

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 72 (1954)
Heft: 27

Artikel: Das Innkraftwerk Simbach-Braunau
Autor: Innwerk Aktiengesellschaft
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-61216>

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: 23.02.2026

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

Das Innkraftwerk Simbach-BraunauMitgeteilt von der **Innwerk Aktiengesellschaft**, Töging am Inn, Bayern**b) Konstruktion der Turbinen***1. Allgemeiner Aufbau*

Im Kraftwerk Braunau ist die in etwa 30 Ausführungen am Inn als zweckmässigste Lösung erkannte Maschinenanordnung mit nur zwei Führungslagern und einem auf dem Turbinendeckel ruhenden Spurlager gewählt (Bild 30). Das obere Führungslager (Generatorlager) ist möglichst weit in das mit abgekröpften Armen versehene Polrad hineingeschoben, um den Abstand zwischen Mitte Stromerzeuger bis Mitte Lager möglichst gering zu halten. Auch das untere Führungslager (Turbinenlager) ist möglichst nahe an das Turbinen-Laufrad gerückt, da doch mit der Wirkung einseitiger und wechselnder hydraulischer Kräfte am Laufrad gerechnet werden muss.

Um eine satte Einbindung der Blechauskleidung des oberen Teiles des Saugschlauches, des Laufradmantels 2 und des unteren Leitradringes 3 in der umgebenden Betonmasse zu erreichen, wurden diese Teile vor dem eigentlichen Turbineneinbau in einer «Vormontage»-Periode eingebaut. Dabei wurden, um besondere Abstützungen der Stahlbeton-Spiralendecke während des Baues zu ersparen, die den beweglichen Turbinen-Leitapparat umgebenden festen Stützschaufeln 5 und der sie zusammenfassende Stützschaufelring 6 vor der Betonierung der Spiralendecke aufgestellt und ebenso wie der doppelwandige Turbinenschachtring 7 mit den hochgehenden Betonmassen vergossen. Die konstruktionsmässige Trennung der Turbinenteile nach Vor- und Hauptmontagefordernissen hat sich bei mehreren grossen Kaplan-turbinen-Anlagen am Inn sehr gut bewährt.

Die 24 beweglichen Leitschaufeln 4 aus Stahlguss sind mit ihrem oberen angegossenen Drehzapfen in dem nach innen vorkragenden Kranz des oberen Stützschaufelringes 6 gelagert, während die unteren Drehzapfen im Leitradring 3 sitzen. Diese Bauart verlangt, dass die einzelnen Leitschaufeln für sich herausgenommen und wieder eingesetzt werden können. Diesem Zwecke dienen Füllstücke 4a am oberen Rande des Leitschaufelblattes, die mit dem Schaufelblatt verschraubt sind. Nach Lösung der Verschraubung können die einzelnen Leitschaufeln so weit angehoben werden, dass ihr unterer Drehzapfen frei wird, worauf die einzelne Schaufel nach Lösung ihrer Verbindung mit dem Regelring und nach Ausbau der entsprechend gestalteten oberen Lagerbüchse geschwenkt werden kann, so dass sie schräg nach der Spirale hin herausgezogen und von dort aus nach oben befördert werden kann.

Die erwähnte Zweilager-Anordnung mit dem auf dem Turbinendeckel 8 ruhenden Spurlager 20 gestattet eine sehr klare Trennung der Turbinen- und der Generatormontage. Es kann nämlich nach Beendigung der eigentlichen Turbinenmontage und nachdem die Maschinenwelle fertig gelagert und ausgerichtet zur Generatormontage frei gegeben ist, das Polrad 56 des Stromerzeugers auf den als Nabensitz ausgebildeten Zylinder des Laufrad-Verstellmotors 31, der an das obere Wellenende angeschmiedet ist, aufgesetzt werden.

In statischer Beziehung bringt die ausgeführte Zweilager-Anordnung ganz klare Verhältnisse für die ungeteilte Maschinenwelle 16; es muss hier der Vorteil der ungeteilten Maschinenwelle betont werden, da bekanntlich jede Flanschverbindung die Ursache zu unrundem Lauf des einen oder anderen Wellenstückes bilden kann. Die erwähnte tiefe Anordnung des Turbinenlagers 17 verlangt seine Ausführung als fettgeschmiertes Lager, über dem erst die Stopfbüchse 19 in Form einer Kohlenringstopfbüchse angeordnet ist. Die Fett-schmierung des Turbinenlagers ist deshalb zulässig, weil die Abkühlungsverhältnisse für dieses vom Wasser umströmte Lager günstig sind und eine zusätzliche Kühlung entbehrlich ist, im Gegensatz zu dem mit Oelschmierung versehenen Generatorlager 32, dessen Schmieröl gekühlt werden muss. Selbstverständlich muss das Spurlager-Schmieröl besonders gekühlt werden. Im Gegensatz zu einem ölgeschmierten Lager kann bei der Fett-schmierung, wie gesagt, die Stopfbüchse über dem Lager sehr gut zugänglich angeordnet werden, während bei einem ölgeschmierten Turbinenlager die Stopfbüchse unter dem Lager beengt und wenig zugänglich angeordnet ist.

DK 621.29

Fortsetzung von Seite 321

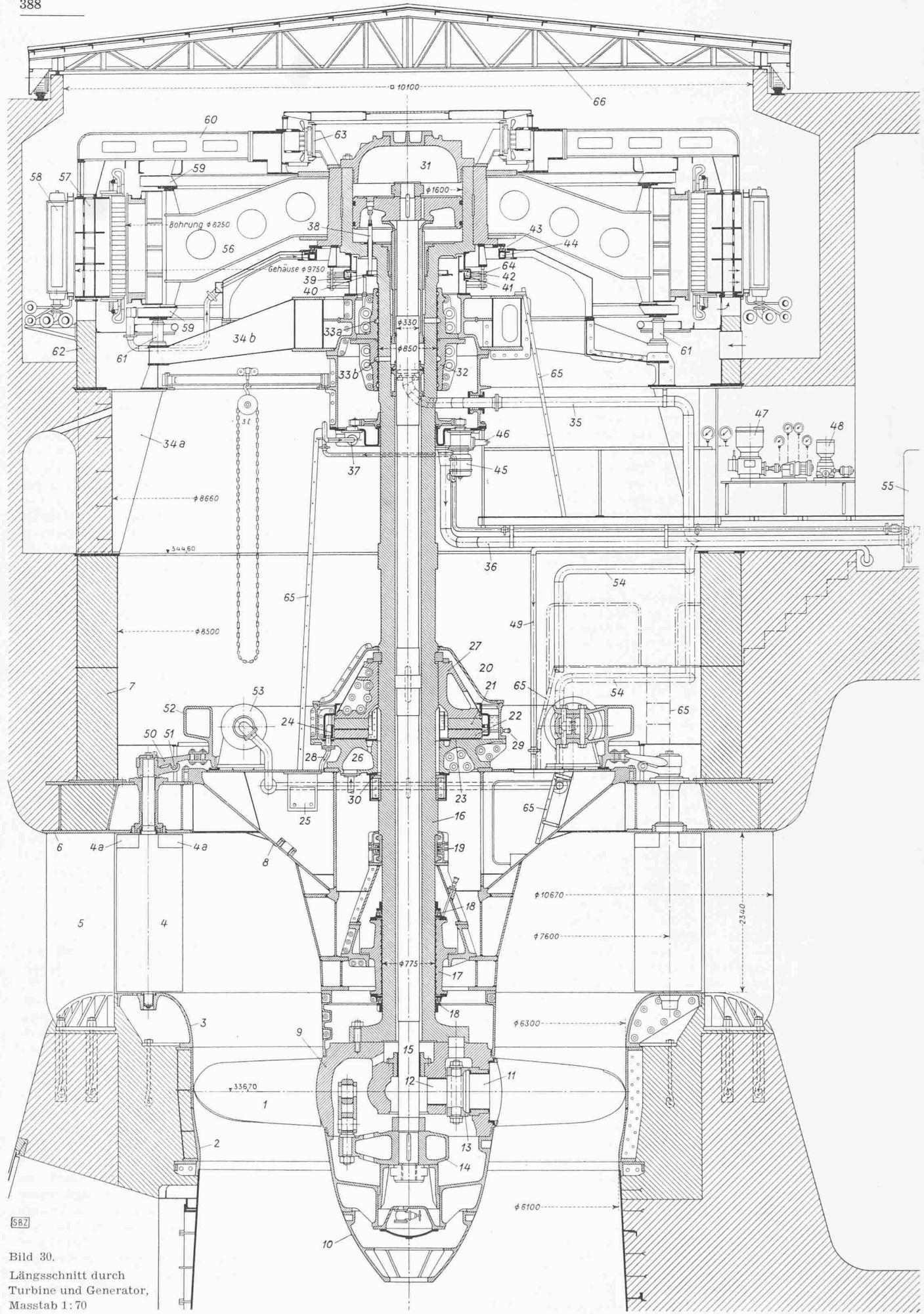
Im einzelnen ist zu der genannten Saugrohrauskleidung unterhalb des Laufrades noch zu bemerken, dass es umfangreiche Erfahrungen in anderen Kaplan-turbinen-Anlagen mit verhältnismässig grosser Fallhöhe angezeigt erscheinen lassen, diese Panzerung sehr kräftig und gegen den Beton hin stark verripipt und kräftig in diesem eingebunden auszuführen. Auf eine besonders sorgfältige Einbetonierung der Panzerung unter Verwendung von Rüttelgeräten und unter Vermeidung zu grober Kiesbeimengung muss bestens geachtet werden, wie auch einer äusserst sorgfältigen und satten Einbetonierung des Laufradmantels grösste Bedeutung beizumessen ist. Die früher übliche und bei grossen Fallhöhen auch jetzt noch oft angewandte Ausführung eines in einen besonderen Ringraum im Turbinenkegel eingesetzten und gegen die Wand abgesteiften Laufradmantels wurde zugunsten des unmittelbar einbetonierten, doppelwandig sehr steif ausgebildeten Laufradmantels verlassen. Die unbedingt notwendige Rundheit des Laufradmantels kann beim Einbau durch geeignete Spannvorrichtungen erreicht werden, etwaige an der Innenfläche des Mantels auftretende Korrosionen und Erosionen können durch Nachschweißungen am eingebauten Stahlmantel beseitigt werden.

Es besteht die Möglichkeit, den Laufradmantel entweder als Kugelzone zu gestalten oder seine obere Hälfte (oberhalb der Drehzapfenebene des Laufrades) zylindrisch und nur die untere Hälfte kugelig zu formen. Die erstgenannte Form ergibt einen durchwegs gleichbleibenden Spalt, da der gleiche Abstand zwischen den nach einer Kugelfläche geformten Stirnseiten der Laufradflügel und dem sie umgebenden Mantel in allen Schaufelstellungen gewahrt ist. Bei dem oben zylindrischen Mantel entstehen zwischen der Zylinderfläche und den kugeligen Schaufelstirnseiten keilförmige, sich nach oben öffnende Zwischenräume, in die sich etwa in die Turbinen eingetriebene Fremdkörper einklemmen und ausserordentlich hohe Biegemomente auf Laufrad und Welle verursachen können. Diese Erscheinung hat schon wiederholt zu so starken Verbiegungen von Wellen geführt, dass eine Zerlegung der Maschine und ein Nachschleifen der Welle (thermisch) erforderlich wurde.

Im vorliegenden Falle wurde jedoch deshalb von der in der ganzen Höhe kugeligen Form des Laufradmantels abgesehen, weil das Einfahren des Laufrades in den nach oben engeren Laufradmantel die Aussparung von besonderen Schlitten für die senkrecht gestellten fünf Schaufelblätter und ihren nachträglichen Verschluss durch Füllstücke erfordert hätte, hauptsächlich aber deshalb, weil die ganz kugelige Form der Laufradummantelung eine gewisse Wirkungsgradverminderung bei starker Beaufschlagung der Turbine verursacht.

Die Frage nach der Zweckmässigkeit einer starren Verbindung der Turbine mit dem Stromerzeuger über eine Stahlkonstruktion, die gleichzeitig Turbinenschachtauskleidung ist, wird verschieden beurteilt. Unzweifelhaft sichert sie aber unter Voraussetzung der erforderlichen genauen Bearbeitung dieser Tragkonstruktion anfänglich und später einen genauen und für die Montage bequemen, unveränderlichen Zusammenbau der beiden Hauptmaschinenteile zu einer geschlossenen Maschineneinheit.

Der kleinste Innendurchmesser der Generator-Tragkonstruktion bzw. die Bohrung des Generatorgehäuses hängt ab vom Durchmesser des Turbinendeckels; bei der vorerwähnten Lagerung der Leitschaufeln in der inneren Verbreiterung des Stützschaufelringes 6 kann der Durchmesser des Turbinendeckels natürlich entsprechend kleiner gehalten werden, so dass er als Ganzes durch die Bohrung des Generatorgehäuses durchgefahrene werden kann. Die Schachtauskleidung besitzt zwölf nach innen geneigte, säulenartige Konsolen 34a, auf die sich der obere Tragschirm 34b zur Aufnahme des Generatorlagers stützt. Gleichzeitig bildet dieser Schirm den unteren Abschluss des Generatorraumes gegen den Turbinenschacht. Über den genannten Konsolen sind auch die Generatorbremsen 61 angeordnet.



Bild

Bild 30. Längsschnitt durch Turbine und Generator, Masstab 1:70

Der Vorteil der Spurlager-Anordnung auf dem Turbinendeckel ist bekannt, er besteht in der kürzesten Ueberleitung der Spurlagerlast über den Turbinendeckel auf die festen Stützschaufeln und weiter über den betonierten Einlaufkegel auf den Unterbau der Turbine.

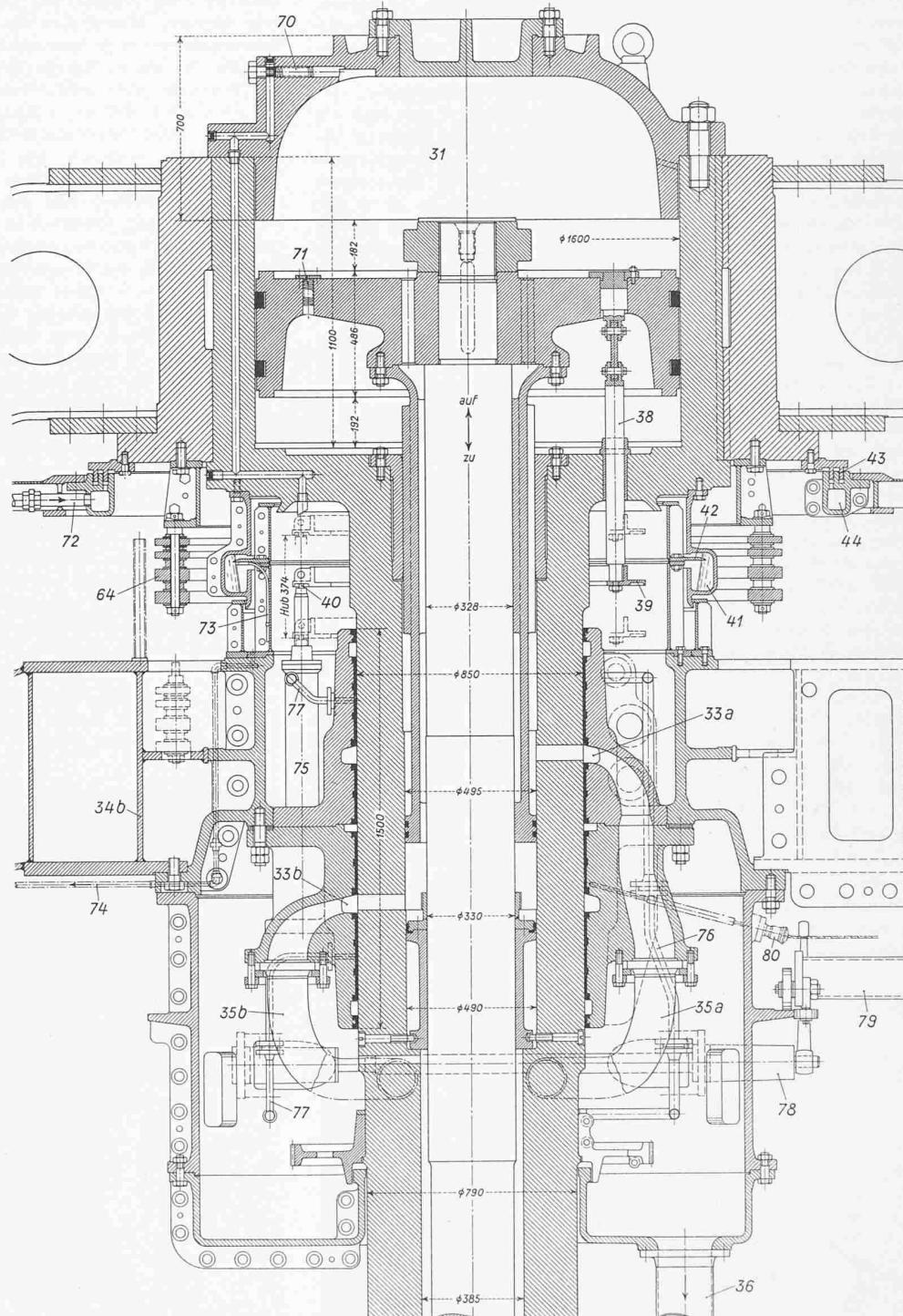
2. Konstruktive Besonderheiten der Turbinen

Eingehende Material- und Modellversuche haben ein genaues Bild über die Korrosionsbeständigkeit der für Kaplan-schaufeln verwendbaren Materialsorten geschaffen; Beigaben

von Chrom, Nickel und Mangan erhöhen die Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion bei Stahlguss mit einer Festigkeit von etwa 5200 kg/cm^2 und einer Bruchdehnung von rd. 15 % wesentlich. Man kann mit Kaplan-schaufeln aus Chromstahlguss (13 % Cr) schärfer an die Kavitationsgrenze herangehen, also ein solches Rad höher über das tiefste Unterwasser legen oder ihm höhere Belastung durch «Ueberöffnung» zutrauen; es ist Sache einer Wirtschaftlichkeitsberechnung, wie weit die wesentlich höheren Anschaffungskosten für Kaplan-schaufeln aus legiertem Stahlguss, deren Bearbeitung auch

Legende zu Bild 30

- 1 Laufrad mit 5 Schaufeln
- 2 Laufradmantel
- 3 Leitradring
- 4 Leitschaufeln
- 4a Füllstücke
- 5 Stützschaufeln
- 6 Stützschaufelring
- 7 Turbinenschachtring
- 8 Turbinendeckel
- 9 Nabenkörper
- 10 Abströmhäube
- 11 äusseres Schaufellager
- 12 inneres Schaufellager
- 13 Verstellhebel
- 14 Verstellkreuz
- 15 Verstellstange
- 16 hohle Maschinenwelle
- 17 Turbinenlager
- 18 Labyrinth zu 17
- 19 Kohlenringstopfbüchse
- 20 Spurlager
- 21 Spurring
- 22 Tragplatten
- 23 Unterlagscheiben aus Buna
- 24 Oelfangring
- 25 Oelkühler zu 20
- 26 Ringkanal
- 27 Tragkopf
- 28 Oelabflussrohre zu 25
- 29 Wärmefühler
- 30 Gegenspur
- 31 Servomotor für Laufradschaufelverstellung
- 32 Generatorlager
- 33a Ringkanal für Öffnen
- 33b Ringkanal für Schliessen
- 34 Konsole
- 34b Tragschirm zu 32
- 35 Reglerölleitungen (2 Leitungen nebeneinander)
- 36 Oelablauf
- 37 Zusatz-Schmierölpumpe
- 38 Stangen zu 39
- 39 Rückführteller
- 40 Kolbenstangenende mit Düse zum Rückführkolben
- 41 Umlaufende Ringkammer zur Tauchdichtung
- 42 Dichtungsscheibe
- 43 Labyrinthring
- 44 Sperrluftkammer
- 45 Generator zum Pendelantriebsmotor
- 46 Sicherheitspendel
- 47 Fettresse für Leitapparat
- 48 Fettresse für Turbinenlager
- 49 Kühlwasser zu 25
- 50 Hebel zu 4
- 51 Bruchsicherung
- 52 Regelring
- 53 Ringkolbenservomotor
- 54 Reglerölleitungen
- 55 Oelbehälter des Reglers
- 56 Polrad des Generators
- 57 Ständer des Generators
- 58 Luftkühler
- 59 Lüfter
- 60 oberes Armsystem
- 61 Generator-Bremsen
- 62 Generator-Tragring
- 63 Hilfsgenerator
- 64 Schleifringe
- 65 Leitern
- 66 zweiteilige verfahrbare Abdækung



etwas kostspieliger ist, durch die günstigeren Einbauverhältnisse, höhere Ausnützbarkeit und längere Lebensdauer bzw. durch Einsparung an Instandsetzungskosten ausgeglichen werden.

Da jedoch bei Herstellung von Laufradflügeln aus hochwertig legiertem Stahlguss nur die Schutzwirkung einer verhältnismässig dünnen Oberflächenschicht ausgenutzt wird, da ferner eine Schutzverkleidung der korrosionsgefährdeten Stellen mit aufgeschweissten, nur einige Millimeter starken Blechen aus korrosionsfestem Material keine auf die Dauer befriedigende Lösung ergibt, wurden die Laufradschaufeln der Braunauer Turbinen zunächst aus unlegiertem Stahlguss, auch ohne Plattierung ausgeführt und nur an der Stirnseite und an einem 150 mm breiten Streifen der Flügelunterseite längs des äusseren Umfanges mit einer korrosionsfesten Auftragschweissung mit hochwertigen Elektroden versehen. Es wurde bewusst der Zukunft überlassen, ob bzw. wo sich im tatsächlichen Betrieb Korrosionen bemerkbar zu machen beginnen, was sich in einem Matt- oder Rauhwerden der betreffenden Stellen eindeutig zeigt. Die im Winter stets stark zurückgehende Wasserführung des Inn erlaubt es, Jahr für Jahr sämtliche Turbinen durchzusehen (ein Vorteil kleiner Maschinenzahl) und etwaige Anfänge von Korrosionen abzuschleifen oder schon etwas vorgeschriftene Angriffe durch Auftragschweissung mit korrosionssicheren Spezial-Elektroden auszumerzen; es werden dabei die tatsächlich gefährdeten Stellen erfasst und erfahrungsgemäss dauernd vor weiteren Angriffen bewahrt.

Die Ausführung dieser Auftragschweissungen auf der Unterseite der Schaufelblätter in natürlicher Lage, also nicht «überkopf», wird durch eine an Laufrädern gleicher Herkunft schon oft mit bestem Erfolg erprobte Konstruktionsmassnahme ermöglicht, dergestalt, dass die Schaufelblätter nach Lösung von ihren Bewegungselementen in der Laufradnabe so weit um ihren Zapfen gedreht werden, dass die zu behandelnden Flächen in die günstigste Arbeitsstellung kommen. Auch die Schweissung von Rissen und Lunkern, die u. U. erst später am eingebauten Rad ausgelöst und entdeckt werden, nicht zuletzt Ultraschall- und Magnetflutuntersuchungen am eingebauten Rad werden durch die beschriebene Wendung der Unterseite nach oben sehr erleichtert. Man wird damit in schwierigen Fällen um den ausserordentlich umständlichen, zeitraubenden und kostspieligen Ausbau eines grossen Kaplanlaufrades mit einer Zeit- und Kostenersparnis von vielleicht 1:10 herumkommen. Bild 34 zeigt ein Laufrad, bei der die Schaufel rechts teilweise im beschriebenen Sinne umgedeutet ist.

Für die Ausbildung des beweglichen Leitapparates war zu entscheiden, ob ein «zylindrischer» oder ein «konischer», also ein Leitapparat mit senkrecht oder unter etwa 30° gegen die Senkrechte stehenden Leitschaufelachsen verwendet werden sollte. Der Letztgenannte hätte neben geringen hydraulischen Vorzügen und einer kleinen Wirkungsgradverbesserung den Vorteil, dass der Turbinendeckel die obere Lagerung

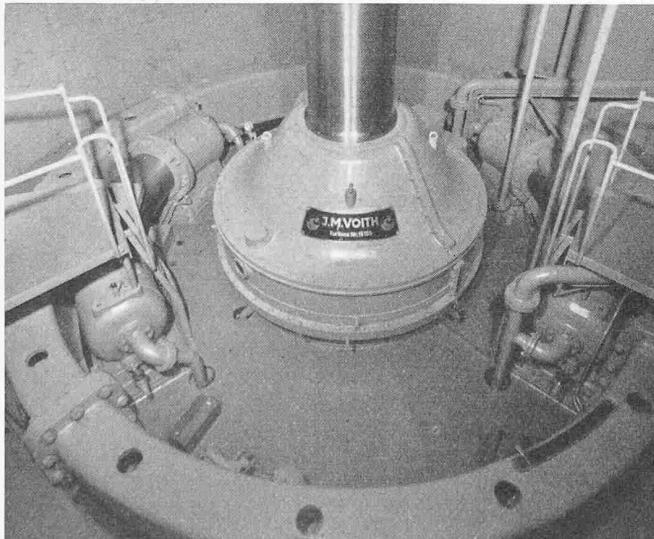


Bild 32. Regulierring mit Ringkolbenservomotoren und Spurlager

der Leitschaufel aufnehmen und trotzdem in seinem Durchmesser wesentlich kleiner gehalten werden könnte als beim zylindrischen, was für die Uebertragung der Spurlagerlast auf den Unterbau der Turbine vorteilhaft wäre. Die Bearbeitung der Leitschaufellagerung erfordert jedoch beim konischen Leitapparat besondere Vorrichtungen (Schrägbohrwerk und dgl.), deren Anschaffung sich nur bei gleichzeitiger Herstellung einer grösseren Anzahl gleicher Turbinen als lohnend erweist, eine Voraussetzung, die bei den vier Turbinen der Anlage Braunau nicht gegeben war. Bei dem hier ausgeführten zylindrischen Leitapparat kann ferner das Laufrad ohne Ausbau der Leitschaufeln nach oben ausgefahren werden, wenn dies für ganz durchgreifende Instandsetzungsarbeiten je einmal erforderlich wäre.

Bei der zeitweilig starken Verunreinigung des Innwassers mit feinstem, aber sehr scharfkörnigem Gletscherschliff-Sand hat sich die in früheren Anlagen entwickelte und bestens bewährte «Abwehr»-Schmierung der Leitschaufellager als zweckmässig erwiesen. Sie besteht darin, dass das von einer motorbetriebenen Fettpresse in bestimmten Zeitabständen eingepresste Schmierfett durch ein Labyrinth und eine Manschettendichtung hindurch in den Wasserraum hinausgedrückt und hierbei etwa schon eingedrungener Sand unschädlich wegbefördert wird. Selbstverständlich ist in die Gelenkverbindung zwischen den einzelnen Leitschaufeln und dem innen liegenden vierteiligen Regelring 52 aus Stahlguss je eine Bruchsicherung in Form eines auf Zug beanspruchten eingekerbten Bruchbolzens 51 eingeschaltet, der bei etwaigem Bruch ohne weiteres während des Betriebs ausgewechselt werden kann.

Neuartig, jedoch in einer vor Braunau gebauten Kaplan-turbinen-Anlage erstmalig schon verwendet und dort bestens bewährt ist der Antrieb des Regelringes durch zwei Paare von Ringkolben-Servomotoren 53, die ein reines Drehmoment abgeben (Bilder 32 u. 33). Die Reaktionskräfte werden vom Turbinendeckel als dem Sitz dieser Servomotoren unmittelbar übernommen, so dass keine äusseren Verstellkräfte auftreten, die sonst von der Verankerung dieser Servomotoren in der Turbinenschachtwand aufgenommen werden müssen. Die Ueberleitung dieser oft sehr erheblichen Zug- und Druckkräfte in die meist stark bewehrte Turbinenschachtwand war stets mit konstruktiven Unbequemlichkeiten und Schwierigkeiten verknüpft.

Der Regelring der Turbine wird nach dem Schliessen des Leitapparates durch zwei als Klinken ausgebildete Riegel gegen selbstdämmiges Oeffnen gesichert, und es kann nach

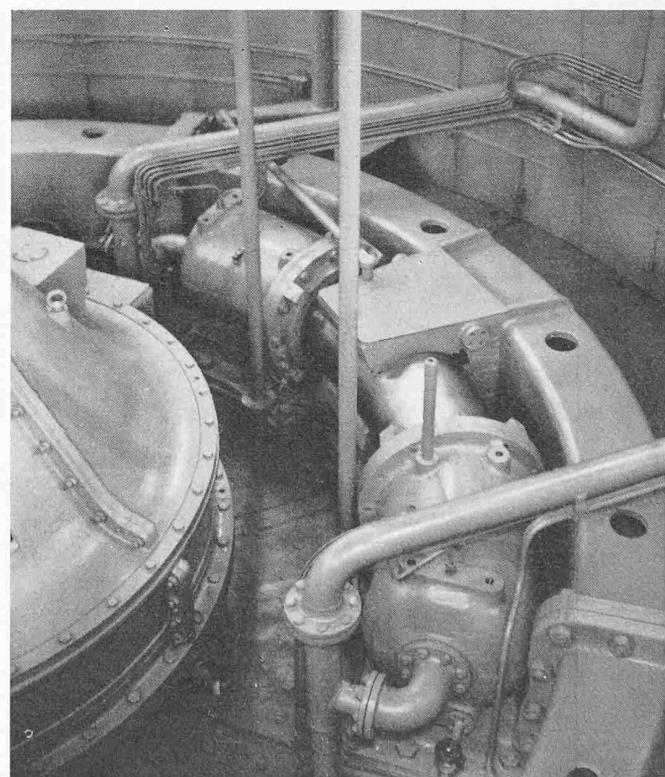


Bild 33. Ringkolben-Servomotor, links Spurlager

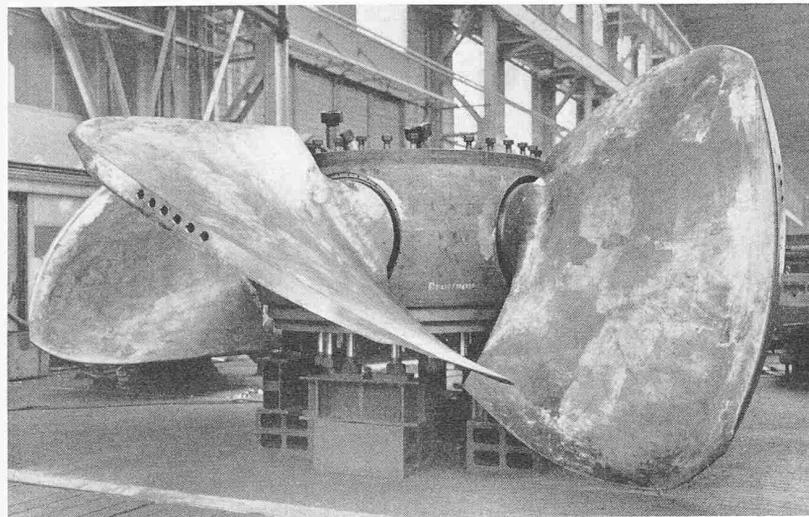


Bild 34. Turbinenrad, Schaufel rechts umgewendet

dieser Verriegelung der Schliessdruck von den Leitapparat-Servomotoren weggenommen werden. Die Klinke wird durch Federdruck eingelegt, ihre Lösung wird durch kleine Oeldruckzylinder bewerkstelligt. Dies ist jedoch nur möglich, wenn die Klinken entlastet sind, also wenn genügend Oeldruck auf den Leitapparat-Servomotoren steht. Es ist durch eine entsprechende Steuerung der Riegelbetätigung unmöglich gemacht, den Regelring im Oeffnungssinne zu bewegen, so lange die Riegel eingelegt sind.

Beachtenswert ist ferner die Ausführung des Turbinendeckels in vollständig geschweißter Stahlkonstruktion besonderer Bauart, die im wesentlichen darin besteht, dass die zentrale Spurlagerlast über eine zugbandartig wirkende Schale auf das Auflager am äusseren Deckelflansch übertragen wird. Die Fertigung der grossen Turbinendeckel von über 6,6 m Ø in Schweisskonstruktion stellte allerdings sehr hohe Anforderungen an Konstruktion, Material und Fertigung, die im vorliegenden Falle einwandfrei bewältigt wurden. In dem enger werdenden Hals des Turbinendeckels ist ein besonderer Tragkörper für das Turbinenlager und ein kegelförmiger Aufbau für die Kohlenringstopfbüchse eingebaut; durch einen bei der gegebenen Grösse des Deckels recht

bequemen Einstieg sind Stopfbüchse und unteres Lager gut zugänglich gemacht. Bild 37 zeigt das Verfahren eines fertigen Turbinendeckels, Bild 38 eine Deckelhälfte in der Schweißwerkstatt.

Das für eine höchste Belastung von 660 t bei 83,4 U/min gebaute Segment-Spurlager 20 besitzt als Mittelpulplager einen zweiteiligen, zusammengeschraubten Spurring 21 aus Stahl 50.11 mit einem äusseren Durchmesser von 2150 und einem inneren Durchmesser von 1150 mm. Die zwölf Tragplatten 22 bestehen ebenfalls aus Stahl 50.11, die an der Lauffläche mit Weissmetall (Motor-Glyco) belegt sind, das mit der Stahlunterlage eine gute Bindung eingeht; die tragende Fläche der Segmente beträgt etwa 80 % der vollen Kreisringfläche. Die stets erforderliche gewisse Nachgiebigkeit und Kippfähigkeit der Tragplatten, die ebenso wie der Spurring und die Unterlagscheiben unter den Platten satzweise auf genau gleiche Höhe geschliffen sind, werden durch Lagerung auf diesen 5 mm starken Unterlagscheiben 23 aus ölbeständigem Buna-Material erzielt. Die etwa 1500 Liter betragende Füllung dieses Spurlagers besteht aus Mineralöl mit 7 ° Engler bei 50 ° C. Bild 40 zeigt die Konstruktion des Spurlagers in grösserem Maßstab.

Das Wesentliche dieser Spurlagerkonstruktion ist ihre Selbstschmierung durch einen vierteiligen Oelfangring 24, der die sonst übliche, unmittelbar von der Maschinewelle aus oder durch einen Elektromotor angetriebene Spurlageröl-Umwälzpumpe entbehrlich macht und dadurch den Gesamtaufbau der Maschine wesentlich vereinfacht. Bei dieser Konstruktion wird das warme Oel, das an den Auslaufkanten der Tragplatten austritt, durch besondere Oelabstreifer 81 gefasst und nach aussen geleitet, im unteren Teil des Oelfangringes aufgefangen und durch acht Oeffnungen in einen oberen Ringraum dieses Rings geführt. Dieser obere Ringteil ist in acht Zellen unterteilt, in denen das Oel durch den umlaufenden Spurring und Tragkopf in Umfangsrichtung mitgenommen wird. Durch weitere, im Oelfangring eingebaute Staukanten wird die Geschwindigkeit des umlaufenden Oeles in Druck umgesetzt, der bei den gegebenen Verhältnissen genügt, das Schmieröl in einer Menge von etwa 360 l/min an vier Stellen aus dem Spurlagergehäuse abzuführen und über

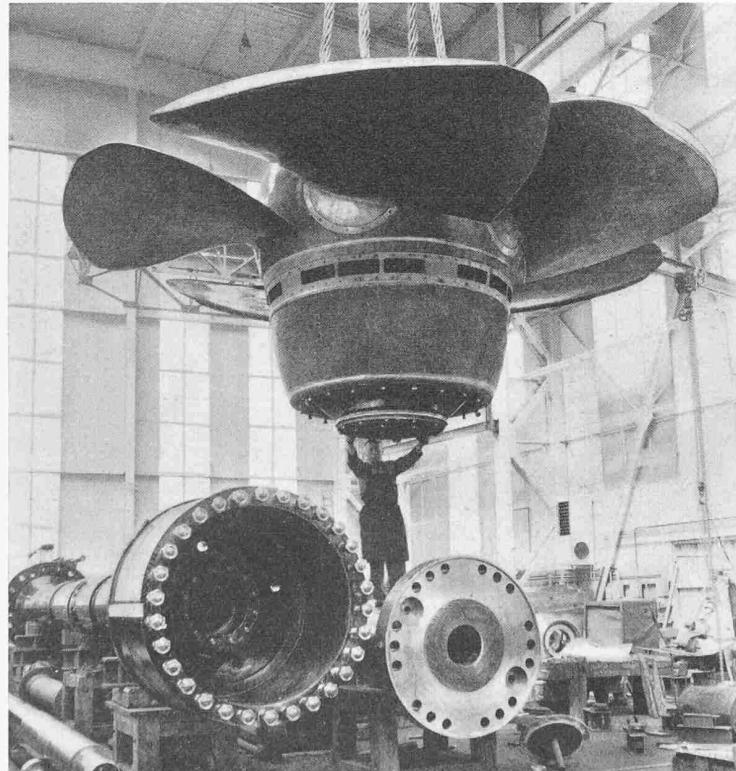


Bild 35. Laufrad und Wellen in der Werkstatt der Firma Voith

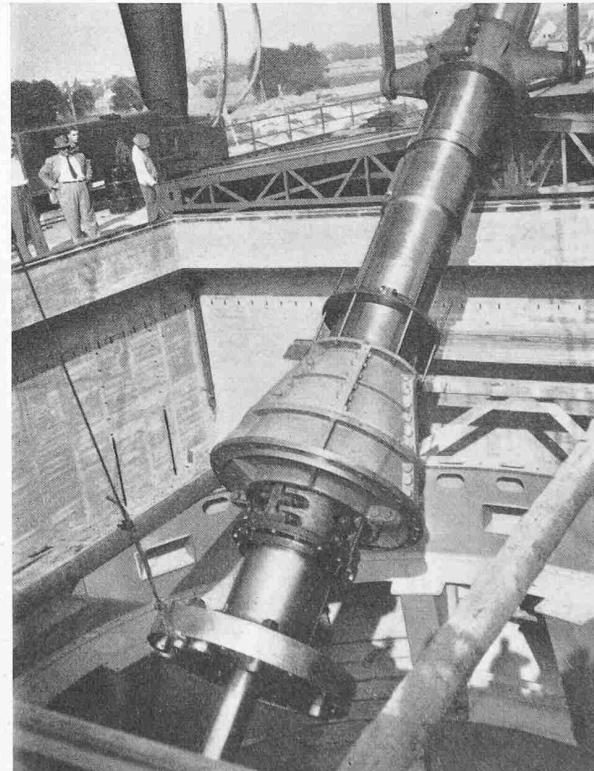


Bild 36. Montage der Welle mit Turbinenlager

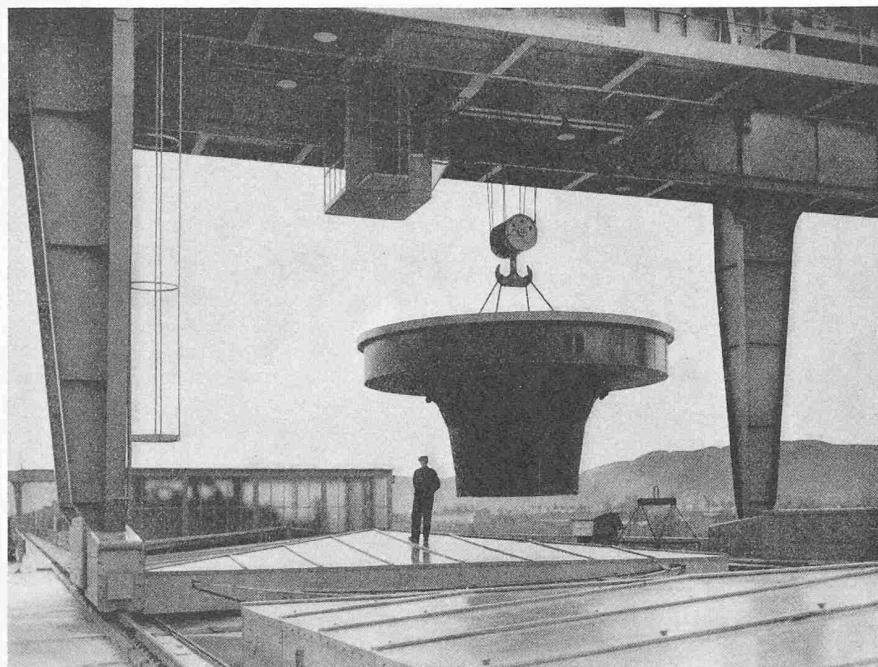


Bild 37. Verfahren eines Turbinendeckels mit dem Kran

vier im Turbinendeckel untergebrachte Kübler 25 und zwei Filter wieder in das Lager zurückzubefördern. Hier gelangt das rückfliessende gekühlte Öl in einen Ringkanal 26, aus dem es durch zwölf Rohrstücke 82 von innen her in die Zwischenräume zwischen den Tragplatten und an die angeschrägte Einlaufkante der Spurplatten herangebracht wird. Der Oelfangring liegt im übrigen lose auf dem umlaufenden Tragkopf 27 auf und wird nur durch die vier im Gehäuseunterteil einstellbar gelagerten Abflussrohre 28a gegen Mitnahme gehalten. Das Spurlagergehäuse ist auf Grund von Erfahrungen so geteilt, dass die einzelnen Spursegmente nach dem Hochschieben des Tragkopfes und Abbau des Gehäusemantels verhältnismässig leicht seitlich herausgezogen werden können.

Für die Temperaturüberwachung der Tragplatten und des Spurlageröles sind entsprechende Messgeräte für unmittelbare und Fernanzeige bzw. für Gefahrmeldung und schliesslich für die Einleitung des Turbinenabschlusses bei Ueberschreitung einer einstellbaren Höchsttemperatur vorgesehen. Um etwaige unzulässige Temperaturerhöhungen möglichst unmittelbar an der Erzeugungsstelle der Reibungswärme zu erfassen, ist ein Teil der genannten Instrumente an den Oelabstreifern, also an der Auslaufkante der betreffenden Spurplatten eingebaut; die anderen in einzelnen Platten eingebauten Messgeräte 29 sind möglichst nahe an die Lauffläche gerückt. Eine unter

dem Spurgehäuse angeordnete Gegen spur 30 hat ein Hochgehen der Maschinewelle bei Abschaltvorgängen zu verhindern, soweit ein solches Hochsteigen nicht schon durch richtige Wahl des Verhältnisses der Schliesszeiten des Leitapparates und des Laufrades von vornherein vermieden wird; diese Ge genspur wird mit Fett geschmiert.

Wie erwähnt, sitzt der Oeldruck-Servomotor 31 für die Verstellung der Laufradflügel 2 am oberen Ende der ein teiligen Maschinewelle und bildet den Sitz für die leicht aufgeschrumpfte Polradnabe. Beiden früheren Konstruktionen von Kaplan turbinen mit Doppelregelung wurde das Drucköl für den Laufrad-Servomotor von oben her eingeführt (obere Oelzuführung). Dabei besteht nicht nur die Gefahr einer Verschmutzung des Generators durch Undichtheiten oder stärkere Oelaustritte aus den druck ölführenden Teilen der genannten Oelzuführung, ferner die Gefahr einer Beeinträchtigung des Rundlaufes der drehenden Teile der Oelzuführung infolge des fast unvermeidlichen Schwankens des oberen Maschinewellenendes, sondern es bedarf die obere Oelzuführung auch einer

ständigen Aufsicht und Wartung, also der Zugänglichkeit zu diesen Teilen über dem Stromerzeuger. Auf Grund nicht eben angenehmer Erfahrungen mit Oelverschmutzung der Wicklungen usw. von Stromerzeugern wurde bei den Braunauer Maschinen die erstmalig in einer kleineren Anlage am Inn ausgeführte und eingehend erprobte mittlere Oelzuführung ausge führt mit dem Merkmal, dass oberhalb des Generators keine der Aufsicht und Wartung bedürftigen Teile mehr zu finden sind und die Abdeckung des Generatorraumes dicht über dem von der Turbine vollständig getrennten Stromerzeuger liegen kann. Bild 31 zeigt das Generatorlager in grösserem Maßstab.

Es war ein ausgezeichneter Konstruktionsgedanke, die mittlere Oelzuführung mit dem ölgeschmierten Generatorlager 32 unterhalb des Polrades zu vereinigen. Das Drucköl zur Betätigung des Laufrad-Servomotors (Schliessen nach unten, Öffnen nach oben) wird durch zwei Rohrleitungen vom Laufradsteuerventil in dem neben der Maschine aufgestellten Turbinenregler zwei im Lagerkörper ausgesparten Ringkanälen 33 und 34 sowie durch Bohrungen und Einbauten in der Turbinenwelle über oder unter den Servomotor kolben geleitet; dieser Kolben überträgt seine Bewegung durch eine aus zwei Teilen gekuppelte Stange 15 auf die Verstell einrichtungen in der Laufradnabe und weiter auf die fünf Schaufelblätter. Das den genannten Ringräumen zugeführte

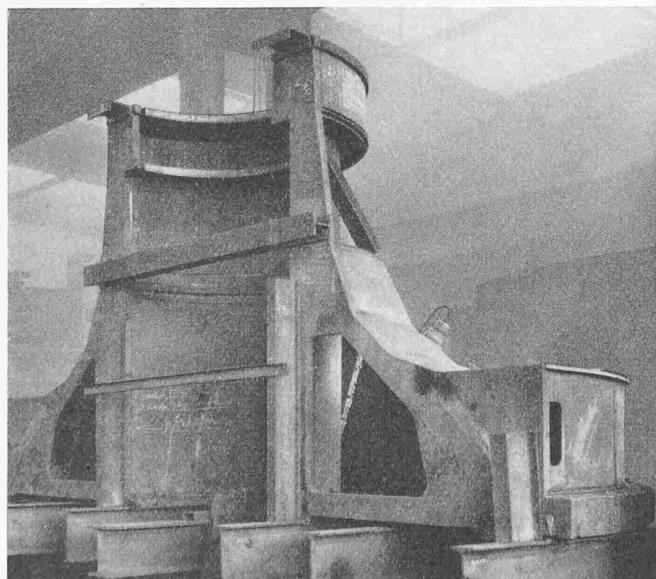


Bild 38. Turbinendeckel beim Schweissen in der Werkstatt

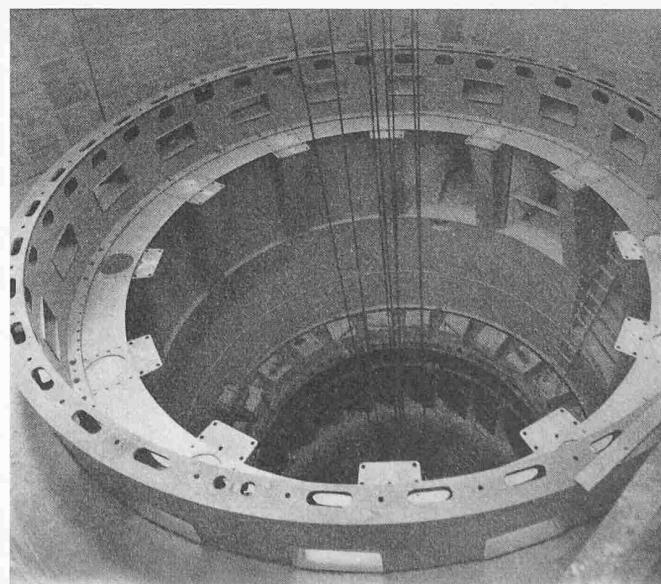


Bild 39. Turbinenschacht

Reglerdrucköl schmiert und kühlt gleichzeitig die Laufflächen des Generatorlagers. Damit in allen Fällen die drei getrennten Abschnitte dieses Lagers mit dem nötigen Schmieröl versorgt werden, auch wenn der eine Ringkanal drucklos wird, weil ihn das Laufradsteuerventil mit dem Ablauf in den Reglerölbehälter verbindet, ist eine unterhalb dieses Lagers angeordnete mechanisch angetriebene Zusatzschmierpumpe 37 (Zahnradpumpe) dafür vorgesehen, dauernd etwas Öl in einen mittleren Ringkanal des Lagers zu drücken und auf diese Weise sämtliche Laufflächen mit Sicherheit ausreichend zu schmieren.

Die Steuerbewegungen des Laufverstellkolbens werden durch vier den unteren Servozyylinderboden durchdringende Stangen 38 auf einen umlaufenden Rückführsteller 39 und über einen mit Drucköl betätigten Differentialkolben auf das Gestänge der Laufradrückführung übertragen. Dieser Kolben macht zwangsläufig jede Bewegung des umlaufenden Tellers mit, indem er unter Druckölwirkung unverzüglich diesem Teller folgt, wenn sich das in eine Düse auslaufende obere Kolbenstangenende 40 vom Teller zu entfernen (Öffnungsbewegung) bzw. der bei einer Schliessbewegung nach unten bewegte Teller die Düse zu verschließen beginnt (Einkantensteuerung). Die in dieser Weise gesteuerte Bewegung des genannten Hilfskolbens und die Bewegung des unmittelbar angeschlossenen Hebelgestänges können auf dem Prinzip-Schema, Bild 41, verfolgt werden. Sie wird durch eine dauernd auf Zug beanspruchte, in einem Schutzrohr geführte Rollenkette an den Regler zurückgeleitet. Die Verwendung dieser Rollenkette, zu deren dauernder Spannung ein zusätzlicher, unter Oeldruck stehender Spannkolben eingeschaltet ist, ermöglicht die Uebertragung der Laufradrückführbewegung wesentlich einfacher, als dies mit schweren Massivgestängen sonst geschieht.

Das Generatorlager mit der vorbeschriebenen Druckölverteilung für die Laufradsteuerung ist in einem am Lagertragschirm angeschraubten mehrteiligen Gehäuse untergebracht. Naturgemäß entwickelt sich im Inneren dieses Gehäuses Oeldunst in erheblicher Menge, dessen Austritt in den Turbinenschacht bzw. in den Generatorraum sorgfältig verhindert werden muss. Für die Abdichtung des mit warmem Oeldunst gefüllten Lagergehäuses gegen den Turbinenschacht, namentlich gegen die unter dem Polrad aufgehängten Schleifringe 64 hin, ist eine Tauchdichtung verwendet, die einen Flüssigkeitsabschluss zwischen den umlaufenden und stillstehenden Teilen bezweckt; der umlaufende Teil dieser Tauchdichtung besitzt eine mit Öl gefüllte Ringkammer 41, in der sich der Spiegel des durch Reibung mitgenommenen Oelringes nach einem Paraboloid einstellt. In dieses Paraboloid schneidet eine am feststehenden

Gehäuseteil der Tauchdichtung befestigte zugeschräfte Blechscheibe 42 ein und verhindert so den Durchtritt von Oeldunst in den Turbinenschacht. Da der Oelinhalt der Tauchdichtung durch kleine zusätzliche Oelmengen (z. B. aus der Entlüftungsdruckschraube 70 im Servomotordeckel und sonstige kleine Leckölmengen) allmählich zunehmen kann, ist unter der genannten Blechscheibe ein Schöpfrohr 73 angebracht, das die zusätzliche Schicht vom Oelparaboloid abschöpft und nach aus-

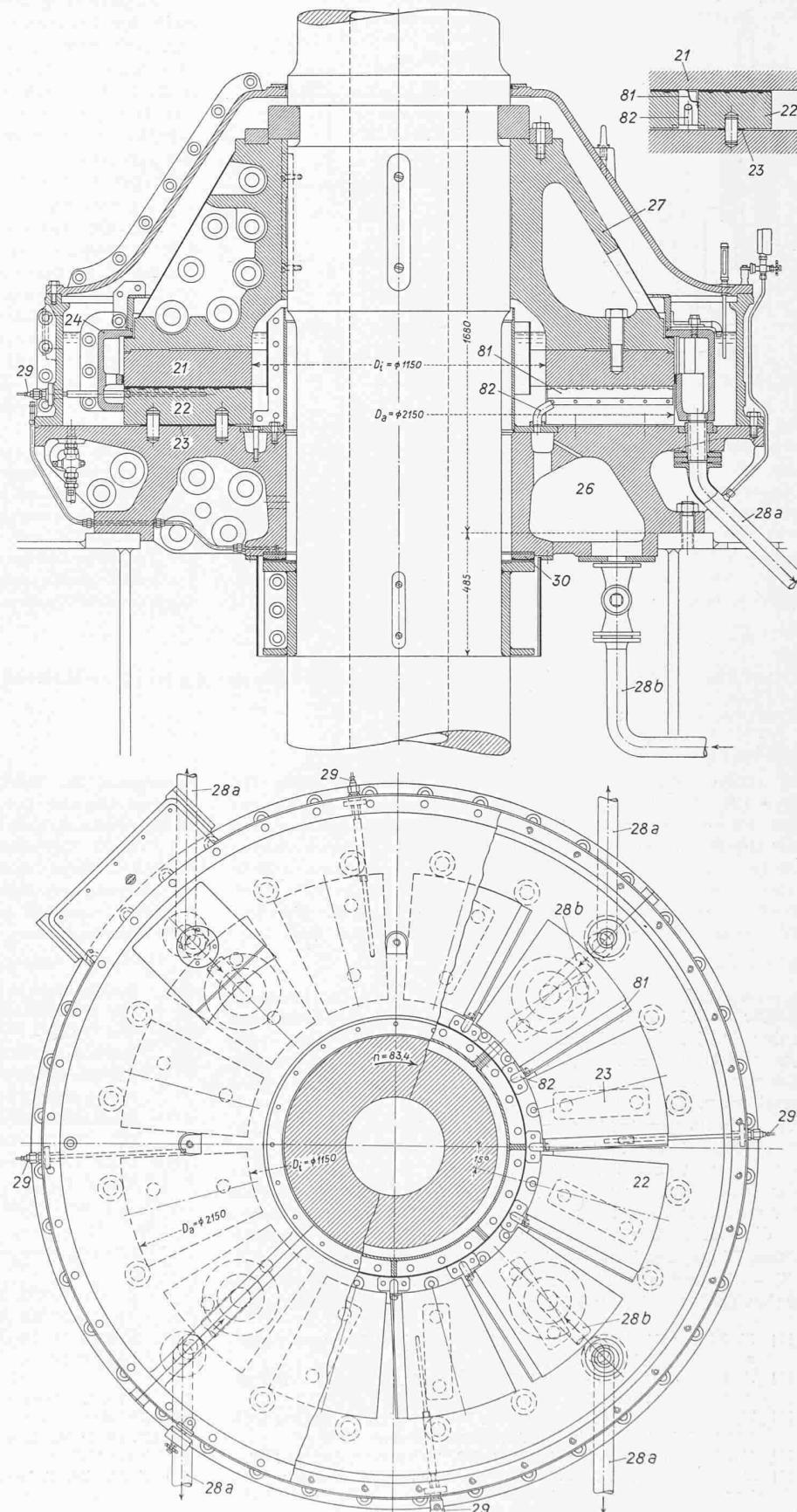


Bild 40. Spurlager, Maßstab 1:25

28a Oelleitung zum Kühler
28b Oelleitung vom Kühler
81 Oelabstreifer
82 Oelzuführungsrohre zu 22

Uebrige Zahlen siehe Legende zu Bild 30

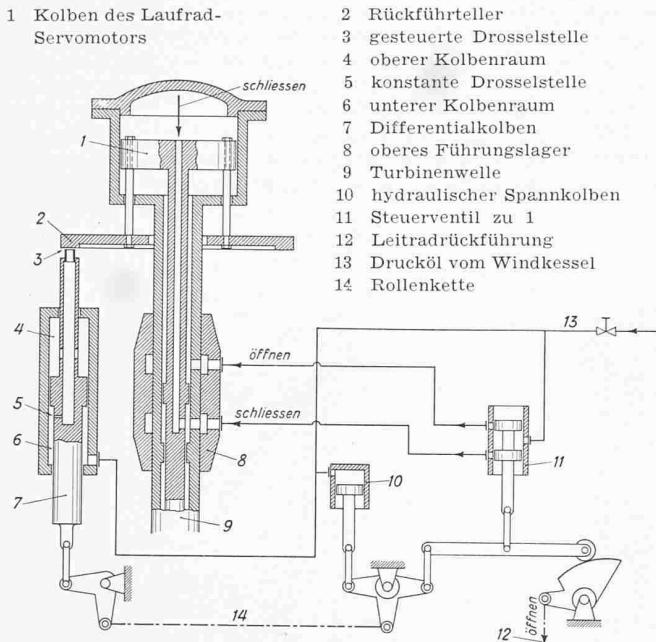


Bild 41. Prinzipschema der Laufradrückführung

sen hin ableitet, wo sie in einem Ueberwachungsbehälter gesammelt wird. Die Oelansammlung in diesem Behälter bildet also ein Mass für die Zunahme des Oelzutrittes in den Dichtungsraum der Tauchdichtung. Das aus den freien Kanten des oberen Lagers abströmende Regler-Schmieröl wird durch eine sehr weite Abflusseitung 36 in den Reglerbehälter zurückgeleitet. Eine Leiste am Gehäuse der Oeldunstdichtung bildet noch die innere Fahrbahn für einen den Turbinenschacht bestreichenden Rundlaufkran von 3 t Tragfähigkeit.

Die Abdichtung zwischen dem Turbinenschacht und dem eigentlichen, innen unter Unterdruck stehenden Generatorraum wird erreicht durch eine Labyrinthdichtung mit einem an der Polradnabe befestigten doppelkämmigen Labyrinthring 43. Das die beiden Labyrinthkämme mit sehr geringem Spiel umschliessende feststehende Gehäuse besitzt eine ringförmige Sperrluftkammer 44, in die Sperrluft aus dem Ueberdruckraum des Stromerzeugers beigeleitet wird, derart dass der kürzere Weg nach dem Turbinenschacht, der längere Weg nach dem Generatorraum führt; infolgedessen wird die Sperrluft zum grossen Teil in den Turbinenschacht ausgeblasen und damit Oeldunst von der Dichtung und vom Generatorraum ferngehalten. Um auch noch den Austritt von Oeldunst aus dem unteren Raum des Lagergehäuses in den Turbinenschacht zu verhindern, erschien es nachträglich zweckmässig, das gesamte Innere des Lagergehäuses mit Hilfe eines kleinen motorgetriebenen Exhaustors unter Unterdruck zu setzen.

Im unteren Teil des Lagergehäuses ist ein Stirnrad auf die Maschinenwelle gesetzt, das über ein Ritzel einerseits die Schmierölpumpe 37, über ein zweites Ritzel den kleinen Generator 45 antreibt, der den Wechselstrom für den Antrieb des Reglerpendelmotors liefert. An diesem Antrieb hängt noch ein Sicherheitspendel 46, das bei einer vom Turbinenregler nicht mehr beherrschten Ueberdrehzahl von etwa 40 % über der Normaldrehzahl den Notabschluss der Turbine einleitet.

Bei einer Lichtweite des Turbinenschachtes von 8,5 m gestattet eine Anordnung von Podesten und Leitern eine sehr gute Zugänglichkeit zu allen während des Betriebs zu prüfenden und zu wartenden Teilen. In dem einen Seitengang zum Turbinenschacht sind die jeder Turbine zugeordneten Fettpressen 47 und 48 aufgestellt, die im durchlaufenden Betrieb das Turbinenlager bzw. in einem durch eine Schaltuhr intermittierend gesteuerten Betrieb die Abwehrschmierung der Leitschaufellagerung besorgen. Durch eine schwimmergesteuerte Motorpumpe wird das in einem Sammelraum des Turbinendeckels sich ansammelnde Leckwasser weggeschafft.

Fortsetzung folgt

Über die Berücksichtigung der Vertikalkrümmung bei der Berechnung von Gewölbestaumauern

Von Dipl. Ing. Max Herzog, Zofingen

DK 627.825.001.2

1. Einleitung

Allen bisher veröffentlichten Berechnungsmethoden [1], [2], [3], [4] ist die Vernachlässigung der Einflüsse der Vertikalkrümmung, der tangentiellen Schubspannungen und der Querdehnungen gemeinsam. Nachdem es Tschech und Jaburek gelungen ist, die Methode von Tölke durch die Einführung der formalen Orthotropie [5] zu verbessern, soll im folgenden gezeigt werden, dass auch der Einfluss der Vertikalkrümmung auf recht einfache Art erfasst werden kann.

2. Theoretische Grundlagen

Das Grundproblem der Berechnung einer Gewölbestaumauer besteht in der Ermittlung der Normalverschiebungen unter der jeweiligen Belastung. Sind die Normalverschiebungen erst einmal bekannt, so lassen sich die ihnen zugehörigen Beanspruchungen mit den üblichen Methoden der Baustatik bestimmen.

Näherungsweise kann man sich die Mauer aus einer Anzahl horizontaler Ringe zusammengesetzt denken, deren jeder ein Element eines Rotationsbehälters mit entsprechender Vertikalkrümmung und Wandstärke ist. Um dem Einfluss der wirklichen Auflagerungsverhältnisse Rechnung zu tragen — die Horizontalelemente der Mauer sind ja keine geschlossenen Ringe, sondern elastisch eingespannte Bogen [6], [7], [8] — bedient man sich mit Vorteil des Kunstgriffs der formalen Orthotropie. Dabei ermittelt man den Verschiebungsgesetz:

- [1] H. Ritter: Die Berechnung von bogenförmigen Staumauern, Dissertation, Karlsruhe 1913.
- [2] A. Stucky: Etude sur les barrages arqués, «Bulletin Technique de la Suisse Romande», 1922.
- [3] U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation. Trial Load Method of Analysing Arch Dams, Denver 1938.
- [4] F. Tölke: Wasserkraftanlagen, 2. Bd., Talsperren, Berlin 1938.
- [5] E. Tschech und F. Jaburek: Berechnungen von Bogenstaumauern im Vergleich mit den Ergebnissen statischer Modellversuche, «Oesterr. Bauzeitschrift» 1951.

widerstand der Horizontalelemente der Mauer aus der Biegssteifigkeit der wirklichen Bogen und nicht aus der Dehnungssteifigkeit der ideellen Ringe.

Da die Differentialgleichung der Normalverschiebungen eines Rotationsbehälters mit vertikaler Krümmung und variabler Wandstärke den Ausgangspunkt der Berechnung bildet, soll diese zunächst unter Ausserachtlassung der Wärme- und Schwindspannungen abgeleitet werden.

In Bild 1 bedeuten

R_0	Radius des Breitenkreises
R_1	auf die Flächennormale bezogener Radius des Breitenkreises ($R_0 = R_1 \sin \varphi$)
R_2	Radius des Meridians
s	Meridiankoordinate ($ds = R_2 \cdot d\varphi$)
φ	Neigungswinkel der Flächennormalen
ϑ	Breitenkreiskoordinate
ψ	auf die Flächennormale bezogene Breitenkreiskoordinate ($R_1 d\psi = R_0 d\vartheta = R_1 \sin \varphi \cdot d\vartheta \quad d\psi = d\vartheta \sin \varphi$)
t	Wandstärke
p	auf die Schalenmittelfläche bezogener Aussendruck

$$(p = p_a \frac{R_1 + t/2}{R_1} \frac{R_2 + t/2}{R_2})$$

- N_φ Normalkraft in Richtung des Meridians
- N_ϑ Normalkraft in Richtung des Breitenkreises
- Q_φ Querkraft in der Meridianebe
- M_φ Biegemoment in der Meridianebe

- [6] F. Vogt: Ueber die Berechnung der Fundamentdeformationen, Det Norske Videnskaps Akademi, Oslo 1925.
- [7] F. Vogt: Stresses in Thick Arches, «Transactions ASCE», New York 1927.
- [8] A. Stucky, F. Panchaud et E. Schnitzler: Contribution à l'étude des barrages-vôûtes. Effet de l'élasticité des appuis, «Bulletin Technique de la Suisse Romande» 1950.