

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 57 (1965)
Heft: 4

Artikel: Der Vollausbau des Kraftwerks "Rüchling" der Jura-Cement-Fabriken in Aarau
Autor: Walter, H.K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-921017>

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: 21.02.2026

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

DER VOLLAUSBAU DES KRAFTWERKS «RÜCHLIG» DER JURA-CEMENT-FABRIKEN IN AARAU

H. K. Walter, dipl. Ing. ETH

DK.621.22

Der Vollausbau des Aarekraftwerkes Rüchlig — eines ausgesprochenen Industriekraftwerkes, welches die Werkanlagen der Jura-Cement-Fabriken in Wildeggen mit der notwendigen elektrischen Energie versorgt — konnte anfangs 1964 vollendet werden. In einer letzten Ausbaustufe, die sich über eine Zeitspanne von fast fünf Jahren erstreckte, wurden in der Kraftwerkzentrale drei neue Rohrturbinen-Einheiten installiert, womit die erste grössere Rohrturbinenanlage in der Schweiz verwirklicht worden ist. Die heutige Gesamtanlage, die neben den drei neuen Rohrturbinen noch drei Vertikalturbinen umfasst, ermöglicht eine mittlere Jahresarbeit von 55–60 Millionen kWh.

Das Kraftwerk Rüchlig nutzt eine rund 2,5 km lange Flusstrecke der Aare unterhalb Aarau. Wasserseitig umfassen die Kraftwerkanlagen einen rund 400 m langen Oberwasserkanal und einen rund 1600 m langen Unterwasserkanal. Zur Regulierung der Wasserführung steht im Aarelauf ein einfaches Stauwehr zur Verfügung. Das bei der Zentrale nutzbare Nettogefälle beträgt 3,0 bis 3,5 m.

GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG DES KRAFTWERKS RÜCHLIG

Die Errichtung des Kraftwerkes Rüchlig geht zurück auf ein Wasserrecht, das im Jahre 1882 vom Aargauischen Regierungsrat dem Baumeister Daniel Schmuziger erteilt worden ist. Das Wasserrecht — es umfasste die Bewilligung, das Wasser der Aare unterhalb der Kettenbrücke in Aarau mit einem Kanal zu fassen und dasselbe bei der Gemeindegrenze Aarau—Küttigen wieder der Aare zuzuführen — wurde von Daniel Schmuziger in die damals neugegründete Kollektiv-

gesellschaft Zurlinden & Co., der Rechtsvorgängerin der heutigen Jura-Cement-Fabriken Aarau-Wildeggen eingebracht. Es erlaubte der neugegründeten Gesellschaft, gleichzeitig mit dem ersten Cementwerk, das im Scheibenschachen von Aarau unmittelbar neben dem heutigen Standort des Kraftwerkes Rüchlig erstellt wurde, ein Wasserwerk zu errichten. Dieses erste Wasserwerk vermochte eine Wassermenge von rund 5 m³/s zu nutzen und konnte eine mittlere Bruttoleistung von 102 PS abgeben. Der damalige Stand der Technik gestattete noch keine elektrische Kraftübertragung; so musste die im Wasserwerk produzierte Kraft vorerst mechanisch unter Verwendung von Transmissionen in die Cementfabrik übertragen werden.

Mit dem zunehmenden Ausbau der Cementfabrik in Aarau wurde im Laufe der folgenden Jahrzehnte auch das Wasserwerk Rüchlig ständig erweitert und vergrössert. Neue und grössere Turbinen wurden eingebaut, und die Wasserführung wurde durch weitere Ausbaggerungen des Ober- und Unterwasserkanals verbessert. Im Jahre 1916 wurden die ersten zwei Generatoren aufgestellt; damit war der erste Schritt für den Uebergang von der mechanischen zur elektrischen Kraftübertragung getan.

Der Weg für einen grosszügigen Ausbau des Wasserkraftwerkes Rüchlig wurde aber erst in der Mitte der Zwanzigerjahre eröffnet, als der Grosse Rat des Kantons Aargau mit Beschluss vom 14. September 1926 den Jura-Cement-Fabriken Aarau-Wildeggen die heute noch gültige Wasserrechtskonzession erteilte. In dieser Wasserrechtskonzession wurde der Vollausbau des Kraftwerkes Rüchlig auf eine nutzbare Wassermenge von 260 m³/s festgelegt, der in der Zwischenzeit in drei Ausbaustufen verwirklicht worden ist.

Fig. 1 So präsentiert sich heute das Kraftwerk «Rüchlig» von der Oberwasserseite her gesehen. Links im Bilde ist der Rohrturbinentrakt zu sehen; im Hochbau in der rechten Bildhälfte sind die drei Vertikalturbinen untergebracht. Im Anbau rechts aussen befindet sich der Kommandoraum.

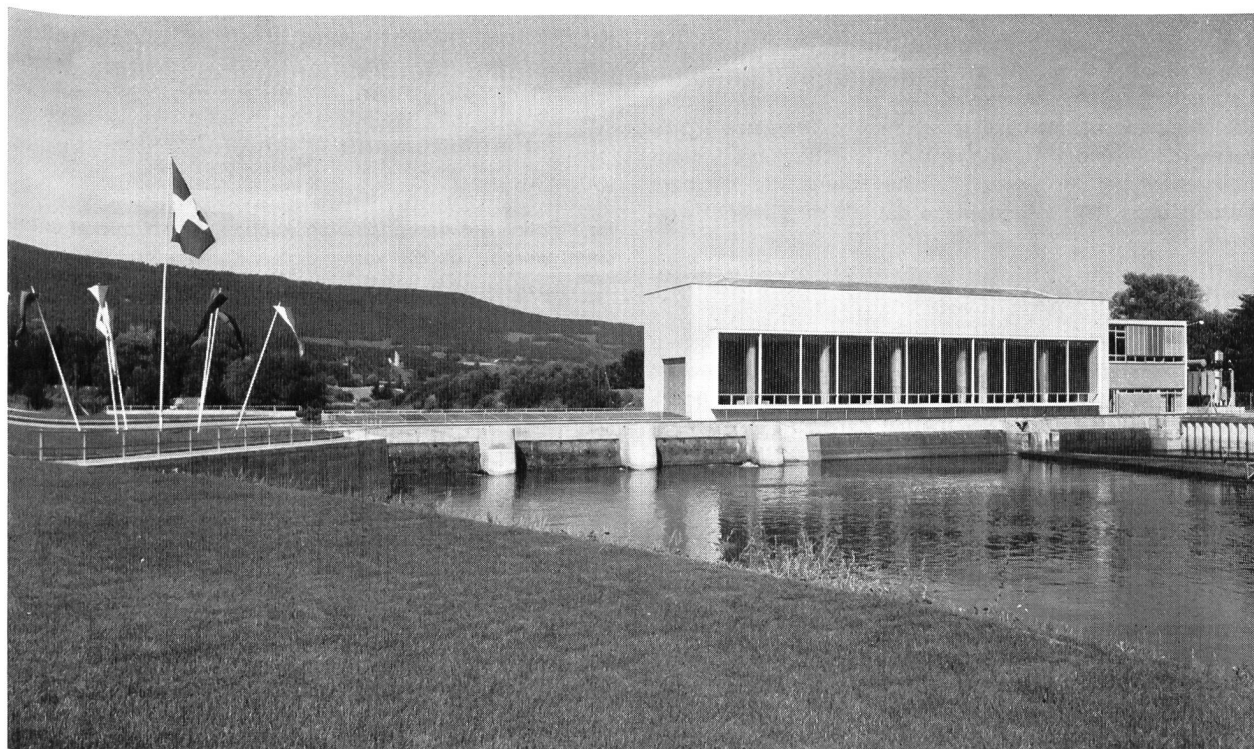




Fig. 2
Ansicht des Maschinenhauses vor der Inangriffnahme der letzten Ausbaustappe. Der Gebäudeteil links der kleinen Treppe ist in der letzten Ausbaustappe abgebrochen worden; an seiner Stelle wurde der neue Rohrturbinentrakt errichtet. Rechts davon befindet sich das heute noch stehende – in der Zwischenzeit jedoch vollständig renovierte – Maschinenhaus mit den drei Vertikalturbinen.

DIE ERSTE AUSBAUETAPPE

Die erste Ausbaustappe wurde sofort nach der Konzessionserteilung in Angriff genommen. Neben der damals bereits vorhandenen Turbinengruppe – bestehend aus drei Francis-Turbinen aus den Jahren 1911–1916 mit einem Wasserschluckvermögen von insgesamt $58 \text{ m}^3/\text{s}$ – wurde in den Jahren 1928/29 eine neue Turbinengruppe installiert. Die neue Turbinengruppe, welche zwei Propellerturbinen umfasste, erlaubte eine Steigerung der genutzten Wassermenge auf $150 \text{ m}^3/\text{s}$. Mit der erweiterten Kraftwerkanlage war es möglich, den damaligen Energiebedarf der Jura-Cement-Fabriken vollständig zu decken. Im übrigen fiel die Fertigstellung der ersten Ausbaustappe zeitlich zusammen mit der Stilllegung der Cementfabrik in Aarau und der Konzentration der gesamten Cement- und Kalkproduktion in Wildegg.

DIE ZWEITE AUSBAUETAPPE

Diese wurde in den Jahren 1950/51 verwirklicht, als die nach dem Zweiten Weltkrieg einsetzende Hochkonjunktur im Baugewerbe eine Erweiterung der Produktionskapazität in der Cementfabrik Wildegg notwendig machte, womit der Bedarf an elektrischer Energie eine starke Zunahme erfuhr. Als zusätzliche Maschineneinheit wurde eine neue Kaplan-turbine eingebaut; gleichzeitig wurden im Ober- und Unterwasserkanal weitere Ausbaggerungen durchgeführt. Mit der Inbetriebnahme der neuen Turbine konnte die nutzbare Wassermenge der Gesamtanlage auf $190 \text{ m}^3/\text{s}$ erhöht werden.

DIE DRITTE AUSBAUETAPPE

Die dritte und letzte Ausbaustappe, welche zum Endausbau des Wasserkraftwerkes Rüchlig führte, wurde ausgelöst durch den ständig steigenden Energiebedarf als Folge nochmaliger Erweiterung der Cement- und Kalkfabrik in Wildegg. Die im Kraftwerk installierte Kapazität reichte bei weitem nicht mehr aus, um die erforderliche Energiemenge zu produzieren.

Ein Manko von mehreren Millionen kWh musste durch entsprechenden Fremdenenergiebezug gedeckt werden. Durchgeführte Vergleichsberechnungen zeigten bald, dass mit einer nochmaligen Erweiterung der Kraftwerkanlagen im Rüchlig das bestehende Energiemanko kostenmässig zu günstigeren Bedingungen gedeckt werden konnte, als durch den Bezug entsprechender Mengen an Fremdenenergie bzw. durch den Bau einer entsprechenden thermischen Anlage. Damit

fand auch neuerdings die von den Jura-Cement-Fabriken von jeher verfolgte Strompolitik ihre Bestätigung, die stets auf einen hohen Grad der Eigenversorgung mit der aus der Wasserkraft gewonnenen elektrischen Energie ausgerichtet war.

AUSGANGSLAGE

Vor der letzten Ausbaustappe erzielte das Kraftwerk mit den vorhandenen Anlagen eine mittlere Jahresproduktion von 32 Mio kWh. Es standen drei Maschinengruppen zur Verfügung, nämlich die

Maschinengruppe 1911/1916: drei vertikalachsige Francis-Turbinen mit einem Schluckvermögen von total $58 \text{ m}^3/\text{s}$;
Maschinengruppe 1928/1929: zwei vertikalachsige Propeller-Turbinen mit einem Schluckvermögen von total $90 \text{ m}^3/\text{s}$;
Maschinengruppe 1951: eine vertikalachsige Kaplan-turbine mit einem Schluckvermögen von $43 \text{ m}^3/\text{s}$.

Der Umbau und die Erweiterung der bestehenden Kraftwerkanlagen mussten in erster Linie Ersatz bringen für die drei alten Turbinen der Maschinengruppe 1911/16, die einen sehr schlechten Wirkungsgrad aufwiesen. Um die konzes-sionierte Wassermenge von $260 \text{ m}^3/\text{s}$ auszunutzen, musste die Schluckfähigkeit dieses Anlageteils von $58 \text{ m}^3/\text{s}$ auf rund $130 \text{ m}^3/\text{s}$ gesteigert werden.

KANALAUSBAU

Im Hinblick auf den geplanten Ausbau musste zuerst untersucht werden, ob die vorhandenen Kanalbauten die erhöhten Wassermengen aufnehmen können. Es zeigte sich dabei, dass der Oberwasserkanal, der im Jahre 1951 die letzte Erweiterung erfahren hatte, den neuen Anforderungen genügte und keine Vergrösserungen benötigte. Im Unterwasserkanal dagegen musste eine Profilerweiterung durchgeführt werden, wenn man nicht – infolge der Erhöhung der Ausbauwassermenge – grössere Wassergeschwindigkeiten und damit Verluste an Gefälle und Energie in Kauf nehmen wollte. Im Jahre 1960 wurde daher als erste Massnahme eine weitere Ausbaggerung des Unterwasserkanals in Angriff genommen. Die auszuführenden Baggerarbeiten waren sehr umfangreich, mussten doch insgesamt rund $180\,000 \text{ m}^3$ Kies ausgehoben und ca. $10\,000 \text{ m}^3$ Fels abgetragen werden. Die Erweiterung des Kanalprofils im Unterwasser ergab für das Werk einen Gefällsgewinn von etwa 25 cm, was sich bereits bei den alten Werkanlagen in einem jährlichen Produktionsgewinn von rund 4 Mio kWh äusserte.

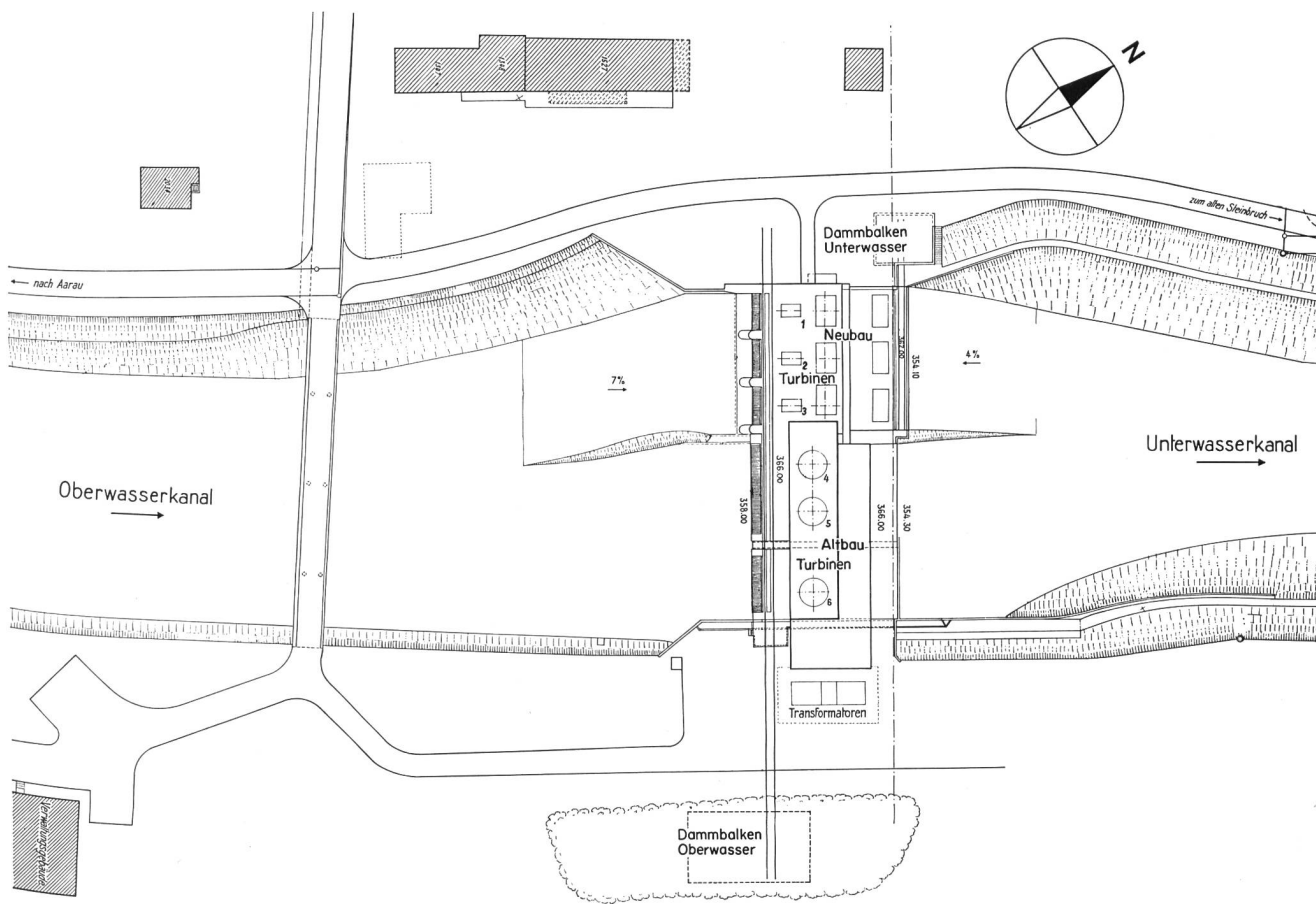


Fig. 3 Lageplan im Masstab ca. 1:1500. Bei den Turbinen 1–3 handelt es sich um die neuen Rohrturbinen; die Turbinen 4 und 5 umfassen die Maschinengruppe 1928/29 (Propeller-Turbinen); bei Turbine Nr. 6 handelt es sich um die Kaplan-turbine aus dem Jahre 1951.

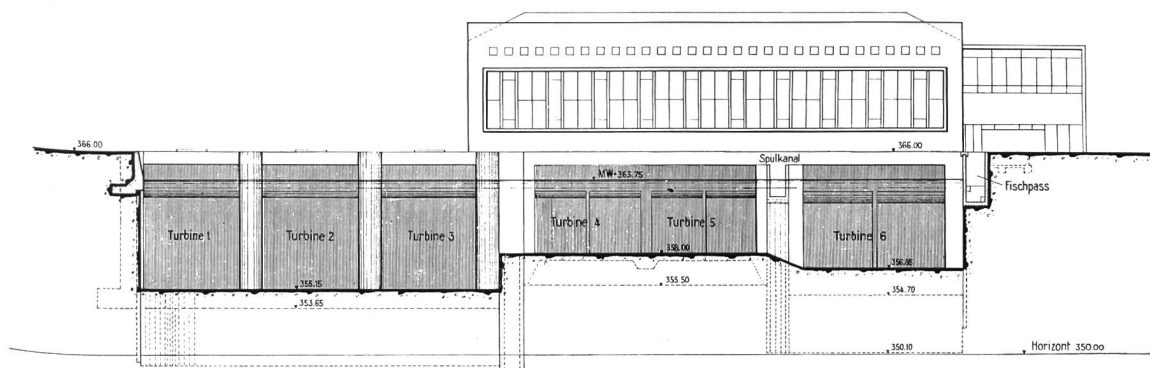


Fig. 4 Oberwasserseitige Ansicht der heutigen Kraftwerkanlage Rüchlig. Masstab 1:600.

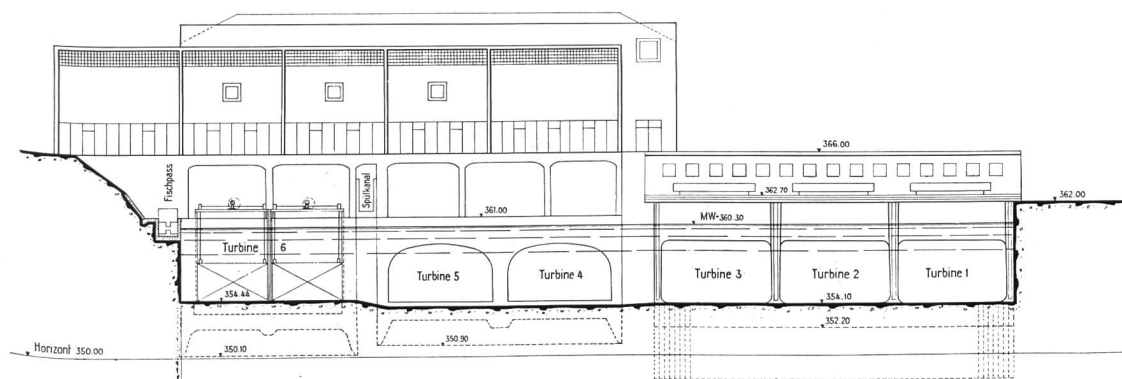


Fig. 5 Unterwasserseitige Ansicht der heutigen Kraftwerkanlage. Masstab 1:600. (Clichés der Fig. 3, 4 und 5 aus Schweizer Baublatt Nr. 72, 1964).

AUSBAUPROJEKT

Anhand verschiedener Vorprojekte wurde geprüft, ob der Vollausbau der Kraftwerkanlage zweckmässigerweise in einer einzigen Etappe oder gegebenenfalls in mehreren zeitlich gestaffelten Zwischenetappen ausgeführt werden soll. Die Untersuchungen zeigten, dass ein Vollausbau, ausgeführt in einer einzigen Etappe, wirtschaftlich am vorteilhaftesten ist. So standen schlussendlich noch zwei Projekte zur Diskussion: Vollausbau durch Ersatz der Maschinengruppe 1911/1916 mit drei vertikalachsigen Kaplan-turbinen oder mit drei, annähernd horizontalachsigen Rohrturbinen.

WAHL DES TURBINENTYPS

Es wurden eingehende Untersuchungen durchgeführt um festzustellen, welcher Maschinentyp die wirtschaftlich günstigste Lösung gewährleistet. Die Wahl fiel schliesslich eindeutig zugunsten der Escher Wyss-Rohrturbinen mit liegender Rotationsachse aus, die gegenüber den vertikalachsigen Kaplan-turbinen wesentliche Vorzüge aufwiesen. Die Gründe, welche zur Wahl der Rohrturbine führten, sind in der Hauptsache folgende:

- Die Rohrturbinen haben einen wesentlich besseren Wirkungsgrad, als die vertikalachsigen Kaplan-turbinen. Wie das nachstehende Diagramm zeigt, liegt der garantierte Wirkungsgrad der Rohrturbine bei einer Belastung von 60–90 % beinahe konstant knapp unter 91 %, während die entsprechende Kennlinie für die Kaplan-turbine bei einer Belastung von ungefähr 60 % das Maximum von knapp 90 % erreicht und danach einen sinkenden Verlauf annimmt. Der garantierte Wirkungsgrad der Rohrturbine ist im Belastungsbereich von 60–90 % im Mittel um rund 2 % besser als bei den vertikalen Kaplan-turbinen.

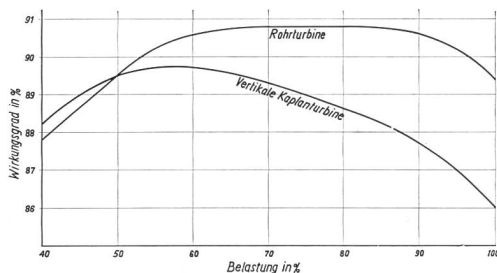


Fig. 6 Das Diagramm zeigt den Verlauf der Wirkungsgradkurve der beiden zuletzt in Konkurrenz verbliebenen Maschinentypen.

- Die liegende Anordnung der Turbinenachse erwies sich im Falle des Kraftwerkes Rüchlig gegenüber der vertikalachsigen Anordnung bei Kaplan-turbinen vor allem in baulicher Hinsicht als besonders vorteilhaft. Die Rohrturbinenanlage benötigte in der Breite, d. h. quer zur Kanalachse, einen um rund 14 m geringeren Raum, da für den fast quadratischen Einlauf einer Rohrturbine lediglich eine Blockbreite von 9,3 m notwendig ist gegenüber 13,5 m bei einer Kaplan-turbine. Dank dieser geringeren Breite musste das vorhandene Einlaufbecken vor der Zentrale nur um rund 3 m verbreitert werden, während für die Kaplan-turbinen eine Verbreiterung von rund 14 m

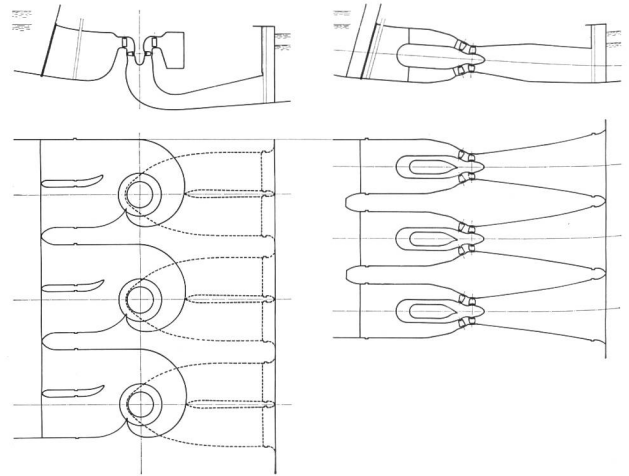


Fig. 7 Gegenüberstellung der hydraulischen Profile der beiden zuletzt verbliebenen Maschinentypen, links die bedeutend grössere Bauarbeiten erfordernde Lösung mit konventionellen, vertikalen Kaplan-turbinen, rechts die zur Ausführung gelangten Rohrturbinen.

erforderlich gewesen wäre. Die geringere Ausweitung des Einlaufbeckens bedeutete eine ganz wesentliche Einsparung an Baukosten.

- Kostenmindernd wirken auch die sehr einfachen Formen des hydraulischen Profils der Rohrturbinen gegenüber den bautechnisch komplizierten Einläufen und gekrümmten Saugrohren bei den konventionellen Kaplan-turbinen. Bei den letzteren wäre ein um 4 m tieferer Fundament-aushub notwendig gewesen, womit die teure Caissonbauweise für die Erstellung der Fundamente hätte gewählt werden müssen. Bei den Rohrturbinen indessen konnten die Tiefbauarbeiten in offener Baugrube ausgeführt werden.
- Eine weitere Einsparung an Baukosten lag darin begründet, dass der Einbau von Rohrturbinen keinen Maschinenhaushochbau und damit bedeutend geringere Betonkubaturen benötigte. Neben dem materiellen Vorteil ist der Wegfall des Maschinenhochhauses, das im Flusslauf als Barriere wirkt, auch in ästhetischer Hinsicht begrüssenswert.

Neben diesen Vorzügen waren folgende Nachteile zu berücksichtigen:

- der Preis eines Rohrturbinensatzes liegt über demjenigen einer Kaplan-turbineneinheit
- in baulicher Hinsicht erfordert das gestreckte Saugrohr der Rohrturbine in Flussrichtung gesehen einen um rund 1,5 m längeren Maschinenblock als die Kaplan-turbine
- der tiefere Einlauf der Rohrturbinen bedingt die Anlegung einer besonderen Einlaufrinne in der Kanalsohle.

Genaue Vergleichsberechnungen haben ergeben, dass vor allem die baulichen Vorteile kostenmässig derart ins Gewicht fallen, dass die höheren Beschaffungskosten für Rohrturbinen dadurch bei weitem kompensiert werden konnten. Die angestellten Kostenberechnungen zeigten, dass der Vollausbau des Kraftwerkes Rüchlig mit Rohrturbinen um rund 10 % günstiger zu stehen kam, als der Vollausbau mit vertikalachsigen Kaplan-turbinen. Zusammen mit dem auch wirtschaftlich relevanten technischen Vorzug eines bedeu-

tend besseren Wirkungsgrades waren es diese Kostenberechnungen, die zum Entscheid zugunsten der Rohrturbinen führten.

AUSFÜHRUNG

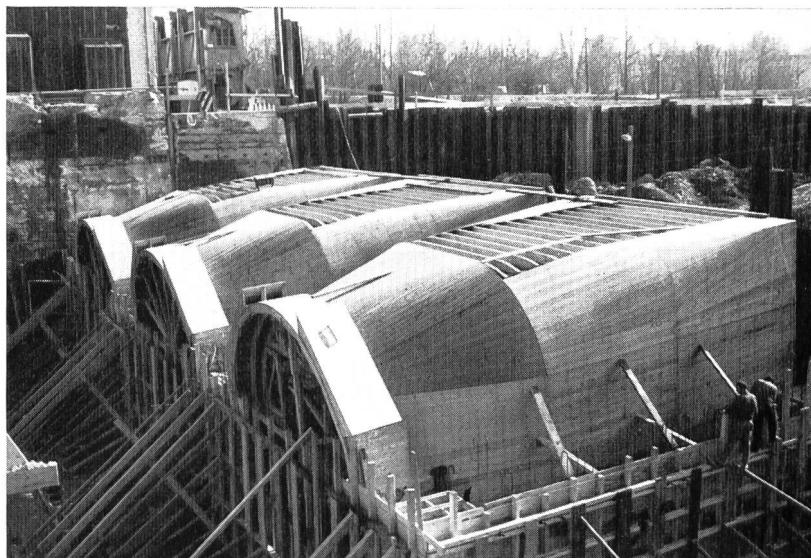
Mit den baulichen Vorarbeiten für die Kraftwerkerweiterung wurde im Mai 1961 begonnen. Die drei alten Francis-Turbinen wurden am 1. August 1961 ausser Betrieb genommen und in der Folge abgebrochen. Die Verantwortung für das Gesamtprojekt wurde dem Ingenieurbüro Locher & Co. AG (Zürich) übertragen, während die Bauleitung dem Ingenieurbüro H. Eichenberger Nachf. (Zürich) anvertraut war.

Dank der guten Zusammenarbeit der beteiligten Unternehmer war es möglich, die Bau- und Montagearbeiten so zu fördern, dass die erste der drei Rohrturbinen bereits Ende November 1962 und die beiden andern Einheiten im Februar bzw. März 1963 in Betrieb genommen werden konnten. Bis anfangs 1964 waren auch die baulichen Umgestaltungsarbeiten am alten Maschinenhaus beendet und die Umgebungsarbeiten fertiggestellt.

Gleichzeitig mit dem Einbau der Rohrturbinen wurde im Einlauf von Turbine 2 ein Messgerinne erstellt, damit die zur Wirkungsgradbestimmung und zu Bestimmung des günstigsten Steuerzusammenhanges Leitapparat—Laufgrad notwendigen Wassermengenmessungen regelgerecht durchgeführt werden konnten. Ueber die durchgeführten Messungen folgt nach dem Artikel von Escher Wyss ein ausführlicher Bericht aus der Feder von Prof. Hans Gerber, dipl. Masch.-Ing. ETH. Im nachfolgenden Artikel wird vorerst von berufener Seite die Bauart der im Rüchlig installierten Rohrturbinen behandelt.

Fig. 8 (oben) Blick in die Baugrube mit den Betonverschalungen für die Rohrturbineneinläufe.

Fig. 9 (rechts) Blick in den Bedienungsraum der neuen Rohrturbinenanlage des Kraftwerkes Rüchlig.



DIE ROHRTURBINEN IM KRAFTWERK «RÜCHLIG»

H. H. c. h. H a u s e r, Escher Wyss AG, Zürich

DK 621.224

EINFÜHRUNG

Im Jahre 1960 erteilten die Jura-Cement-Fabriken, Aarau-Wildegg (JCF) nach umfangreichen Vor- und Vergleichsstudien Escher Wyss, Zürich, den Auftrag für die Lieferung und Montage von drei Rohrturbinen. Diese Maschinen ersetzen die in den Jahren 1911 bis 1916 von Escher Wyss fabrizierten drei vertikalachsigen Francis-turbinen, von total 1100 kW Leistung, welche, verglichen mit dem heutigen Stand der Technik, schlechte Wirkungsgrade und zu kleine Schluckfähigkeit aufwiesen. Die Ueberlegungen, den Rohrturbinen den Vorzug vor den vertikalachsigen Kaplanturbinen zu geben, sind im vorangehenden Bericht dargelegt worden. In den nachfolgenden Ausführungen wird deshalb ausschliesslich die Bauart dieser ersten grösseren in der Schweiz installierten Rohrturbinen-Einheiten behandelt.

Wie bei der konventionellen, vertikalachsigen Kaplan-turbine wird bei der Rohrturbine das Laufrad axial durchströmt. Bei der ersteren entstehen aber durch die Umlenkungen des Wassers im Einlauf und im annähernd rechtwinklig gekrümmten Saugrohr nicht unbedeutende Energieverluste. Bei Rohrturbinen ist die Drehachse waagrecht oder leicht geneigt; dadurch wird eine geradlinige Form von Einlauf und Saugrohr, d. h. Wasserführung ohne Umlenkung möglich, wodurch die Energieverluste merklich reduziert werden.

Insbesondere entsteht durch diese Anordnung bei Niederdruckanlagen ein bedeutender Gewinn, weil in den Saugrohren dieser Maschinen je nach Verhältnis zwischen 40 bis 60 Prozent der Geschwindigkeitsenergie am Laufradaustritt in Druck umgesetzt werden müssen. Aus dieser Tatsache ist

hauptsächlich der bei Vollast um ca. 3 Prozent höhere Wirkungsgrad der Rohrturbinen gegenüber den vertikalachsigen Kaplan-turbinen zu erklären.

Bei Rohrturbinen für die Ausnützung kleiner Fallhöhen wird wegen der kleinen Drehzahlen und Leistungen zwischen die Turbine und den Generator ein Erhöhungsgetriebe eingebaut. Seine Verluste werden durch den besseren Wirkungsgrad des hochtourigen Generators kompensiert. Der Gesamtwirkungsgrad einer solchen Maschineneinheit liegt deshalb trotz des zusätzlichen Getriebeverlustes über demjenigen einer konventionellen Kaplangruppe.

Erst bei höheren Drehzahlen und grösseren Leistungen stellt sich die Frage, ob es nicht vorteilhafter wäre, den Generator ohne Zwischenschaltung eines Getriebes direkt mit der Turbinenwelle zu koppeln. Für die Verhältnisse bei Rüchlig war der Einbau eines Erhöhungsgetriebes zwingend.

Die neuen Rohrturbinen im Kraftwerk Rüchlig sind für folgende Betriebsverhältnisse ausgelegt:

| | | | | |
|-------------------------------|------|------|------|-------------------|
| Fallhöhe | 2,8 | 3,3 | 4,0 | m |
| Wassermenge | 46,7 | 46,7 | 46,0 | m ³ /s |
| Leistung | 1550 | 1835 | 2200 | PS |
| Normaldrehzahl der Turbinen | | 75 | | Upm |
| Normaldrehzahl des Generators | | 1000 | | Upm |

Bei grösserer Oeffnung der Lauf- und Leitschaufeln kann die Schluckfähigkeit noch stark erhöht werden.

BAUART

Bei der Konstruktion der Maschinengruppe wurde der Zugänglichkeit zu allen wichtigen Teilen grosse Sorgfalt gewidmet. Es mussten auch günstige Verhältnisse für die De- und Remontage geschaffen werden. Die Disposition der gesamten Maschinengruppe zeigt generell ein in der um 4° nach unten geneigten Achse des Turbineneinlaufes montiertes Gehäuse, welches auf einer Stützrippe gelagert ist. Am talseitigen Ende ist das Laufrad und im Scheitel des Rohrgehäuses der Einstiegschacht angeordnet. Im Inneren des Rohrgehäuses sind das Getriebe und der Generator mit ihren Hilfseinrichtungen untergebracht. Der Regler mit den

Lauf- und Leitraststeuerventilen ist in einem Steuerpult im Bedienungsraum aufgestellt.

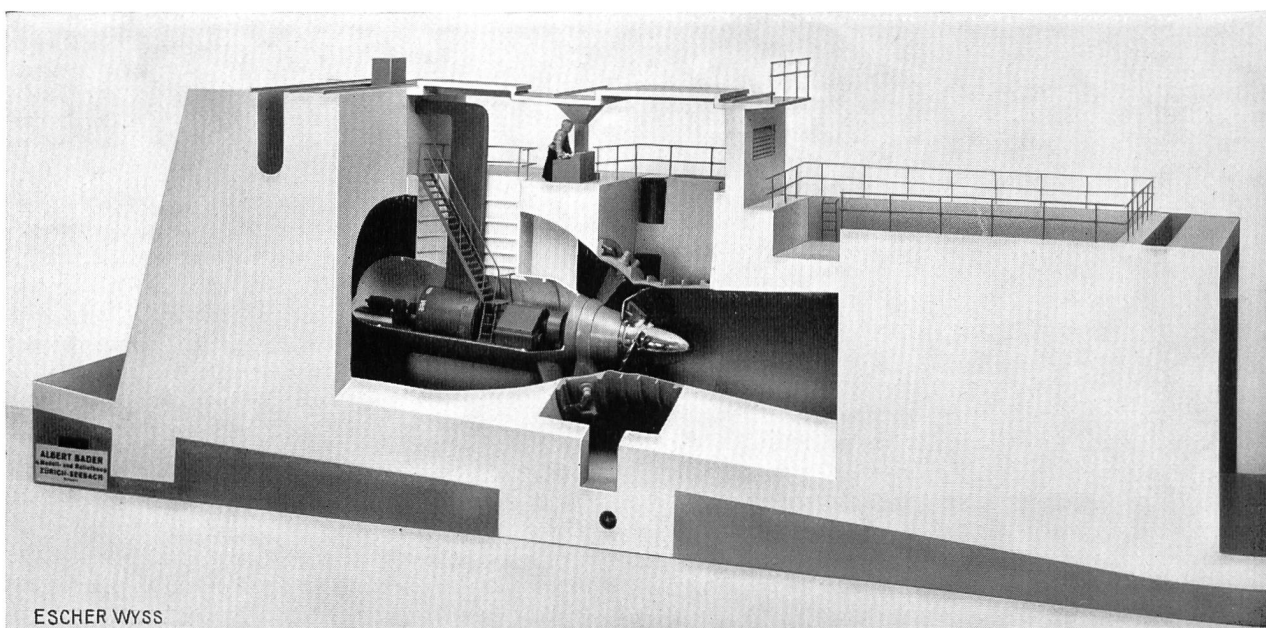
Die Generatorwelle liegt achsparallel unterhalb der Turbinenwelle. Diese Verschiebung ermöglicht es, die Laufradrückführung und die Oelzuführung für die Laufradverstellung am generatorseitigen Ende der miteinander starr verbundenen Getriebe-Antriebs- und Turbinenwelle anzuordnen.

Das Rohrgehäuse besteht aus einem zylindrischen Teilstück. Im Inneren sind für die Verschraubung des Generators und Getriebes mit dem Rohrgehäuse die bearbeiteten Abstützungen eingeschweisst. Das Gehäuse selbst wird mittels Zugankern auf die untere Stützrippe gespannt, wodurch die bei Kurzschluss im Generator auftretenden Kräfte auf die Betonfundamente geleitet werden können. Am oberwasserseitigen Ende des Rohrgehäuses ist ein Halbkugeldeckel angeflanscht, talseitig erfolgt der Anschluss des Stützschaufelringes. Der Einstiegschacht ist auf der Scheitelpartie aufgebaut und seine Oeffnung wurde so bemessen, dass durch ihn sowohl der Generator als auch das Getriebe in das Rohrgehäuse gebracht werden können. Wegen seiner festigkeitstechnisch ungünstigen Form wurde der Schacht mit starken Rippen versehen. Alle erwähnten Hauptteile, einschliesslich Stützschaufelring, sind in vollständig geschweisster Stahlblechkonstruktion hergestellt.

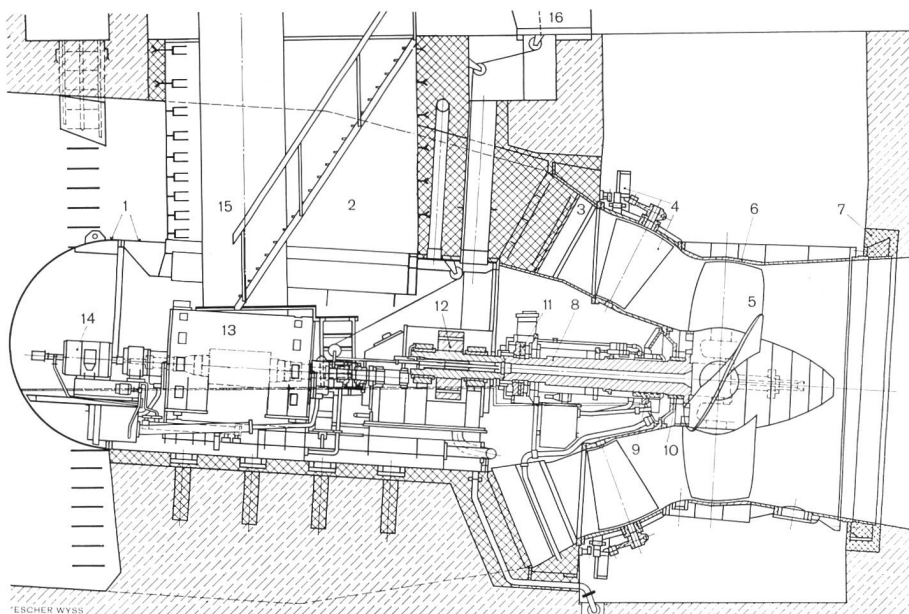
Der Leitrastring besteht aus einem inneren, gegossenen Konus, einem äusseren, geschweissten Wasserführungs-mantel und den zwischen diesen beiden Teilen eingefügten konischen Leitschaufeln. Die besondere Lagerung der letzteren erlaubt, jede Leitschaufel einzeln und ohne Demontage grösserer Teile auszubauen. Die Leitschaufellager werden von einer Zentralschmieranlage mit Fett versorgt. Ueber Hebel und Laschen werden die Leitschaufeln mit dem Regulier-ring verbunden, der sowohl vertikal als auch horizontal durch Rollen geführt wird. Scherbolzen verhindern den Bruch von Leitschaufeln beim Einklemmen von Fremdkörpern. Das Abscheren eines Bolzens wird über einen ihm zugeordneten Kontaktschalter im Kommandoraum angezeigt.

Das Laufrad weist vier Laufschaufeln auf, die durch einen im Inneren der Nabe untergebrachten Servomotor verstellt werden. Die Oelzu- und ableitungen sowie die Laufradrück-

Fig. 1 Modell eines Rohrturbinenmaschinensatzes für die Anlage Rüchlig, mit im Einlauf angeordnetem Rohrgehäuse samt Einstiegschacht. Als Folge der geringen Fallhöhe wurde zwischen Turbine und Generator ein Erhöhungsgetriebe eingefügt.



- 1 Gehäuse mit Haube
- 2 Einstiegschacht
- 3 Stützschaufelring
- 4 Leitapparat
- 5 Laufrad
- 6 Laufradmantel
- 7 Saugrohr-Mauerring
- 8 Turbinenwelle
- 9 Turbinen-Führungslager
- 10 Stopfbüchse
- 11 Spurlager
- 12 Stirnradgetriebe
- 13 Synchron-Generator
- 14 Erregermaschine
- 15 Generator-Warmluftkanal
- 16 Steuerpult



Bei der Trockenlegung eines Maschinensatzes sind ober- und unterwasserseitig Dammbalken einzuführen. Mit einer einzigen Entleerung, deren Einlauf sich vor der Betonstützrippe befindet, wird das Wasser in Einlauf und Saugrohr abgelassen. Durch eine Oeffnung, die sich ungefähr auf der Höhe der Rohrgehäusehaube an einer senkrechten Wasserführungswand befindet, kann in den Einlauf eingestiegen werden. Ins Saugrohr gelangt man durch den Mannlocheinstieg im Laufradmantel.

Bei Inbetriebnahme der Maschinen wird das Drucköl von Motorpumpen geliefert und über ein Anlaufventil dem Vorsteuerservomotor zugeführt. Dieser öffnet und steuert gleichzeitig Lauf- und Leitapparatschieber auf Öffnen, wodurch Drucköl in die Lauf- und Leitradservomotoren strömt.

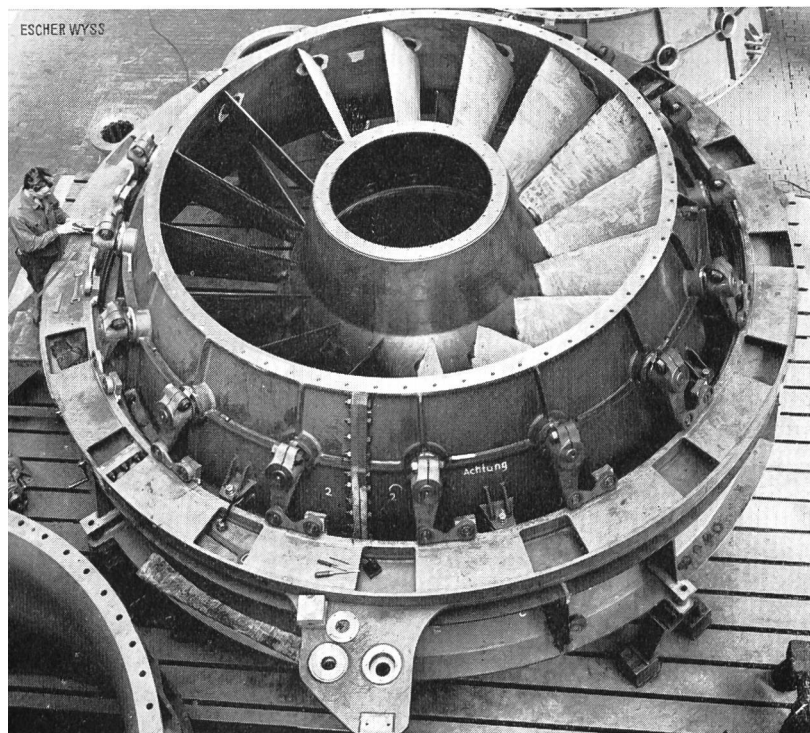
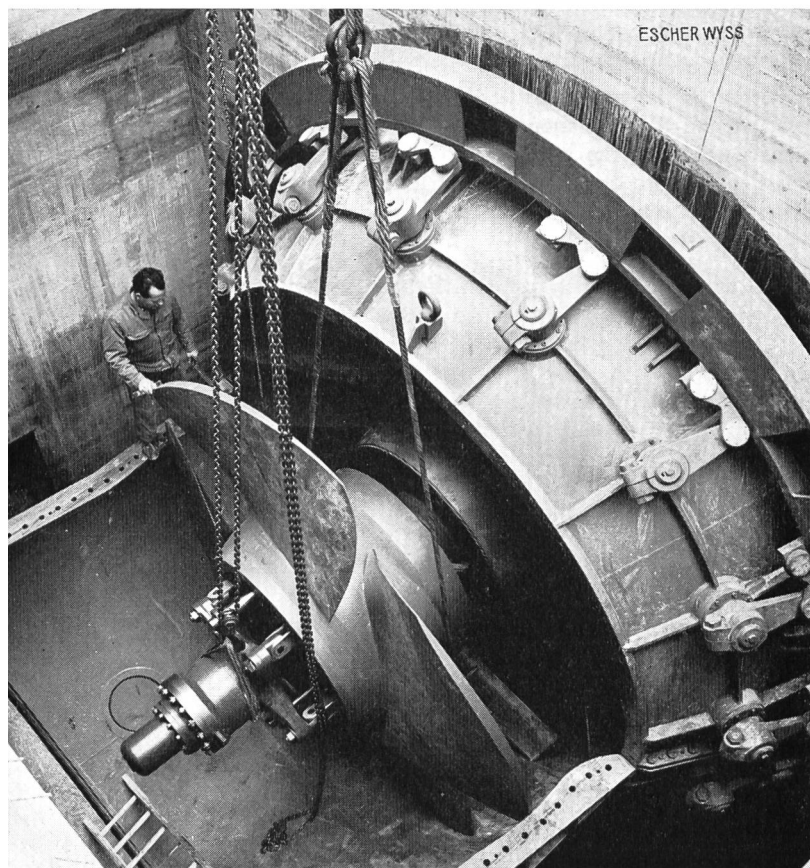


Fig. 3 Zusammenpassen von Stützschaufelring und komplettem Leitapparat im Werk. Reguliering mit Hebelarm für die Gestängebefestigung von Schliessgewicht und Leitradservomotor.

Fig. 4 Einbau des Laufrades. Der freigelegte Servomotor und der Mechanismus zur Verstellung der Laufschaufeln sind im Betrieb von der Laufradhaube umhüllt.



Die Turbine läuft an und wird vom Kommandoraum aus unter Zuhilfenahme des Drehzahlstellers synchronisiert und parallelgeschaltet. Der Drehzahlsteller wird in Volloffenlage gesteuert. Die Niveauregulierung übernimmt entsprechend dem Wasserzufluss automatisch die Lasteneinstellung.

Während des Betriebes lösen erhöhte Lagertemperaturen und kurzzeitiger Ausfall des Kühlwasserzuflusses für die Oelbassins Alarm im Störungsfeld des elektrischen Tableaus aus. Bei Uebertemperatur der Lager, Ueberdrehzahl, dauerndem Ausfall des Kühlwasserzuflusses sowie minimalem Druck in den Regulier- und Schmierölkreisen wird das Abstellen der Gruppe durch Ausschalten des Magnet-Schnellschlusschlebers und des Generatorschalters bewirkt.

Das Abstellen der Gruppe erfolgt in der üblichen Art durch Verstellen des Drehzahlstellers bis Nulllast und des Öffnungsbegrenzers bis zur Anlaufstellung. Durch Drücken des Stoppschalters schliesst über einen Magnet der Schnellschlusschleber, wobei gleichzeitig auch der Generator vom Netz getrennt wird. Dadurch wird das Drucköl im Vorsteuerservomotor abgelassen und letzterer mittels der Feder geschlossen. Der Vorsteuerservomotor betätigt über die Regulierwelle die Lauf- und Leitradsschieber in Schliessrichtung, wobei der Leitapparat durch das Gewicht und das Laufrad durch Drucköl geschlossen werden.

Das Steuerpult ist im Bedienungsraum aufgestellt und enthält die komplette Drehzahlmessenrichtung, die Vorsteuerung, die Lauf- und Leitradsschieber sowie die Bedienungs- und Ueberwachungsinstrumente aller Aggregate. Die Inbetriebnahme einer Gruppe erfolgt vom Steuerpult aus. Synchronisiert und parallelgeschaltet wird im Kommandoraum des Kraftwerkes. Die Steuerung wurde möglichst einfach ausgeführt, aber mit umfangreichen Ueberwachungsinstrumenten versehen, womit bereits eine der wichtigsten Bedingungen zur Erreichung grosser Betriebssicherheit erfüllt ist.

OELVERSORGUNG

Bereits bei der Bestellung der neuen Einheiten hat sich die JFC entschieden, Leistungs- und Wirkungsgradmessungen an der Grossausführung durchführen zu lassen.

Um die Verluste der Maschinen festzustellen, wurden für die Generatoren und Getriebe bei den Lieferanten Werkabnahmen vorgesehen. Aus diesem Grunde sind die einzelnen Aggregate mit unabhängigen Oelversorgungssystemen für Regulierung und Schmierung ausgeführt. Der Generator, das Stirnradgetriebe, die Turbinenlager und die Regulierölversorgung sind mit je einer Motor- und einer starr von der Maschinenwelle angetriebenen Oelpumpe ausgerüstet. Jedes System hat sein eigenes im Rohrgehäuse untergebrachtes Oelbassin und die üblichen Armaturen wie Rückschlag-, Ueberdruckventile und Druckschalter. Alle Motorpumpen werden durch einen gemeinsamen Steuerschalter in Betrieb gesetzt und abgestellt. Beim Hochfahren der Maschinengruppe werden sie bei ca. 80 Prozent aus- und beim Abstellen bei ca. 70 Prozent Nenndrehzahl durch einen Fliehkraftschalter wieder eingeschaltet. Die starr angetriebenen Pumpen können ab ca. 30 Prozent der Nenndrehzahl die betriebsmässige Oelversorgung übernehmen. Sollte während des Betriebes durch irgendeinen Umstand der Druck in einem der Ölkreise zu klein werden, so bewirkt ein Druckschalter die Inbetriebnahme der entsprechenden Motorpumpe und leitet gleichzeitig das Abstellen der Gruppe ein. Die Motorpumpen werden in jedem Fall erst bei Stillstand der Gruppe ausgeschaltet.

GETRIEBE

Die zweistufigen Stirnrad-Erhöungsgetriebe zwischen Turbinen und Generatoren wurden von der Maag-Zahnräder AG, Zürich, geliefert. Sie sind für die Uebertragung einer Leistung von 2350 PS und für die Erhöhung der Drehzahl von 75 auf 1000 Upm konstruiert.

Das Antriebsrad überträgt die Leistung auf zwei Ritzel, welche über Torsionswellen mit den beiden Rädern, die das Abtriebsritzel treiben, verbunden sind. Um eine gedrängte Bauart der Getriebe und damit auch kleinere Abmessungen für die Rohrgehäuse und Einstiegschächte zu erreichen, wurden verschiedene Achshöhen der An- und Abtriebswellen sowie der Zwischenwellen gewählt.

Die einfachen Schrägverzahnungen bestehen aus legiertem Chrom-Nickel-Stahl, gehärtet und geschliffen. Alle Räder und Ritzel sind beidseitig auf Gleitlager abgestützt. Letztere können kontrolliert und wenn erforderlich einzeln ausgebaut werden, ohne die Getrieberotoren zu demontieren. Wegen des überhängenden Laufrades und der Schräglage der Maschinenachse mussten die Gleitlager beim Antriebsrad verstärkt und zusätzlich ein Michell-Lager eingebaut werden. Alle Verzahnungen und Lager sind druckölgeschmiert. Jedes einzelne Lager ist mit einem Thermostat mit zwei Kontakten für Alarm und Schnellschluss sowie einem Widerstandselement für Temperaturanzeige auf dem Steuerpult ausgerüstet.

Das Getriebe ist mit einer starren Flanskupplung mit der Turbinenwelle verbunden. Zwischen Getriebe und Generator hingegen wurde eine Zahnkupplung mit Durchlaufschmierung eingebaut.

Die Betriebsölpumpen für die Turbinenregulierung und die Getriebeschmierung sind generatorseitig am Getriebegehäuse angebaut und werden durch die Zwischenwellen angetrieben.

GENERATOR

Bei den von der AG Brown, Boveri & Cie. (Baden), gelieferten elektrischen Maschinen handelt es sich um Dreiphasen-Synchrongeneratoren mit einer Nennleistung von 2050 kVA, einem Leistungsfaktor von 0,75 und einer Nennspannung von 8600 V.

Um eine möglichst kurze Baulänge der Generatoren zu erreichen, wurden die Maschinen anstelle der sonst üblichen Bocklager mit Schildlagern ausgerüstet. Die Schrägstellung der Maschinengruppen verhinderte auch die Anwendung von Schmierringen in den Lagern, weshalb im Hinblick auf die Notlaufeigenschaften Schmierölpumpen verwendet werden mussten.

Die aussergewöhnlich hohe Durchbrenndrehzahl von 3500 Upm (3,5fache Nenndrehzahl) bedingte besondere Massnahmen für die Rotorkonstruktion (doppelte Hammerkopfbefestigung der Pole), welche für Maschinen dieser Leistungsgrösse sonst nicht üblich sind. Zur Einhaltung einer stabilen Drehzahl wurde ein relativ hohes Schwungmoment gefordert, welches nur durch den Einbau eines Zusatzschwungrades innerhalb des Generators erreicht werden konnte.

Die Maschinen sind frischluftgekühlt. Die kalte Kühlluft wird aus dem Rohrgehäuse angesaugt und durch einen Warmluftkanal ins Freie ausgestossen. Ein Teil der Warmluft wird im Winter für die Temperierung des Bedienungsraumes verwendet.



Fig. 5 Im Inneren des geräumigen Rohrgehäuses mit Blick gegen Stirnradgetriebe, Spurlager und die inneren Wasserführungspartien.

Fig. 6 Fertig montierte elektrische Maschinen mit Synchron-Generator, nichtantriebsseitiges Lager, Pendelgenerator und Erreger sowie Motorölpumpe für die Schmierölversorgung.

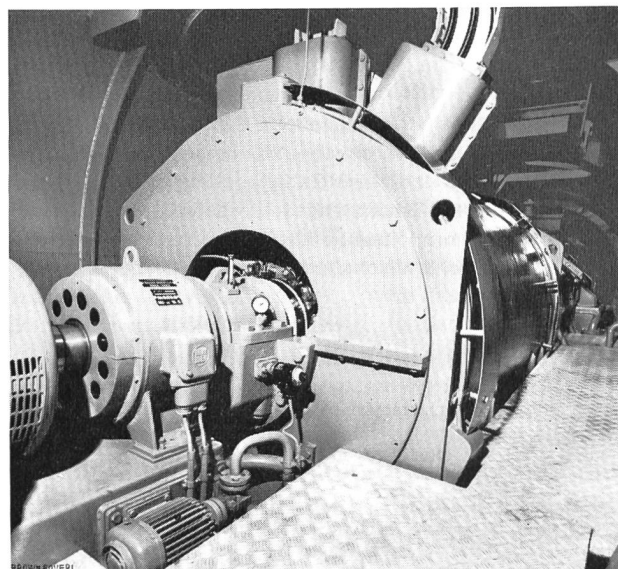


Fig. 7 Abgedecktes Stirnradgetriebe mit turbinenseitigem Antriebsrad links oben, Leistungsverzweigung auf zwei Zwischenwellen (mit angebauten Regulier- und Schmierölpumpen) sowie Abtriebsritzel mit Zahnradkupplung für den Generatoranschluss.

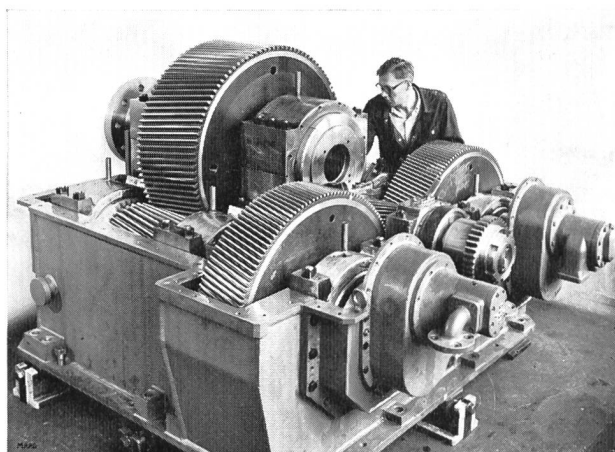
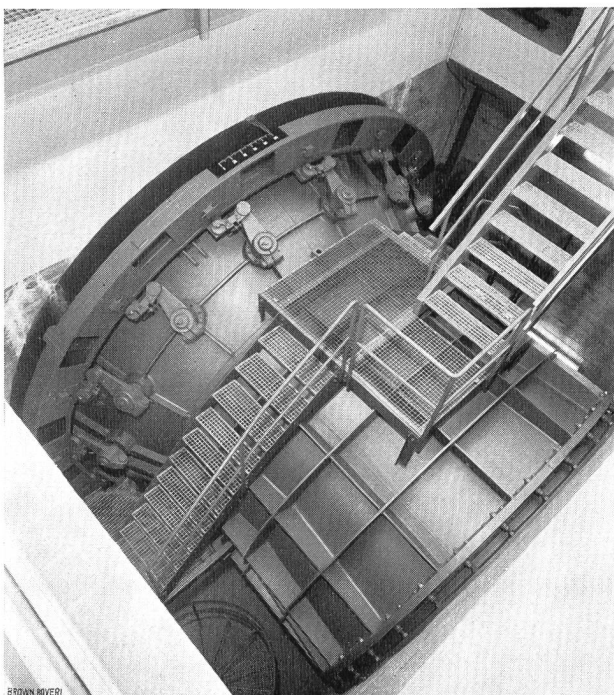




Fig. 8 Setzen des Rohrgehäuses mit Einstiegschacht. Beim grossen Flansch erfolgt der Anschluss des Stützschaufelringes, und an die Stirnfläche des Schachtes wird der Wasserführungssporn geschweisst.

An der Nicht-Antriebsseite des Generators ist der mit der Hauptwelle starr verbundene Pendelgenerator angeordnet. An ihn wird über eine Zahnkupplung die Erregermaschine in üblicher Bauart angeschlossen. Weiter folgt der Anbau einer Zahnradölpumpe für die Generatorlagerschmierung und des Fliehkraftschalters.

Fig. 9 Blick in den Laufradschacht. Links Regulierung mit Hebel und Lenker, in der Nische rechts oben ist der Leitradservomotor abgestützt und seine Verbindungsstange führt zum Reguliererring.



Die sechs Maschinenklemmen werden durch Kabel mit der Hochspannungsanlage verbunden. Im Bereiche des Einstiegschachtes sind die Kabel mit Eternit-Formstücken verschalt.

MONTAGE

Aus bautechnischen Gründen wurde die Montage in zwei Phasen, nämlich einer Vor- und einer Hauptmontage durchgeführt.

Bei Beginn der Vormontage waren der Einlauf und der eigentliche Zentralenblock bis zur saugrohrseitigen Trennfuge betoniert und die Aussparungen für die Metallkonstruktionen vorbereitet.

Auf Tiefgangswagen wurden die Rohrgehäuse auf den Oberwasser-Fangdamm gebracht und über Gleitbühnen aus Larssen-Spundwänden mittels Winden auf die vorbereiteten Stützsockel gezogen, wo sie ausgerichtet und durch Vergiessen der Fundamentschrauben definitiv fixiert wurden. Mit Hilfsvorrichtungen wurden die Stützschaufelringe zur Einbaustelle gebracht, mit den Rohrgehäusen verschraubt und die Verankerungen vergossen. Dann wurden die Einstiegsschächte und anschliessenden Wasserführungssporne mit den Rohrgehäusen verschweisst. Nach dem Einbetonieren aller vorerwähnten Teile und dem Giessen des Bedienungsbodens war die erste Montagephase abgeschlossen.

Für die Hauptmontage stand ein aus dem Werk Wildegg der JCF stammender Bockkran zur Verfügung, dessen Schienen über den Längsmauern des Bedienungsraumes verankert waren. Die Leitapparate wurden zweiteilig, mit eingebauten Leitschaukeln angeliefert, am Ufer zusammengeschaubt und als Einheit zur Einbaustelle gebracht. Dann folgte die Montage der Turbinenwellen und Traglager sowie der Regulierringe. Als nächstes wurden die Stirnradgetriebe durch die Einstiegsschächte in das Rohrgehäuse hinuntergelassen, ausgerichtet und mit den Turbinenwellen gekuppelt.

Nun konnte sowohl in den Rohrgehäusen als auch in den Laufradschächten gearbeitet werden. Einerseits wurden die Spurlager montiert, andererseits die saugrohrseitigen Mauerringe abgesenkt, in ihre Aussparungen verschoben und die untere Hälfte des Laufradmantels eingebracht. Das komplett ab Werk angelieferte Laufrad wurde mit der Welle gekuppelt. Gleichzeitig erfolgte die Montage des Generators samt Zubehör. Die obere Hälfte des Laufradmantels wurde abgesenkt, mit dem Unterteil verschraubt und diese Teile anschliessend mit dem Mauerring verbunden. Der letztere konnte nun einbetoniert werden. Es folgte die Montage der Stopfbüchse, das Stellen der Regulatoren und der Antriebe für die Leitapparate. Fast unmittelbar nach Verlegung der verschiedenen Rohrleitungen und Abschluss der Restmontage konnten die Trockenversuche durchgeführt werden, weil parallel zu obigen Arbeiten die Verkabelungen und Verdrahtungen gemacht wurden.

Nach Abschluss der Montagearbeiten wurde auch der Bockkran demontiert. Ein permanenter Kran für das neue Zentralengebäude ist nicht vorhanden. Bei grösseren Revisionen, bei denen zum Beispiel der Ausbau von schweren Stücken notwendig wird, kann mit einem im JCF-Werk Wildegg stets zur Verfügung stehenden Autokran auf den mittleren Streifen der Bedienungsraumdecke gefahren werden. Diese ist als Spannbetonbrücke ausgebildet. Nach Abheben von lichtdurchlässigen Deckeln, die beidseits des mittleren Streifens angeordnet sind, werden die Einstieg- und Laufradschächte freigelegt. Mit dem Schwerlastkran können nun die zu revidierenden Stücke hinaufgehoben werden.

Bei dieser Lösung konnte das Landschaftsbild von Huborganen freigehalten werden, wobei zugleich Ausgaben für deren Investition eingespart wurden.

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Nach erfolgter Inbetriebnahme aller drei Gruppen in den Monaten November 1962 bis März 1963 wurde, wie üblich bei Erstaussführungen, den Lieferanten Gelegenheit geboten, noch einige Nacharbeiten zu machen. Seither sind die Maschinengruppen fast ununterbrochen und zur Zufriedenheit des Bestellers in Betrieb.

Anfänglich waren Bedenken vorhanden wegen der Geräuschentwicklung der Maschinensätze. Es darf aber gesagt

werden, dass sich dieselbe in normalem Rahmen hält und keineswegs grösser ist als bei konventionellen Kaplan-turbinen.

Es wurde auch befürchtet, dass sich im Innern der Rohrgehäuse Schwitzwasser bilden würde. Die Flanschverbindungen sind alle tropfdicht, und es konnte bis heute weder im Stillstand noch während des Betriebes Schwitzwasserbildung bemerkt werden. Die guten Betriebserfahrungen zeigen, dass die von Escher Wyss für das Kraftwerk Rüchlig vorgeschlagene Bauart von Rohrturbinen für kleine Fallhöhen zweckmässig ist.

Erstmals bei einer grösseren Rohrturbinenanlage wurden Wirkungsgradmessungen an der Grossausführung durchgeführt. Ueber die Versuchsanordnung und Resultate berichtet Professor Gerber in seinem nachfolgenden Artikel.

DIE WIRKUNGSGRADVERSUCHE AN DER ROHRTURBINE «RÜCHLIG»

Prof. Hans Gerber, ETH

DK 621.224

1. Einleitung

Wirkungsgradmessungen in Niederdruck-Kraftwerken sind zeitraubend, kostspielig und betriebsstörend. Mehr und mehr werden deshalb die Abnahmeversuche für die Grossturbinen am Modell durchgeführt. Die IEC¹ sah sich veranlasst, dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, und gegenwärtig ist ein Regelentwurf für Abnahmeversuche an Modellen in redaktioneller Bearbeitung. Im Hinblick auf ihre vielen Wasserkraftwerke und die einschlägige Exportindustrie hat sich die Schweiz von Anfang an und eingehend mit diesen Fragen befasst.

Wesentlich sind dabei die Modellgrössen und Labor-Messeinrichtungen sowie vor allem die Uebertragung der Versuchsergebnisse vom Modell auf die Grossausführung. Hierzu werden sogenannte «Aufwertungsformeln» verwendet, die auf Grund theoretischer Ueberlegungen und aus dem Vergleich von Modell- mit Gross-Versuchen entstanden sind. Dass dabei, wie übrigens auch heute noch, bei weitem nicht alle Probleme und Einflussfaktoren bekannt sind, ging aus der Diskussionstagung vom 13. Februar 1959 deutlich hervor².

Während man beispielsweise heute bei den üblichen vertikalachsigen Kaplan-turbinen mit Saugkrümmern über recht zuverlässige Umrechnungsunterlagen verfügt, ist das bei andern Maschinentypen weniger der Fall, und bei neuen Formen müssen diese Unterlagen eigentlich erst geschaffen werden. Zu diesen gehören heute sicher die Rohrturbinen, die früher auch als «Unterwasser-Turbinen» und «Arno Fischer-Turbinen» bekannt waren. Eine Konsequenz ihrer baulichen Vereinfachung ist die Tatsache, dass bis heute offenbar sehr wenige Anlagen auf Wirkungsgrad gemessen wurden, da vor allem für die Wassermengen-Messungen keine Möglichkeiten bestehen und auch für die Gefällsmessungen nichts vorgekehrt war. Uns ist nur die Messung an der Lechstufe X bekannt, bei welcher der Verfasser noch selbst mitgewirkt hat³. Auch von den neuesten Mosel-Anlagen sind uns keine Publikationen über Wirkungsgradmessungen bekannt.

Es war deshalb sehr verdienstlich von den Jura-Cement-Fabriken Wildeg, dass sie sich entschlossen, an einer der Rohrturbinen im erweiterten Kraftwerk Rüchlig an der Aare in Aarau solche Messungen durchführen zu lassen, unter Leitung des Verfassers dieses Berichtes. Dabei waren sich alle Beteiligten klar darüber, dass diese Versuchsergebnisse

in der Fachwelt auf einiges Interesse stossen würden, und dass daher weder Mühe noch Kosten gescheut werden dürften, um ein Höchstmass an Zuverlässigkeit zu erreichen. Dass es vielleicht nicht in allen Einzelheiten gelang, dieses Ziel zu erreichen aus Gründen, die sich zufällig einstellen können, wird jeder einsehen, der schon mit solchen umfangreichen Versuchen in einer Niederdruckanlage zu tun hatte.

Der Berichterstatter ist auf alle Fälle der Direktion der Jura-Cement-Fabriken dankbar, dass sie ihm für die Vorbereitung und Durchführung der Versuche freie Hand liess und die Arbeit tatkräftig unterstützte. Dieser Dank betrifft aber auch die beteiligten Lieferfirmen:

| | |
|---------------------------------|-------------------|
| Escher Wyss AG, Zürich | für die Turbine |
| Maag-Zahnäder AG, Zürich | für das Getriebe |
| Brown, Boveri & Cie., AG, Baden | für den Generator |

Es soll nun schrittweise gezeigt werden, wie diese Messungen vorbereitet und durchgeführt wurden. Zunächst soll der Versuchsingenieur erfahren, was alles zu einer solchen Messung an einer leistungsmässig doch relativ kleinen Maschinengruppe gehört. Dann aber soll der Rahmen geschaffen werden zur Beantwortung der Frage nach der Zuverlässigkeit der Messergebnisse. Darauf wird im Schlussabschnitt in einer besonderen Betrachtung eingegangen.

2. Vorbereitungen

Alle Lieferanten wurden zu Beginn der Arbeiten, das heisst bereits 1960, über die vorgesehenen Messungen, deren Zweck und Umfang orientiert, ebenso die Bauunternehmung. Damit war Sorge getragen, dass kein wichtiger Termin für Vorarbeiten verpasst wurde.

Konstruktiv wurde eine wichtige Aenderung getroffen. Es war naheliegend, infolge des sehr beschränkten Platzes in diesem Unterseeboot-ähnlichen Raum, die Oelkreise aller Lagerungen usw. von Generator, Getriebe und Turbine aus einem gemeinsamen Oelbehälter zu speisen. Auf unseren Vorschlag hin wurde das aber geändert, denn sonst wären bei kalorimetrischen Messungen erhebliche Schwierigkeiten entstanden. Die Versuche haben die Zweckmässigkeit

¹ Internationale Elektrotechnische Commission

² Mitteilung Nr. 3 des Institutes für Hydraulische Maschinen und Anlagen der ETH, Sonneggstrasse 3, 8006 Zürich, über «Modellversuche für Hydraulische Maschinen»

³ H. Cardinal v. Widdern, «Die Rohrturbine», Escher Wyss Mitteilungen 25/26, S. 22 1952/53