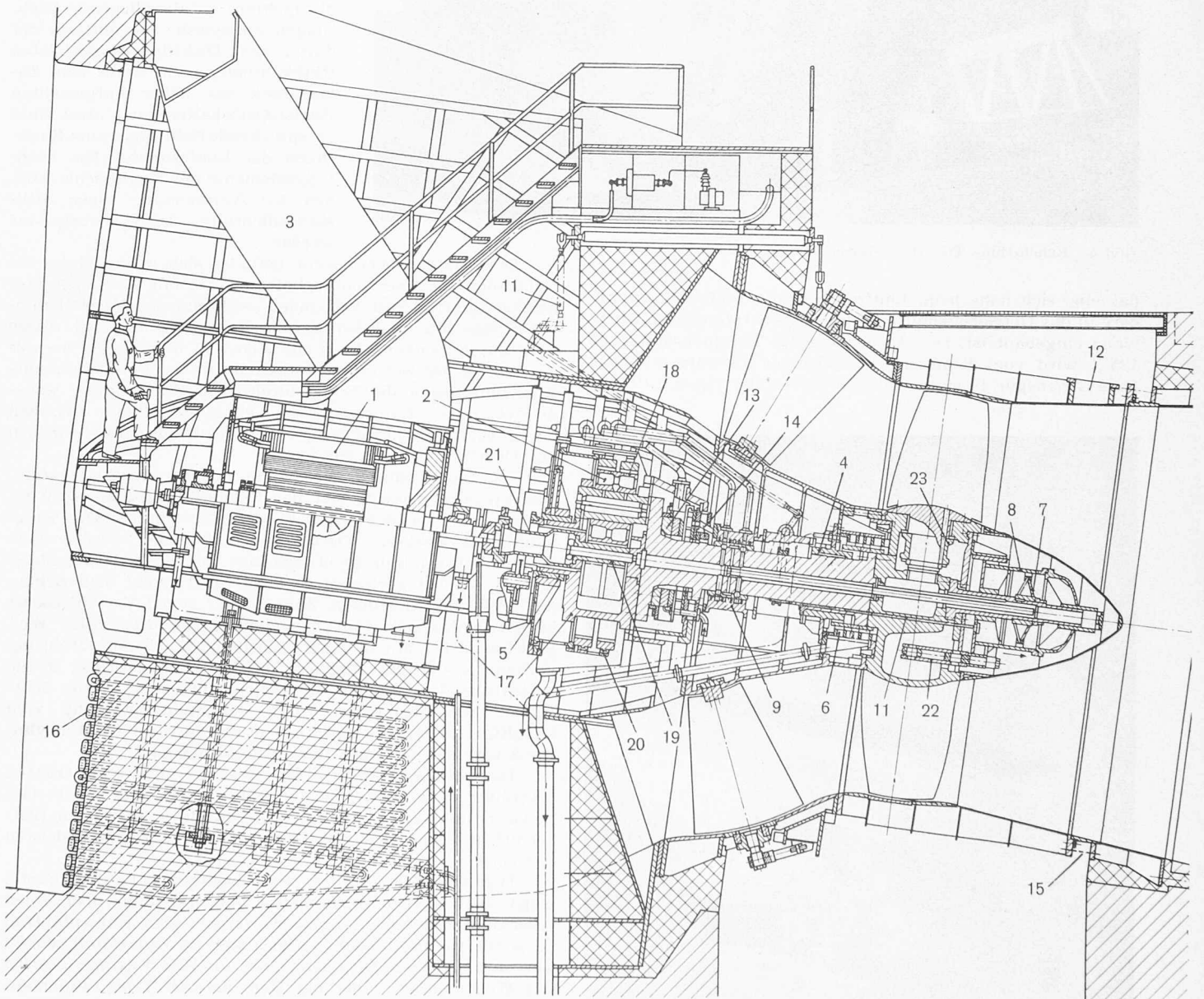


Bild 4. Schnitt durch die Rohrturbine Trier, 1:70

- | | | |
|----------------------------------|--|-------------------------------------|
| 1 Generator | 9 Gehäuse für die Zuführung des Druck- | 17 Planetenträger |
| 2 Planetengetriebe | öles zum Laufrad-Servomotor | 18 Planetenrad |
| 3 demontierbarer Schacht | 11 Rückführgestänge | 19 Sonnenrad |
| für die Generator-Kühlluft | 12 Revisionsöffnung | 20 Aussenrad |
| 4 und 5 Radiallager | 13 Spurlager | 21 Kupplungshülse |
| 6 Stopfbüchse | 14 Gegenspur | 22 Lenker zu 23 |
| 7 Servomotorkolben | 15 Abdrückschrauben am Laufradmantel | 23 Hebel zum Verdrehen der Laufrad- |
| 8 beweglicher Servomotorzylinder | 16 Ölkühlerrohre | schaufeln |

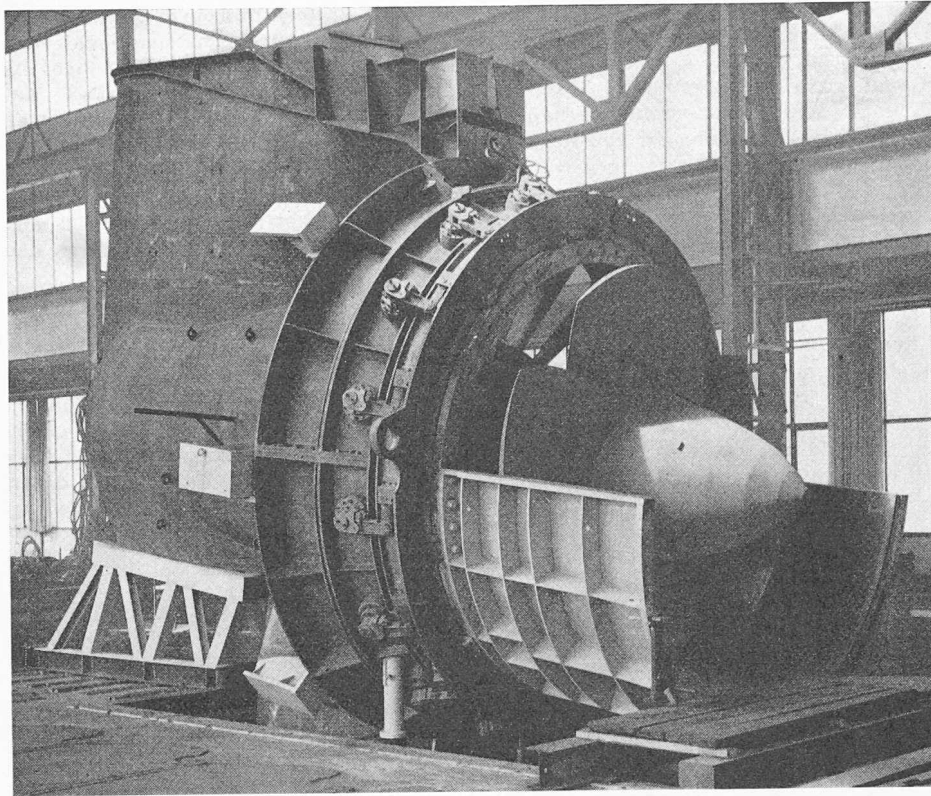


Bild 5. Rohrturbine Trier beim Zusammenbau im Werk

das eine sich nahe beim Laufrad befindet, während das andere in das Getriebegehäuse in dessen generatorseitige Stirnwand eingebaut ist. Der Axial Schub des Turbinenrotors von 125 t wird vom Kippsegment-Spurlager 13 aufgenommen. Eine Gegenspur 14 sichert die Turbinenwelle gegen allfällige

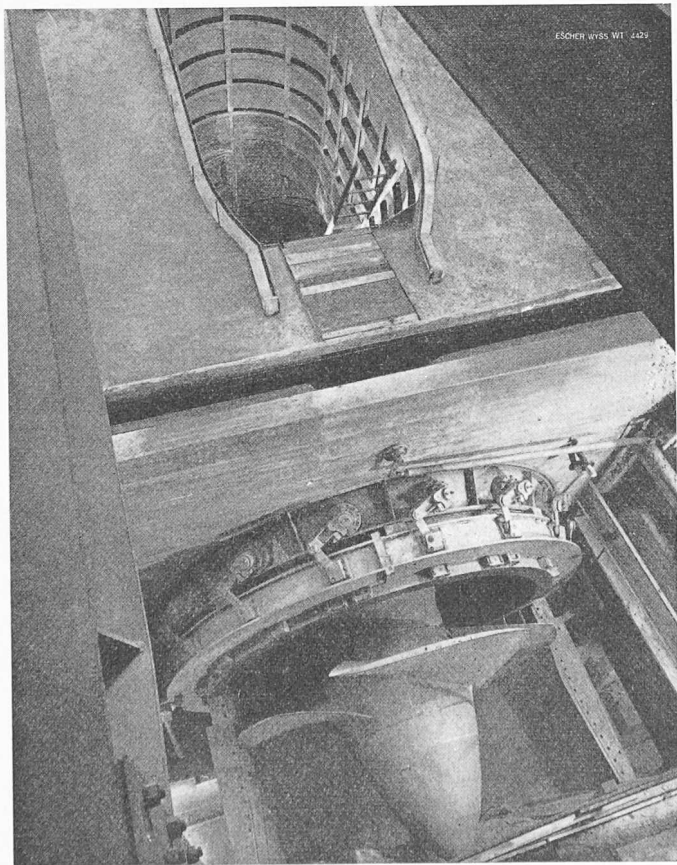


Bild 6. Blick in den Einsteigschacht und das abgedeckte Turbinengehäuse nach beendetem Einbau des Gehäuses im Kraftwerk Trier

Verschiebungen nach der Generatorseite, wie sie bei Abschaltungen vorkommen können.

Die axialen Kräfte der Turbine werden grösstenteils von den Stützschaufeln auf den äusseren Leitradring und von diesem sowie vom unteren Ende des anschliessenden Laufradmantels in den Beton weitergeleitet. Am untern Ende des Laufradmantels sorgt ein Kranz von Abdruckschrauben 15 dafür, dass dort im wesentlichen nur axiale Drucklasten von der Maschine auf den Beton übertragen werden.

Das ganz mit Oel gefüllte Radiallager 4 wird auf der Laufradseite durch eine Spezialstopfbüchse 6 mit mehreren, hintereinander liegenden Ringkammern abgedichtet, die mehrere axial anliegende Dichtungen aufweisen. Die mittlere der durch die Dichtlippen gebildeten Ringkammern steht unter dem Zulaufdruck des höher aufgestellten Regler-Oelbehälters und dient über entsprechende Bohrungen zum Nachfüllen der Laufradnabe. Die Dichtungselemente der Stopfbüchse können bei Verwendung einer Stillstandsichtung leicht ausgebaut werden.

Der Laufrad-Servomotor befindet sich in der Nabe des Laufrades. Der Servomotorkolben 7 ist mit dem sich drehenden Laufrad fest verbunden, während der Verstellzylinder 8 eine hin- und hergehende Bewegung ausführt. Diese wird durch Lenker 22 auf die Hebel 23 übertragen, die auf die Wellen der Schaufeln aufgekeilt sind. Die Schaufelwurzeln sind gegen die Nabe durch zwei Rundschnüre abgedichtet; durch Einpressen von Oel in den Raum zwischen diesen beiden Dichtungen kann jede Laufradschaufel für sich auf Dichtheit geprüft werden.

Die Laufschaufeln werden in üblicher Weise verstellt. Das Steueröl gelangt über das Oelzuführungsgehäuse 9 innerhalb der Turbinenwelle in den Servomotor. Die Ringkanäle für Schliess-, Öffnungs- und Lecköl werden nach beiden Seiten durch Dichtungsringe mit Spezialbelag abgedichtet, die bei geringem axialem Spiel radial dem Schlag der Welle folgen können. Zum Schutz gegen Verschleiss ist innerhalb des Oelzuführungsgehäuses eine zweiteilige Wellenschonbüchse mit radialen Bohrungen für die Oelzuführung vorhanden, die über abgedichtete Verbindungsstücke in die entsprechenden radialen Steuerölbohrungen der Welle übergehen. Für die Uebertragung der Steuerbewegung zum Schalttafelregler 10 (Bild 2) dient ein mit dem Verstellzylinder 8 verbundenes Rückführungsgestänge 11.

Das äussere kegelförmige Gehäuse des regulierbaren Leitrades ist geschweisst und einbetoniert, das innere Gehäuse besteht aus Gusseisen. Die einzeln ausbaubaren Leitrad-schaufeln sind geschweisst und mit Gummidichtungsleisten versehen.

Der ebenfalls geschweisste zweiteilige Laufradmantel weist eine Revisionsöffnung 12 auf und kann über einen Ausbaufansch leicht abgebaut werden. Das Kaplanlaufrad ist somit gut zugänglich; es lässt sich im Bedarfsfall schnell aus- und einbauen. Dies geht auch aus Bild 5 hervor, das bei der Werkmontage einer der Rohrturbinen Trier aufgenommen wurde. Durch die Teilmontage von Lauf- und Leitrad wie auch von Spur- und Halslager sowie der Stopfbüchse im Werk von Escher Wyss ergab sich eine wesentliche Erleichterung der Montage im Kraftwerk (Bild 6).

Das Planetengetriebe weist einen sehr stark gebauten Planetenträger 17 auf, der auf der einen Seite mit der Endflansche der Turbinenwelle verschraubt ist und auf der andern Seite vom Traglager 5 gehalten wird. In ihm sind die drei Planetenräder 18 gelagert. Diese tragen einerseits das

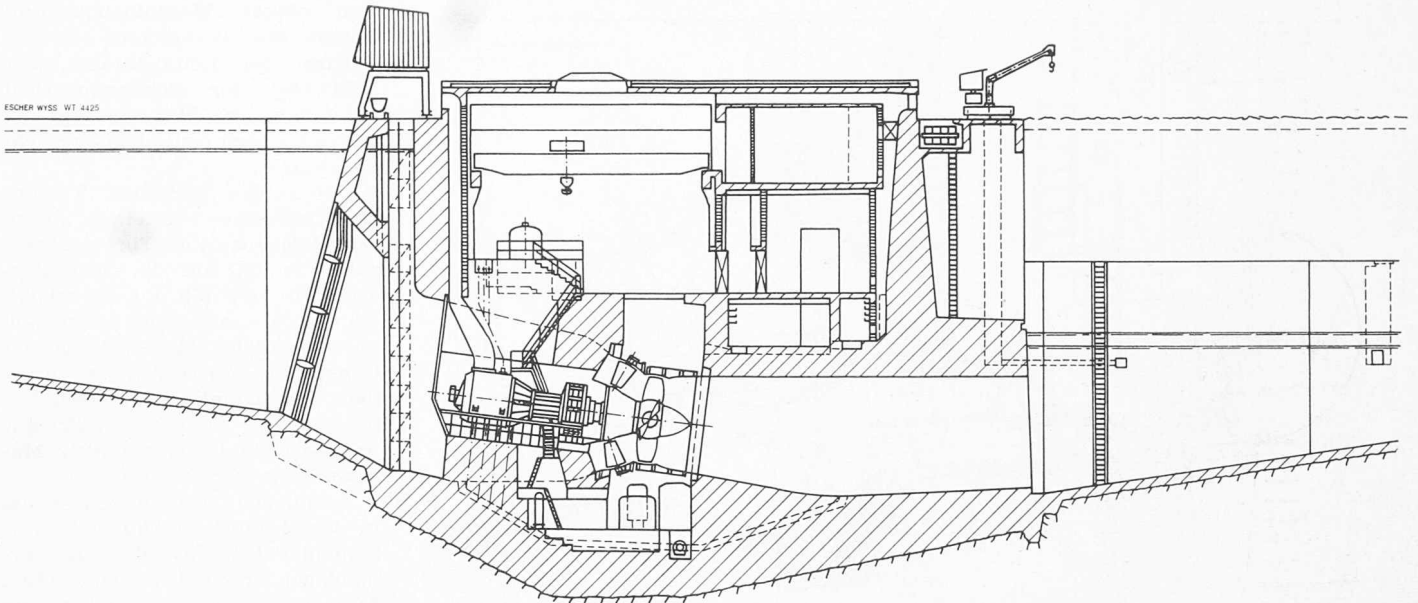


Bild 7. Längsschnitt durch das Krafthaus des Moselkraftwerks Detzem mit vier Rohrturbinen von je 8000 PS

Sonnenrad 19, das sie zugleich zentrieren, sowie andererseits das innenverzahnte Aussenrad 20, das ebenfalls radial elastisch im Getriebegehäuse gelagert ist. Zwischen Sonnenrad und Generatorwelle befindet sich eine Kupplungshülse 21, die mit Bogenzahnsegmenten an ihren Enden versehen ist und dem Sonnenrad eine leichte radiale Verschiebbarkeit gewährt. Dieses kann sich dadurch so einstellen, dass alle drei Planetenräder gleichmässig tragen.

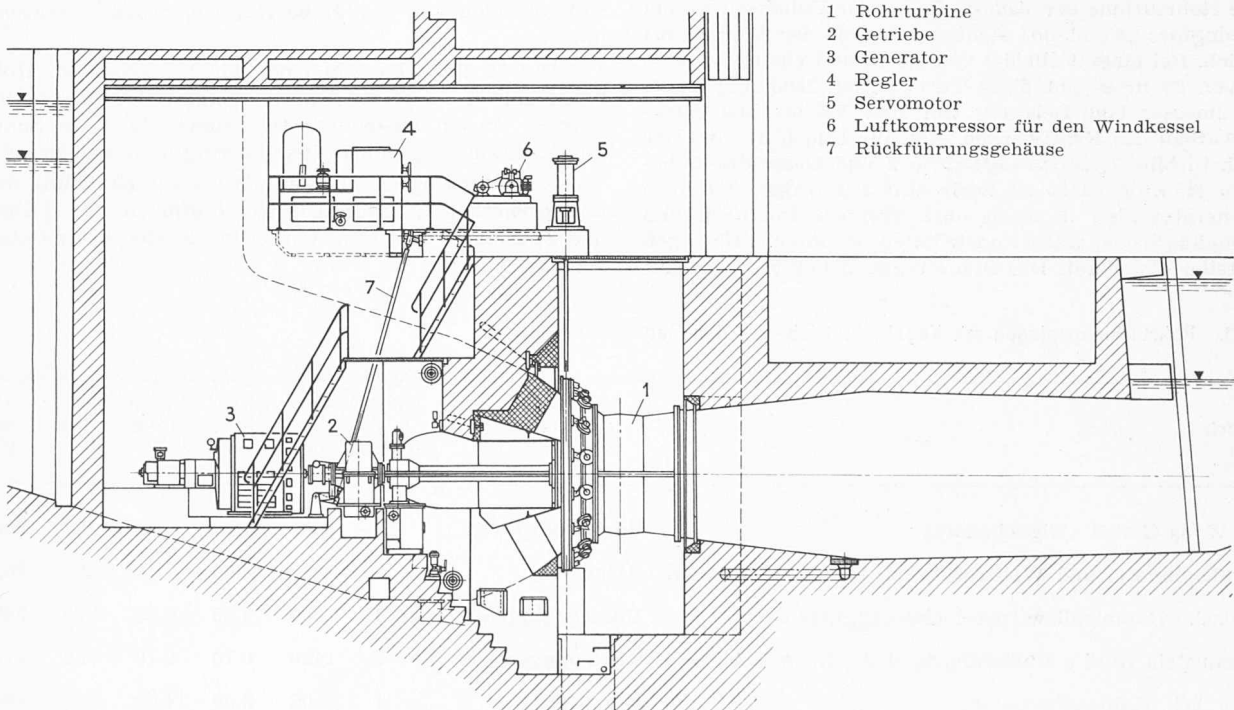
Der Aufbau der vier Rohrturbinen für die ebenfalls dem Moselkraftwerk GmbH Andernach gehörende Anlage Detzem, Bild 7, ist dem der Turbinen Trier sehr ähnlich. Die Konstruktionsdaten sind in Tabelle 2 zu finden.

Als Besonderheit dieser Anlage ist vorgesehen, diese Rohrturbinen auch reversibel zum Rückpumpen, das heisst als Pumpenturbinen einzusetzen. Für diesen Zweck war ein 5-schaufeliges Laufrad notwendig. Eingehende Modellversuche im hydraulischen Laboratorium von Escher Wyss bestätigen die praktische Durchführbarkeit des gewünschten zusätzlichen Pumpenbetriebes, der später in Verbindung

mit einem noch zu erstellenden Pumpspeicherwerk erforderlich wird. Die obere Wasserhaltung der Staustufe Detzem wird dann als Unterwasserbecken des geplanten Pumpspeicherwerkes dienen. Fließt bei geringer Wasserführung der Mosel zu wenig Wasser für die Pumpspeicherung zu, so soll das erforderliche Zuschusswasser mit Hilfe der Pumpen-

Tabelle 2. Hauptdaten der Rohrturbinen der Kraftwerke Detzem und Neef

Staustufe		Detzem	Neef
Laufreddurchmesser	mm	4200	4600
Fallhöhe	m	3,50 bis 8,70	2,5 bis 5,5
Leistung	PS	8000	5410
zugehörige Fallhöhe	m	7,0	5,4
Wasserstrom	m ³ /s	95	99,5
Drehzahlen	U/min	92,5/750	76/750



- 1 Rohrturbine
- 2 Getriebe
- 3 Generator
- 4 Regler
- 5 Servomotor
- 6 Luftkompressor für den Windkessel
- 7 Rückführungsgehäuse

Bild 8. Rohrturbine der Anlage Puhos (Finnland) mit Stirnradgetriebe, 1:150

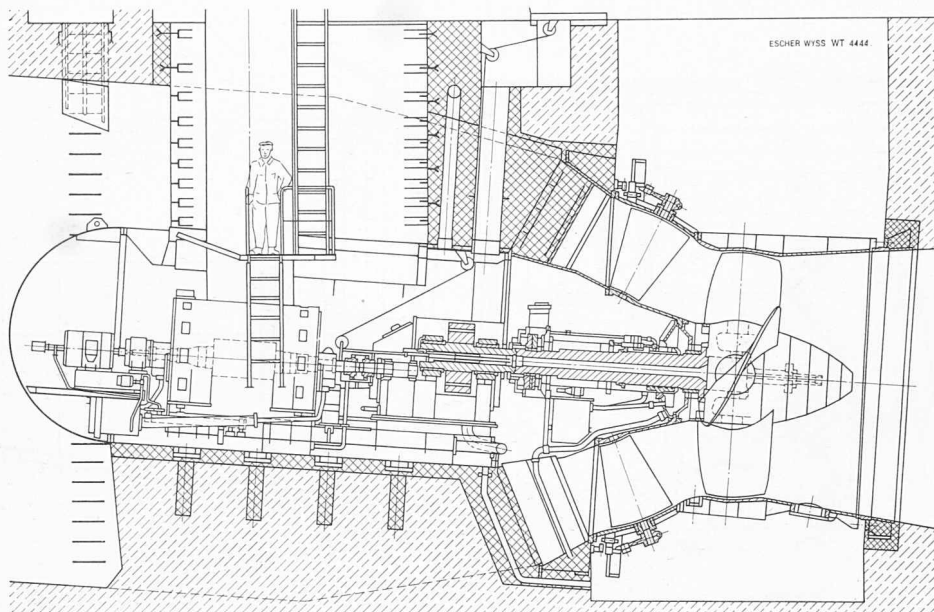


Bild 9. Rohrturbine der Anlage Rüchlig bei Aarau

turbinen vom unteren Flusslauf in den oberen Stauraum hinaufgepumpt werden. Ein später einzubauendes Zusatz-Planeten-Getriebe wird den Pumpenbetrieb mit umgekehrtem Drehsinn und erhöhter Drehzahl ermöglichen.

Die Moselkraftwerke Trier und Detzem mit je vier Rohrturbinen kamen in den Jahren 1961 und 1962 in Betrieb. Der Einbau der vier mit diesen weitgehend übereinstimmenden Einheiten für die flussabwärts gelegene Staustufe Neef der Moselkraftwerke, Andernach, ist für 1963 vorgesehen. Die Konstruktionsdaten sind ebenfalls in Tabelle 2 angegeben. Bemerkenswert an diesen Turbinen ist noch der Ersatz des Schliessgewichtes durch eine entsprechend bemessene Schliessfeder. Weiterhin kommen für die Steuerung von Lauf- und Leitrad erstmals bei so grossen Turbinen die von Escher Wyss für verstellbare Schiffpropeller entwickelten, steuerbaren Rollenpumpen in Anwendung, die sich auch bei verschiedenen von Escher Wyss gebauten grösseren Kaplan-turbinen normaler Bauart bestens bewährt haben.

3. Rohrturbinen mit Stirnradgetrieben

Die Rohrturbine der Anlage Puhos der Puhoksen Voima Oy Helsingfors (Finnland) steht seit Beginn des Jahres 1962 in Betrieb. Bei einer Fallhöhe von 4,5 m und einem Wasserstrom von 20 m³/s gibt diese Turbine mit 2200 mm Laufraddurchmesser eine Leistung von 1087 PS ab. Der allgemeine Aufbau des Kraftwerkes geht aus Bild 8 hervor. Der aus Rohrturbine 1, Stirnradgetriebe 2 und Generator 3 bestehende Maschinensatz ist horizontal angeordnet. Getriebe und Generator sind in einen über Treppen von oben und unten zugänglichen, wasserumströmten, stromlinienförmigen Betonpfeiler eingebaut. Der Steuerregler 4 befindet sich auf

Tabelle 3. Rohrturbinenanlagen mit Kegelradgetriebe für den Generatorantrieb

Auftraggeber	Anlage	Anzahl Turbinen	Lauf- rad ϕ mm	Fall- höhe m	Wasser- strom m ³ /s	Lei- stung PS	Dreh- zahlen U/min
Escher Wyss GmbH (Eigenbedarf)	Ravensburg	1	1000	4,20	4,00	193	300/1000
Baumwollspinnerei und Weberei Arlen, Rielasingen/Baden	Arlen	2	1200	4,60	7,40	392	265/750
Mechanische Baumwollzwirnerei Untereggingen	Untereggingen	1	1200	3,50	6,80	270	248/750
Ecsal Industria Rual e Inmobiliaria S. A., Buenos Aires	Rio Tunuyan	3	1450	6,70	9,70	780	270/750
Herrfors AG., Kallby/Finnland	Herrfors	1	1800	3,50	14,50	582	165/600
Papierfabrik Schachenmayr, Kempten	Weilheim	1	1800	4,35	15,60	783	186/600

dem oberen Maschinenhausflur, ebenso der Servomotor 5 zum Öffnen des Leitapparates. Zur Erhöhung der Schliessicherheit ist unten am Regulerring des Leitrades noch ein Schliessgewicht angebracht.

Durch das zwischen Turbine und Generator befindliche Stirnradgetriebe wird die Turbinendrehzahl von 150 auf die Generator-drehzahl von 750 U/min erhöht. Hierdurch ergeben sich kleine und wirtschaftliche Abmessungen des Generators. Ausserdem ist innerhalb des stromlinienförmigen Betonschachtes gute Zugänglichkeit und Ausbaumöglichkeit aller Maschinenteile gewährleistet.

Aehnlichen Aufbau zeigen die in der Anlage Rüchlig der Jura-Zement-Fabrik AG., Wildeggen, vorhandenen drei Rohrturbinen (Bild 9). Auch diese, für eine Leistung von 1835 PS je Einheit bei einer Nettofallhöhe von 3,3 m und einem Wasserstrom von 46,7 m³/s konstruierten Rohrturbinen übertragen ihre Leistung auf den Generator über ein Stirnradgetriebe, das die Drehzahl von 75 auf 1000 U/min erhöht.

Im Gegensatz zur Anlage Puhos befindet sich aber die Generatorwelle nicht neben, sondern achsparallel unter der Turbinenwelle. Diese Verschiebung der Welle ermöglicht überdies — im Gegensatz zum koaxialen Planetengetriebe — das Rückführungsgestänge und die Oelzuführung für die Lauf- und Leitradverstellung am getriebe-seitigen Ende der Turbinenwelle anzuordnen.

Die Turbinenachse ist um 4° zur Horizontalen geneigt. Ein- und Ausbau von Generator, Getriebe, Spur- und Turbinenführungslager erfolgen durch den Einstiegschacht. Auch bei der Anlage Rüchlig sind alle wesentlichen Teile, insbesondere die Generatoren- und die Stirnradgetriebe, für die Betriebsüberwachung gut zugänglich. Der Servomotor für die Verstellung der 4 Lauf- und Leitrad-schauflern befindet sich auch hier in der Lauf- und Leitrad-nabe. Der untere Teil des Verstellkreuzes dient gleichzeitig als Servomotorzylinder und bewegt sich über den feststehenden, mit der Nabe fest verbundenen Servomotor-kolben.

Die 16 Leitschauflern sind, wie bei grösseren Rohrturbinen üblich, an beiden Enden gelagert und lassen sich bei Bedarf einzeln ausbauen. Der zugehörige, in Schweisskonstruktion ausgeführte Regulerring ist in Rollen gelagert.

Auf Wunsch des Kunden wurden zur Erhöhung der Betriebssicherheit getrennte Oelversorgungen für Führungs- und Spurlager, Stirnradgetriebe und Regler sowie Generator vorgesehen.

4. Rohrturbinen mit Kegelfradgetrieben

Bei Rohrturbinen mit verhältnismässig kleinen Leistungen und Abmessungen haben sich Kegelfradgetriebe gut eingeführt. Diese Bauweise gestattet, normale Generatoren ausserhalb des Turbinengehäuses aufzustellen (Bild 10). Der Wegfall des Maschinenhauses in der bisher üblichen Form führt zu einer wesentlichen Senkung der Baukosten. Bei den in Betracht kommenden Abmessungen und Leistungen kann die Turbine fertig montiert angeliefert werden, so dass sich eine Einsparung an Kosten für die Montage im Kraftwerk sowie eine kürzere Montagezeit ergeben.

Die automatische Regulierung der Turbine erfolgt über den im vorliegenden Fall in der Schalttafel eingebauten Geschwindigkeitsregler, der die Oeffnung des Laufrades steuert. Der mit Hilfe eines Oeldruckservomotors zu öffnende Leitapparat dient zusammen mit einem Schliessgewicht bei etwaigen Störungen als Notschlussvorrichtung. Wird aus irgend einem Grund die höchstzulässige Drehzahl überschritten, so öffnet ein Fliehkraftschalter ein Magnetventil, worauf der Leitapparat mittels des Schliessgewichtes geschlossen und die Turbine zum Stillstand gebracht wird. Die schräg geschnittene Verzahnung der Kegelfräder bürgt in Verbindung mit einer sorgfältig ausgeführten Lagerung für ruhigen Lauf auch bei voller Belastung. Für die Zahnräder wird zur Erhöhung der Lebensdauer eine Speziallegierung verwendet.

Das Drucköl für die Laufradregulierung wird von regelbaren Escher Wyss Rollenpumpen erzeugt. Diese Regulierung ist stufenlos und entspricht allen Anforderungen. Da die Rollenpumpen nicht fördern, wenn keine Regelung im Gange ist, wird im Beharrungszustand fast keine Energie verbraucht.

Rohrturbinen mit Kegelfradgetrieben wurden in letzter Zeit für die in Tabelle 3 angeführten Anlagen gewählt.

5. Rohrturbinen mit direktem Antrieb des Generators

Der Einbau von Rohrturbinen mit direktem Antrieb des Generators kommt dann in Frage, wenn einerseits die Turbinendrehzahl genügend hoch ist und andererseits die Abmessungen der Turbine bzw. Leitradnabe unter Berücksichtigung der hydraulischen Erfordernisse so gross gewählt werden können, dass sich der direkt anzutreibende Generator ohne besonderen Zwang im Gehäuse unterbringen lässt. Entscheidend ist aber auch, ob ein langsam laufender Generator preisgünstiger ist als die Kombination eines Getriebes mit einem raschlaufenden Generator; weiterhin, ob die besseren elektrischen Eigenschaften des schnelllaufenden Generators den Leistungsverlust durch das Getriebe teilweise oder ganz ausgleichen. Sind hinsichtlich Kosten und Gesamtwir-

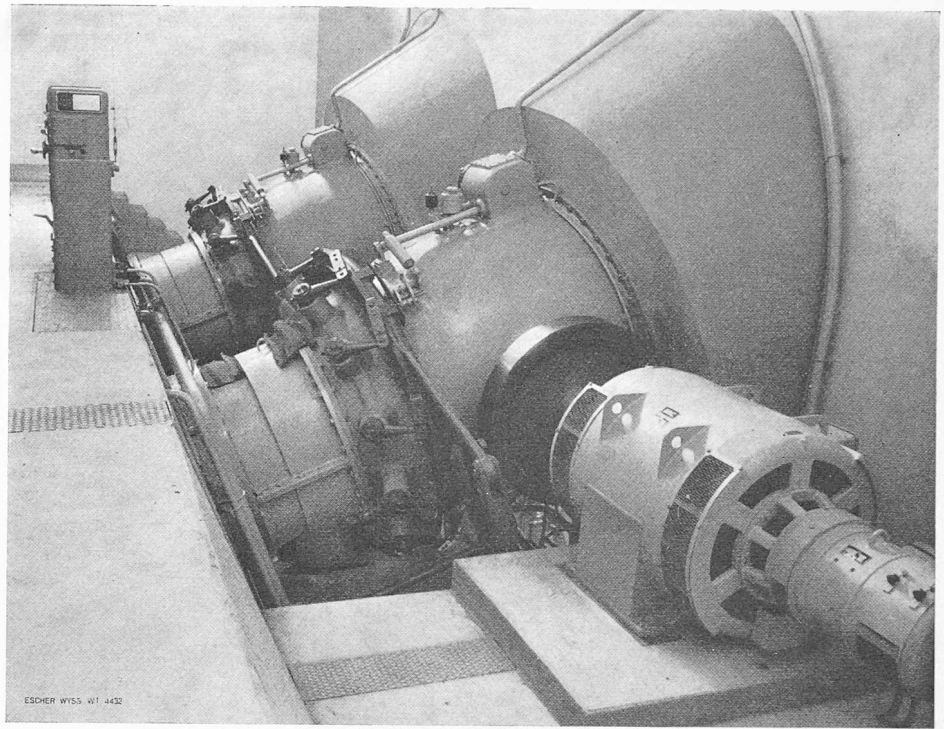


Bild 10. Rohrturbinenanlage in der Baumwollspinnerei und Weberei Arden mit zwei Einheiten von 392 PS und Kegelfradantrieb des Generators

kungsgrad nur geringfügige Unterschiede vorhanden, so verdient doch der direkte Antrieb vielfach den Vorzug, weil hierdurch der Gesamtaufbau etwas einfacher und die Störunganfälligkeit geringer wird. Aus diesen und anderen Gründen wurde bei den in Tabelle 4 angeführten Anlagen der direkte Antrieb gewählt.

Der Aufbau der Maschinengruppe für die Anlage Finsing geht aus Bild 11 hervor. Die Maschinenachse ist mit 20° gegenüber der Horizontalen verhältnismässig stark geneigt. Diese Anlage ist auch ein Beispiel dafür, dass das oberwasserseitig angeordnete, in Schweisskonstruktion ausgeführte Turbinengehäuse, bzw. der zugehörige Einsteigschacht in seinem Stromlinienprofil ohne hydraulische Nachteile reichlich genug bemessen werden kann, um darin den direkt angetriebenen Generator 4 gut zugänglich unterzubringen. Der Regler 10 befindet sich hier wieder auf dem oberen Maschinenhausboden, dagegen der Servomotor 6 für das Oeffnen des Leitrades sowie das zugehörige Schliessgewicht im unteren Turbinenschacht. Oelzuführung 5 sowie Rückführungs- bzw. Steuergestänge 8 für die Laufradverstellung sind am oberwasserseitigen Ende des Generators angeordnet. Die Oelzuführungsrohre zum Servomotor in der Laufradnabe liegen innerhalb der hohlen Wellen von Generator und Turbine, die starr gekuppelt, aber nur zweifach gelagert sind. Das Generatorlager befindet sich auf der Oberwasserseite des Generators. Die Konstruktion entspricht im übrigen weitgehend den schon vorstehend beschriebenen Turbinen des Kraftwerks Trier.

Bei der Anlage Buckenhofen (Bild 12) befindet sich der direkt angetriebene Generator 2 in einem Einsteigschacht

Tabelle 4. Rohrturbinenanlagen mit direktem Antrieb des Generators

Auftraggeber	Anlage	Anzahl Turbinen	Laufraddurchm. mm	Fallhöhe m	Wasserstrom m ³ /s	Leistung PS	Drehzahl U/min
Bayernwerk AG, München	Finsing	1	1300	8,65	9,90	1016	345
Rhein-Main-Donau AG., München	Buckenhofen	2	2450	5,18	35,00	2050	166,7
Bayerische Wasserkraftwerke AG.	Lechstufe III	3	2850	9,40	47,50	5331	166,7

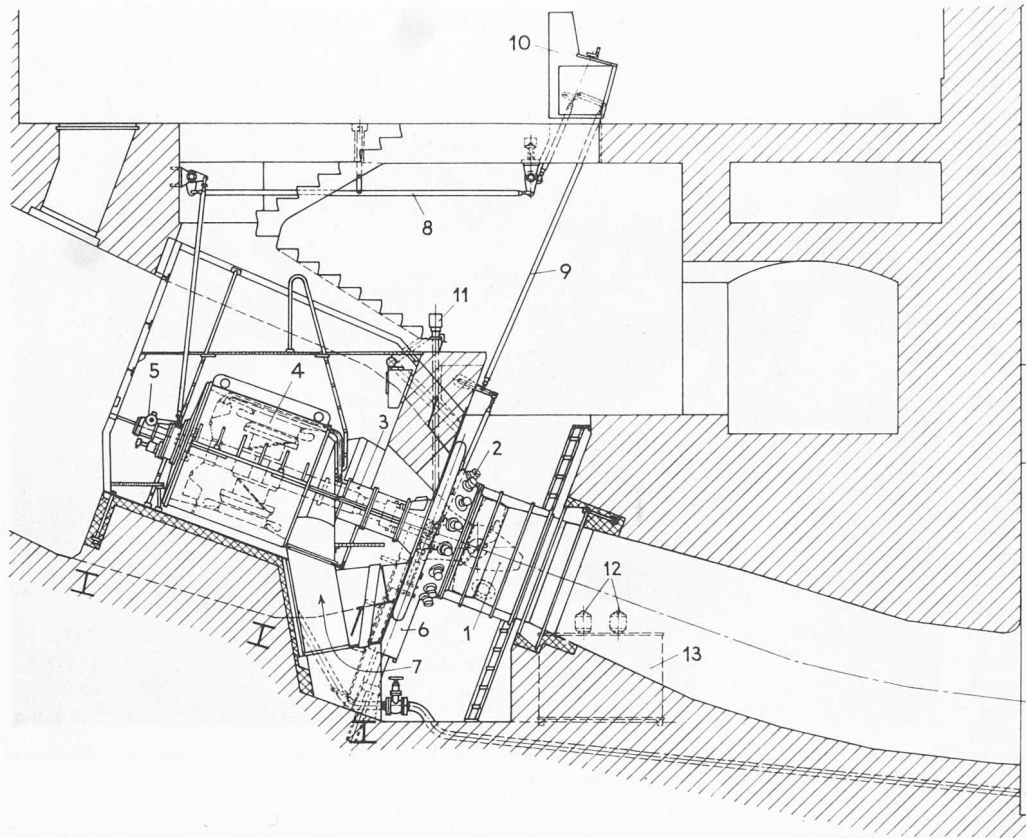
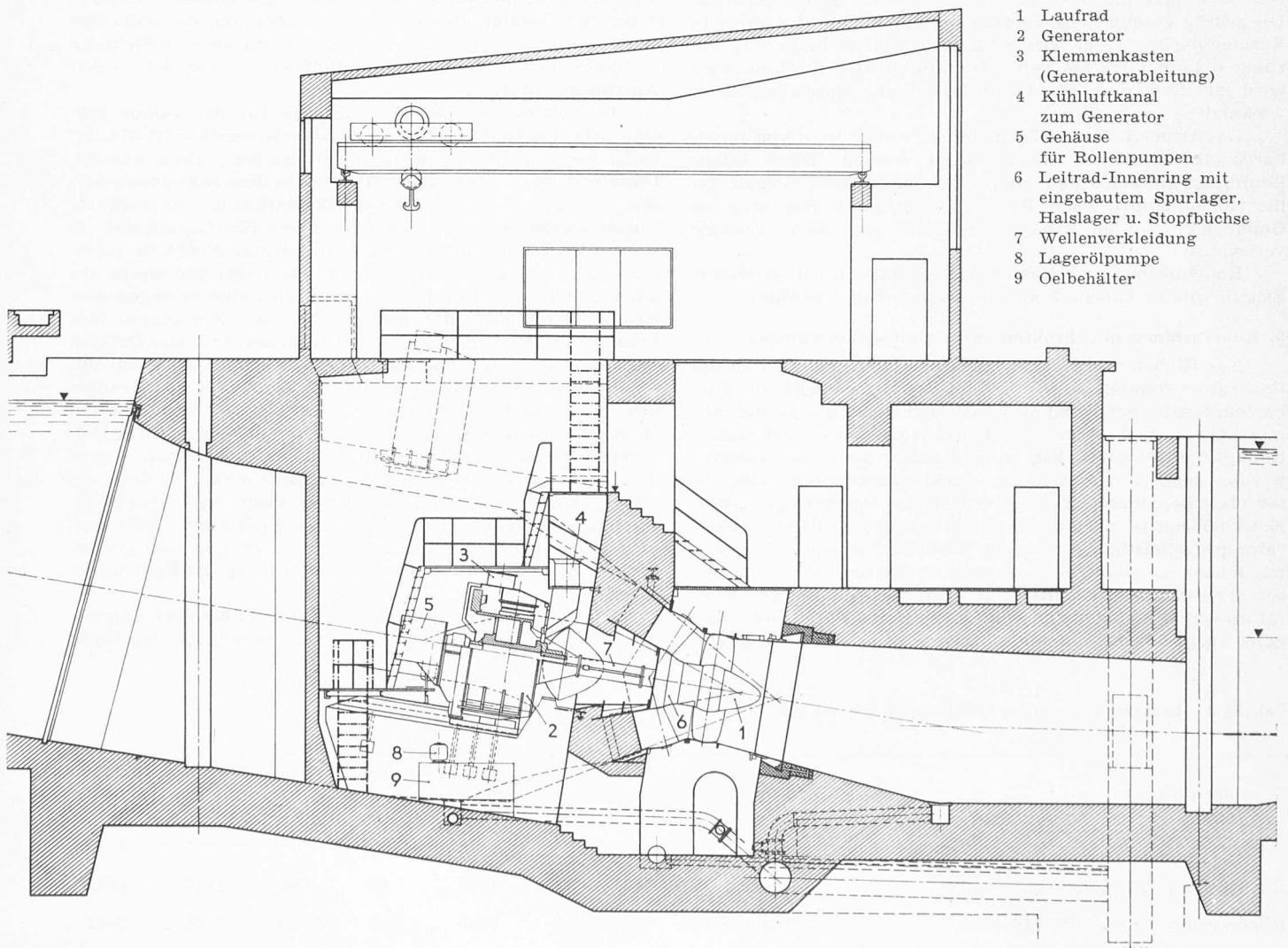


Bild 11. Anlage Finsing bei München mit direktem Antrieb des Generators und starr gekuppelten Wellen, 1:100

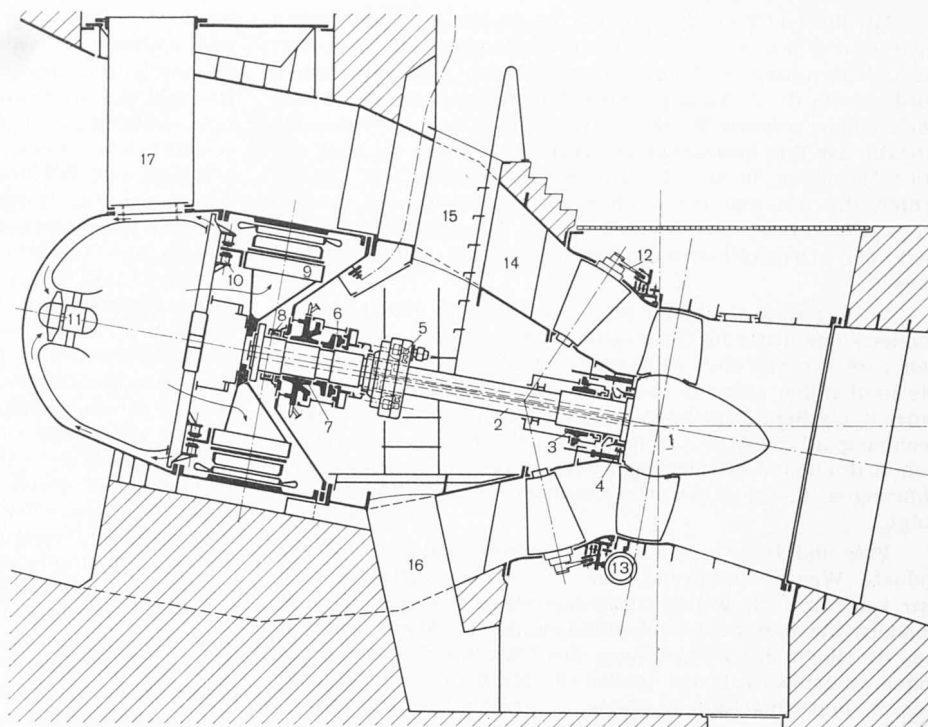
- 1 Laufrad
- 2 Leitapparat
- 3 Wellenverkleidung
- 4 Generator
- 5 Steueröl-Zuführung
- 6 Servomotor mit Schliessgewicht für Leitradverstellung
- 7 Kühlluftzufuhr zum Generator
- 8 Laufrad-Rückführgestänge
- 9 Leitrad-Rückführgestänge
- 10 Regler
- 11 Fettschmierpumpe zum Leitapparat
- 12 Schmierölpumpen
- 13 Ölbehälter



- 1 Laufrad
- 2 Generator
- 3 Klemmenkasten (Generatorableitung)
- 4 Kühlluftkanal zum Generator
- 5 Gehäuse für Rollenpumpen
- 6 Leitrad-Innenring mit eingebautem Spurlager, Halslager u. Stopfbüchse
- 7 Wellenverkleidung
- 8 Lagerölpumpe
- 9 Ölbehälter

Bild 12. Anlage Buckenhofen (Franken) mit zwei Einheiten und direktem Antrieb des Generators, 1:150

Bild 13. Anlage Lechstufe III (Oberbayern) mit drei Einheiten und direktem Antrieb des Generators



- 1 Laufrad mit Servomotor
- 2 Turbinenwelle
- 3 Turbinenlager
- 4 Stopfbüchse
- 5 Rollenpumpen
- 6 Spurlager
- 7 Generatorlager
- 8 Oeldunstabdichtung
- 9 Generator
- 10 Generatorbremse
- 11 Kühlluftgebläse
- 12 Leitapparat
- 13 Leittradservomotor
- 14 Stüttschaukelring
- 15 Turbineneinstieg
- 16 Rohrkanal
- 17 Generatoreinstieg

aus Beton von nur 300 mm Wandstärke. Die baulichen Abmessungen gestatten überdies, den Einsteigschacht mit dem Turbinenraum unterhalb des Generators durch einen genügend weiten Gang zu verbinden, in dem die Lagerölpumpe 8 für die gemeinsame Versorgung der beiden Lager von Generator und Turbine untergebracht ist. Zum Abführen der Generatorwärme sind am Generator turbinenseitig Kühlluftkanäle 4 vorgesehen.

Auch bei dieser Anlage befindet sich der Regler auf dem oberen Maschinenhausboden, ebenso der Servomotor für das Öffnen des Leitrades, dessen Schliessgewicht im unteren Turbinenraum angeordnet ist.

Die Verstellung des in der Laufradnabe untergebrachten Laufradservomotors erfolgt auch hier durch die bereits erwähnten steuerbaren Rollenpumpen.

Die drei Maschinengruppen mit direkt angetriebenen Generatoren für die Anlage Lechstufe III der Bayerischen Wasserkraftwerke AG. (Bild 13) sind insofern neuartig, als hier die Generatoren nicht im Einsteigschacht angeordnet sind, sondern an ihrer Statoroberfläche unmittelbar vom Wasser umströmt werden. Dadurch ergibt sich auch ohne besondere Kühlluftschächte eine wirksame Kühlung. Sie wird noch dadurch erhöht, dass ein elektrisch angetriebenes Gebläse an der inneren Stirnseite der Generatorhaube die im Maschinengehäuse befindliche Luft umwälzt, welche die beim Durchströmen von Rotor und Stator aufgenommene Wärme über die Kühlrippen der Haube an das Betriebswasser abgibt. Durch den Fortfall der Kühlluftschächte wird der bauliche Teil wesentlich vereinfacht.

Der Generator ist über den vorderen oberwasserseitigen Einsteigschacht erreichbar. Die vordere Haube ist so reichlich bemessen, dass der an die Maschinenwelle angeflanschte Generatorrotor mit Hilfe einer Montagevorrichtung sich weit genug nach vorne verschieben lässt, um die Statorwicklungen für eine allfällige Kontrolle oder Instandsetzung bequem zugänglich zu machen.

Die Maschinenwelle ist zweifach gelagert. Die beiden Traglager sowie das Spurlager befinden sich im Turbinengehäuse, in einem sogenannten Lagerraum, der von oben durch einen weiteren Einsteigschacht 15 im Betrieb zugänglich ist.

Auch bei diesen Turbinen werden Lauf- und Leitrad durch Rollenpumpen gesteuert. Der starre Antrieb dieser Pumpen unmittelbar durch die Turbinenwelle bedeutet auch eine gewisse Sicherheit gegen etwaige Störungen in der Steuerölversorgung. Das Ölzuführungsgehäuse für den in der Nabe befindlichen Laufrad-Servomotor ist gegenüber der

Turbinenwelle nachgiebig gelagert und kann den geringfügigen Schwankungen der Welle ohne weiteres folgen. Die Schliessicherheit des Leitrades wird ähnlich wie bei der Anlage Neef an Stelle von Schliessgewichten durch Schliessfedern gewährleistet. Abgesehen davon, haben die Leitschaukeln auf Grund ihrer Gestaltung schon durch die Anströmung ausgeprägte Schliessendenz.

6. Ausblick

Aus den angeführten Beispielen geht hervor, dass sich namentlich bei Wasserkraftanlagen mit kleineren und mittleren Fallhöhen, die Rohrturbine gegenüber der Kaplan-turbine normaler Bauart mehr und mehr durchsetzt. Dies hängt damit zusammen, dass einerseits das Krafthaus — wenigstens in bezug auf die Maschinenabstände — wesentlich kleinere Abmessungen erhält und andererseits die rohrförmigen, fast geraden, in Beton auszuführenden Teile von Einlauf und Saugrohr sich mit wesentlich niedrigerem Kubikmeterpreis ausführen lassen als eine Betonspirale und ein gekrümmtes Saugrohr. Die durch die neue Bauweise gegebenen Entwicklungsmöglichkeiten sind aber noch lange nicht ausgeschöpft. Die bisher ausgeführten Anlagen zeigen auch, dass ihre niedrige und unauffällige Form sich sehr gut in die Landschaft einpasst (Bild 1) und damit auch den berechtigten Forderungen des Naturschutzes entspricht. Auch in konstruktiver Hinsicht ist noch eine Reihe von Entwicklungsmöglichkeiten vorhanden. Dass Rohrturbinenanlagen infolge der praktisch gradlinigen Durchströmung hinsichtlich Wirkungsgrad und Energieausbeute an der Spitze liegen, steht ausser Frage.

Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung

DK 628.1

«Als im Jahre 1954 beim Verlag John Wiley & Sons, New York, das Buch von Fair & Geyer, Water Supply and Waste Water Disposal, erschien, da stand von Anfang an fest, dass den beiden Verfassern ein einmaliger Wurf gelungen war, ein Standardwerk, das einen umfassenden Überblick über die Gebiete des kommunalen Wasserbaues bot. Es ist dem Verlag R. Oldenbourg, München, hoch anzurechnen, dass er es unternommen hat, eine deutsche Uebersetzung dieser einmaligen fachlichen Leistung herauszubringen und dass es ihm gelungen ist, einen langjährigen Schüler von Prof. Fair für die Uebersetzung heranzuziehen.»