

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 57/58 (1911)
Heft: 12

Artikel: Die Wasserturbinen und Regulatoren des Elektrizitätswerks Sao Paolo, Brasilien: Gebaut von Escher Wyss & Cie. in Zürich
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-82586>

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: 04.02.2026

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

diese beliebig gewählte Grösse auf den Verlängerungen der kleinen Ellipsenhalmesser vom Mittelpunkt der Ellipsen aus aufzutragen und darauf gestützt die Antipole zu bestimmen. In dem Ausdruck für NA kann die Grösse r weggelassen werden, und in dem für H_e wird man sie besser vor das Summenzeichen setzen. Im übrigen bleibt die Berechnung der Zusatzkraft dieselbe.

Da nun die Lage der ersten Drucklinie beliebig ist, auf die Grösse der Ergänzungskraft also keinen Einfluss hat und nur ihren Abstand a vom Schwerpunkt S bedingt, kann diese ebensogut in die Bogenmittellinie gelegt werden. In diesem Falle kommen die Antipole der einzelnen Elemente ins Unendliche zu liegen, somit auch der Drehpunkt der Zusatzkraft. Und zwar fällt dieser bei symmetrischen Bogen mit dem unendlich fernen Punkt der y -Achse zusammen; die Kraft H_e liegt somit in der x -Achse. Eine Bestimmung der Grösse von H_e ist auf diesem Wege nicht möglich, wohl aber lässt sich die Lage der Drucklinie finden, indem jetzt deren Seiten sich mit den entsprechenden Linien der Bogenmittellinie auf der x -Achse schneiden müssen.

Das Einzeichnen der Drucklinie zur Bestimmung der Randspannungen ist aber in diesem Falle nicht nötig. Man erhält letztere einfacher und auch genauer aus der Formel:

$$\sigma = \frac{R}{F} \pm \frac{H_e \cdot y_k}{W}$$

Der erste Ausdruck gibt gleichmässig über den Querschnitt verteilte Druckspannungen, der zweite liefert im Bogenteil oberhalb der x -Achse für den oberen Rand der Querschnitte Druckspannungen und für den untern Zugspannungen, im unterhalb der Achse liegenden Teil umgekehrt.

Die Berechnung von *unsymmetrischen* Bogen kann in der gleichen, vorstehend beschriebenen Weise vorgenommen werden, nur erfordert sie mehr Arbeit, da sie sich auf den ganzen Bogen zu erstrecken hat. Von der Gesamtellipse sind beide Halbaxen zu bestimmen, da der Antipol A im allgemeinen nicht mehr auf der kleinen Halbaxe liegen, die Antipolare deshalb beide Axen schneiden wird.

Danzig, im Dezember 1910.

Die Wasserturbinen und Regulatoren des Elektrizitätswerks Sao Paulo, Brasilien.

Gebaut von Escher Wyss & Cie. in Zürich.

Die Zentrale der Tramway, Light and Power Co. Sao Paulo enthielt bis vor kurzem vier hydroelektrische Einheiten zu je rund 1500 PS Maximal-Leistung; Turbinen und Generatoren waren amerikanischer Herkunft, letztere aus verschiedenen, z. T. ältern Maschinen kombiniert, wie in der Abbildung 1 im Grundriss (Gruppe I bis IV) zu erkennen.

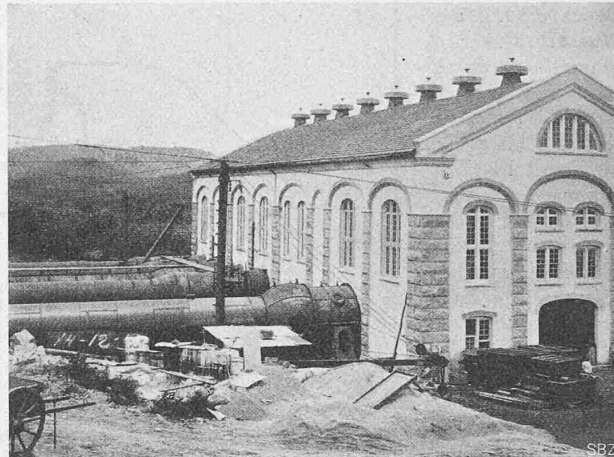


Abb. 2. Ansicht der Zentrale nach Einbau der Turbine V.

Zur Erweiterung des Werkes wurde der Firma Escher Wyss & Cie. in Zürich versuchsweise eine grössere Turbine (Nr. V) von 4500 PS in Auftrag gegeben, die als Doppel-francisturbine mit Oeldruckregulator zur Ausführung kam. Abbildung 2 zeigt die Zentrale nach Einbau der Turbine V, Abbildung 3 diese Turbine selbst samt Regulierung, in einer Werkstattaufnahme. Die Ergebnisse waren so befriedigend, dass das Werk nicht nur nacheinander drei

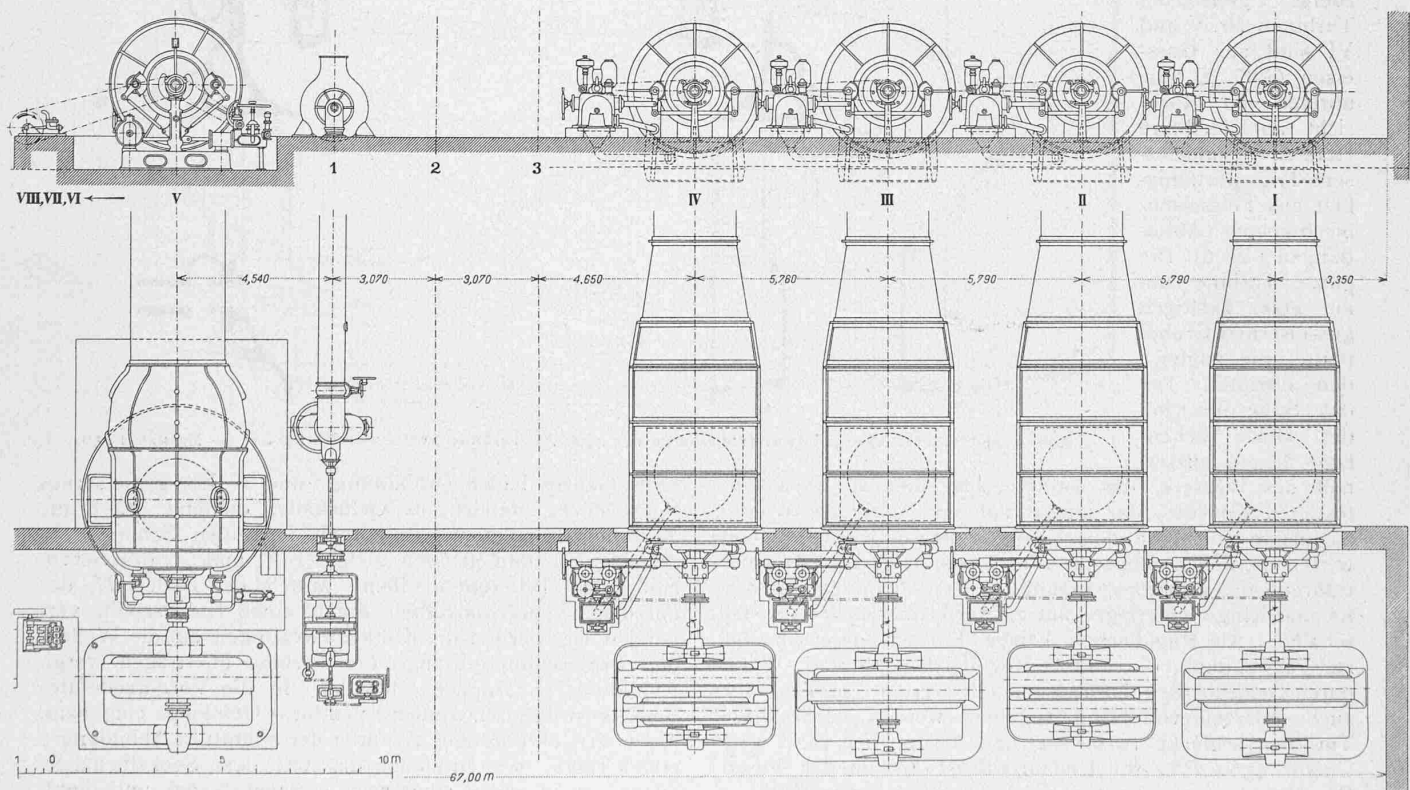


Abb. 1. Anordnung der 4500 PS-Turbinen Nr. I bis V im Elektrizitätswerk Sao Paulo. — Grundriss und Längsschnitt der Zentrale 1:200.

weitere Einheiten gleicher Leistung (Nr. VI bis VIII) bestellte, sondern auch sich entschloss, die vier alten Turbinen I bis IV durch vier grosse Escher Wyss-Turbinen zu ersetzen; die letztern befinden sich zur Zeit noch im Bau, Nr. VIII in Montage, Nr. V bis VII im Betrieb. Dieser erfreuliche, neue Erfolg schweizerischer Maschinen-Industrie veranlasst uns, diese Turbinen unsern Lesern vorzuführen; damit verbinden wir die Beschreibung des neuen Universal-Oeldruck-Regulators von Escher Wyss & Cie., den wir bereits anlässlich der Beschreibung des Wasserkraftwerkes Adamello kurz erwähnt hatten.¹⁾

Die Turbinen (Abbildung 4 bis 6) sind sog. Frontal-Doppel-Francis-Turbinen; das Wasser strömt ihnen in axialer Richtung aus der jeweils an der Stirnseite anschliessenden Druckleitung zu und beaufschlagt zwei symmetrisch zum Saugrohr angeordnete Laufräder. Den Abschluss des Gehäuses bildet ein runder schildartiger Deckel, durch dessen Mitte die horizontale Turbinen-Welle, zu beiden Seiten die beiden Regulierwellen heraustreten. Gehäuse und Deckel der zuerst gelieferten Turbinen Nr. V und VI sind aus Guss-eisen (Abb. 3), die übrigen mit Rücksicht auf leichtere Herstellung und bessere Transportfähigkeit aus Flusseisenblech gebaut (Abbildungen 4 bis 6). Die ganze Turbine ruht auf einer kräftigen gusseisernen Grundplatte, die zugleich den obersten Teil des Saugrohrs bildet. Beide Wellenlager liegen ausserhalb des Wassers, das äussere auf einer am Deckel befestigten Konsole, das innere auf der Seite des Wasserzulaufs, in einer besondern Kammer, die durch einen 850 mm weiten Bedienungsschacht von aussen jederzeit, also auch während des Betriebes, zugänglich ist (Abbildung 2 und 5). Es sind Ringschmierlager mit auswechselbaren Weissmetallschalen. Als Regulierung kamen Finksche Drehschaufeln zur Verwendung, die mittels Regulier-Ringen und -Wellen durch Oeldruck-Regulatoren verstellt werden; es kann aber auch jederzeit von Hand reguliert werden. Jede dieser Turbinen schluckt $19 \text{ m}^3/\text{sek}$ und leistet bei rund 23 m Gefälle 4500 PS; die Umlaufzahl ist 180 in der Minute. Die Hauptmasse sind den Zeichnungen zu entnehmen.

¹⁾ Vergl. Seite 1 und insbesondere Seite 31 des laufenden Bandes.

Regulatoren. Während die erstgelieferten Gruppen V und VI Regulatoren erhielten, deren zugehörige Oelpumpen und Windkessel besonders angeordnet sind (Abbildung 1 und 3), werden die weiteren sechs Turbinen mit den neuesten Universal-Oeldruck-Regulatoren von Escher Wyss & Cie. ausgerüstet, die sich dadurch auszeichnen, dass Zentrifugalregulator, Servomotor samt zugehöriger Steuerung, sowie Oelpumpe und Windkessel ein geschlos-

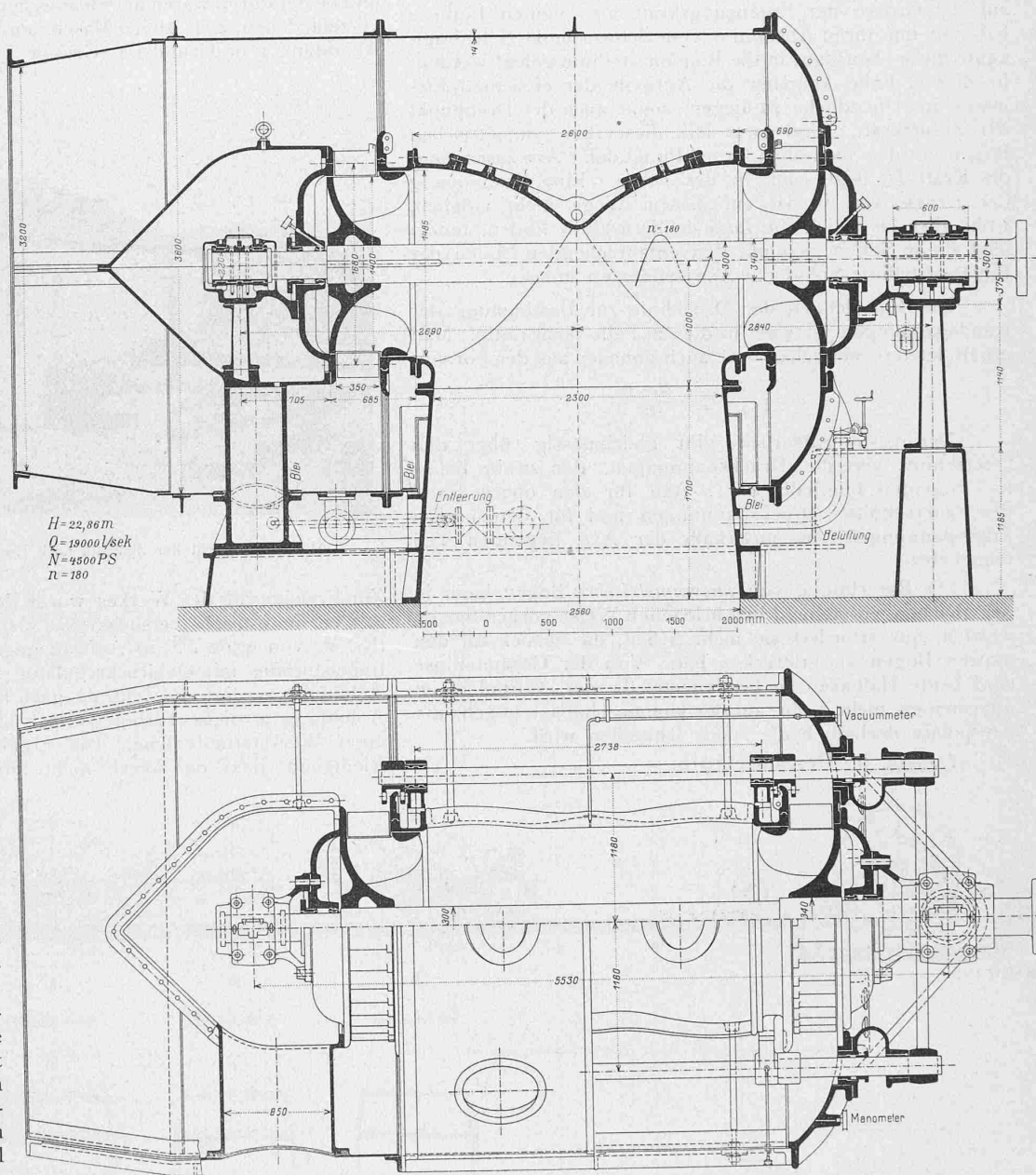


Abb. 4 und 5. Vertikal- und Horizontalschnitte der 4500 PS-Turbinen von Escher Wyss & Cie. — Masstab 1 : 50.

senes Ganzes bilden (Abbildung 7 und 8). Ein gusseisernes Sockelstück, zugleich als Oelbehälter dienend, trägt alle Teile des Regulators; es enthält in seinen Schmalseiten den kleinen und grossen Zylinder Z_1 und Z_2 des Servomotors mit Differentialkolben. Mittels des Hebels H , der mit dem Differentialkolben durch einen Kugelzapfen verbunden ist, werden die Kolbenbewegungen auf die Welle k und das Reguliergestänge der Turbine übertragen (vergl. Abbildung 1, Gruppen I bis IV). In die Vorderseite des Sockels ist die dreizylindrige ventillose Oelpumpe eingebaut, deren drei oszillierende Zylinder der Schnitt in Abbildung 7 rechts zeigt; sie entnimmt das Oel dem Sockelbehälter, presst es in einen ringförmigen Sammelkanal und durch ein Steigrohr in den Windkessel W , der mit Luftventil,

Probierhahn mit Ablauftrichter und Manometer versehen ist. Von hier gelangt das Oel unter max. 15 at Betriebsdruck einerseits konstant in den kleinern Zylinder Z_1 , anderseits je nach Stellung des vorgesteuerten Regulierventils R auch in den grossen Zylinder Z_2 , aus welchem es, wieder durch R gesteuert, in den Sockelbehälter zurückfliesst.

Das nicht in Z_1 verbrauchte überschüssige Drucköl gelangt durch das Ueberströmventil U wieder in das Reservoir zurück; V ist ein Absperrventil. Die Wirkungsweise des Regulators ist die folgende: Steigt die Umlaufzahl der Turbine und damit jene des durch eine Scheibe mit Schneckentrieb bei w angetriebenen Federpendels P , so hebt dieses mittels der Muffe m den Regulatorhebel, der um p sich drehend den Steuerstift e nach unten drückt. Dadurch wird der grosse Zylinder Z_2 mit dem Ablauf verbunden und der konstante Druck in Z_1 schliesst die Regulierung, H nach rechts drückend. Sinkt dagegen die Umlaufzahl, so steigt e ; R lässt Drucköl in Z_2 eintreten und der Ueberdruck gegenüber dem kleinern Z_1 öffnet den Leitapparat der Turbine. In beiden Fällen wird durch H und $p^1 - p$ die Rückführung betätigt, die den Drehpunkt des Regulierhebels bei p hebend oder senkend der Bewegung vom m entgegen wirkt und damit ein Ueberregulieren verhindert. Die

Federbremse B ist das dämpfende, elastische Zwischenglied zwischen Regulierhebel und Rückführung. Zur Tourenverstellung dient das Handrädchen h im Rückführungsgestänge; durch dessen Drehung kann auch eine Handsteuerung von R erfolgen, unabhängig von P . Für die eigentliche, mechanische Handregulierung dient das grosse Handrad, rechts

in Abbildung 8, das gestattet, die Turbine ganz unabhängig von der automatischen Regulierung zu öffnen oder zu schliessen.

In der Anlage Sao Paulo erleichterte die Anwendung dieses kompakten Regulators den Einbau der grossen Turbinen I bis IV ganz wesentlich. Es ist nämlich zu beachten, dass die neu aufgestellten Aggregate V bis VIII mit einem normalen Axabstand von 8220 mm disponiert werden konnten, während für die noch einzubauenden 4500 PS Gruppen I bis IV durch die Anordnung der alten 1500 PS-Turbinen ausserordentlich beschränkte Raumverhältnisse gegeben sind. Wie aus Abbildung 1 ersichtlich,

kommt hierbei der geringe Raumbedarf der Regulator sehr zu statten. Ueber deren Antrieb ist noch zu bemerken, dass, während normalerweise die Ölpumpe durch einen Riemen von der Turbinenwelle aus angetrieben wird, im vorliegenden Falle ein unabhängiger Antrieb mittels je eines kleinen Löffelrads vorgesehen ist, das direkt auf

Die Wasserturbinen und Regulatoren des Kraftwerks Sao Paulo.

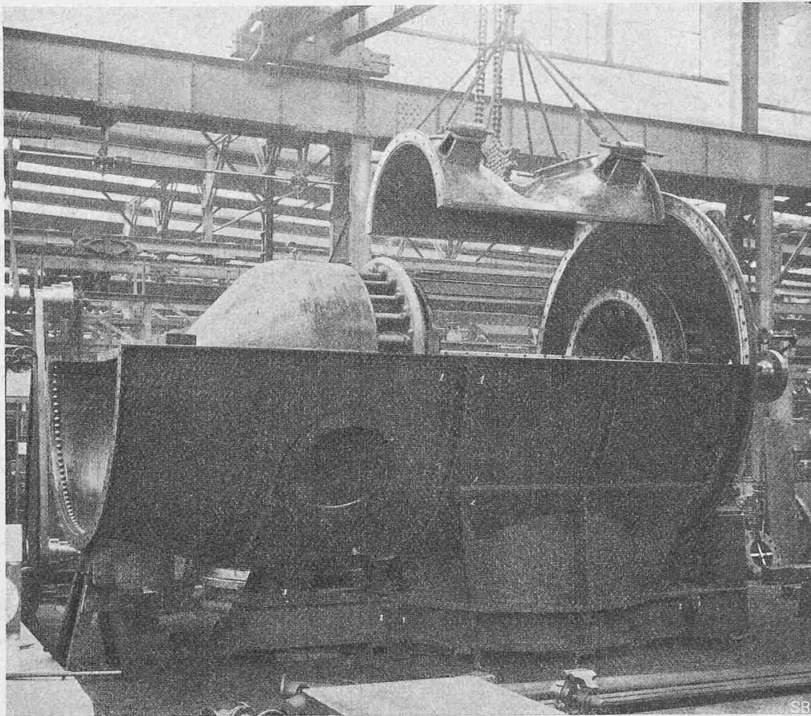


Abb. 6. Einblick in eine der Turbinen mit Blechgehäuse.

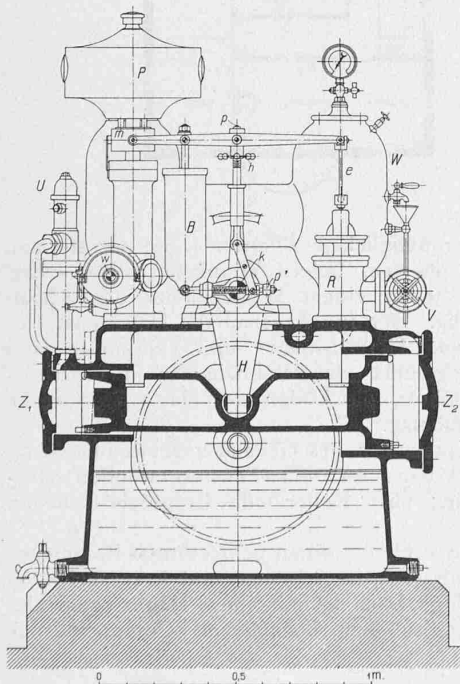


Abbildung 7.
Universal-
Oeldruck-Regulator
der Firma
Escher Wyss & Cie.
in Zürich.

Schnitte durch
Differenzialkolben
und Ölpumpe.
Masstab 1:25

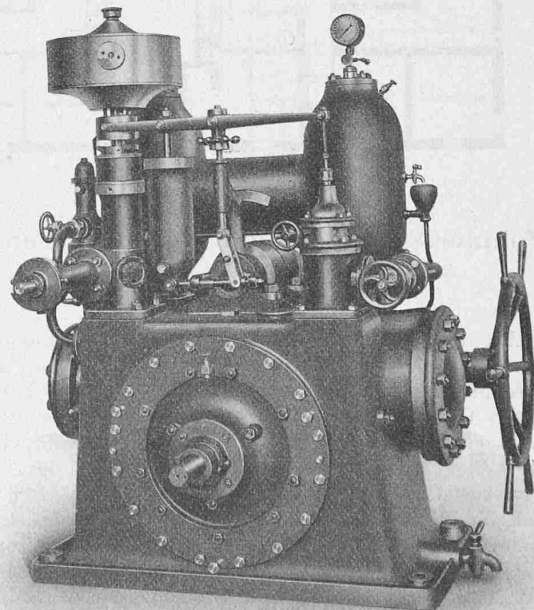
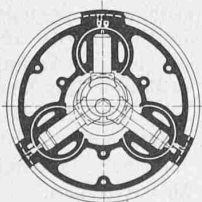


Abb. 8. Ansicht des Universal-Oeldruck-Regulators.

der verlängerten Oelpumpenwelle sitzt. Damit wird erreicht, dass die Turbinen ohne Anwendung der Handregulierung und gleich mit der automatischen Regulierung in Gang gesetzt werden können.

Zum Antrieb der Erreger lieferten Escher Wyss & Cie. gleichzeitig mit Turbine V die 400 PS Spiralfurcanturbine Nr. 1; sie hat Einlauf von oben und doppelten Ausguss und wird ebenfalls von einem der oben beschriebenen Universal-Oeldruck-Regulatoren gesteuert. Mit der Bestellung der übrigen Turbinen wurden der Zürcher Firma auch zwei weitere Erreberturbinen in Auftrag geben. Durch den vollen Ausbau und die Auswechslung der alten 1500 PS-Turbinen durch solche von dreifacher Leistung wird die Gesamt-Maschinenstärke der Zentrale Sao Paulo auf $8 \times 4500 = 36000$ PS gebracht.

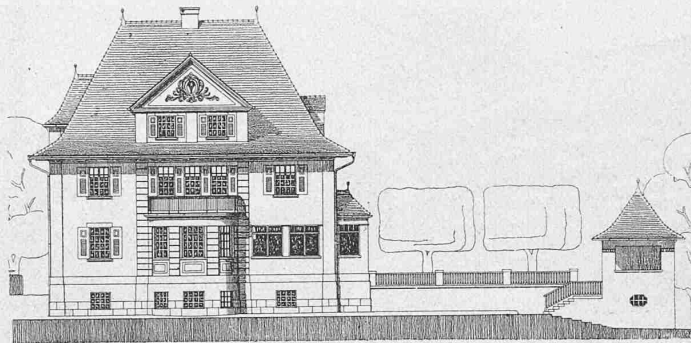


Abb. 4. Südfassade mit Terrasse und Gartenhaus.

erkennen lassen. Zu gunsten grosser Zimmer wurde auf eine sog. wohnliche Diele verzichtet; immerhin ist das Treppenhaus recht freundlich und als gelegentlicher Wartezimmer benutzbar gestaltet (Tafel 37). Den Mittelpunkt bildet das Wohnzimmer mit weit ausbiegender Fensterwand (Tafel 37), daran stösst einerseits das Herrenzimmer, anderseits das Esszimmer (Tafel 36), aus dem eine grosse und heizbare Glasveranda den Austritt in den Garten, auf die Terrasse vermittelt. Zwischen Esszimmer und Küche liegt die geräumige Anrichte, durch die der Zugang zur Küche auch vom Nebeneingang des Hauses her erfolgt. Auch die Verbindung nach dem Keller findet von hier durch die am Nebeneingang vorbeiführende Treppe statt. Im Keller finden wir eine zweckmässige Trennung der warmen und kalten Räume; der Wirtschaftskeller liegt zwischen einem

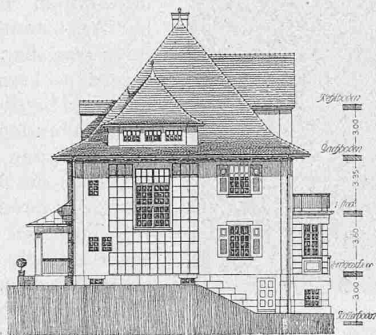


Abb. 5. Westfassade.

Wohnhaus des
Herrn Direktor H. v. Waldkirch
in Neuhausen.

Erbaut von den
Architekten *Bridler & Völki*, Winterthur.

Abb. 1 bis 3. Grundrisse.

Abb. 4 bis 6. Fassaden.

Masstab 1 : 400.

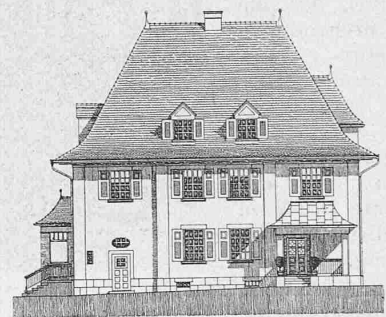
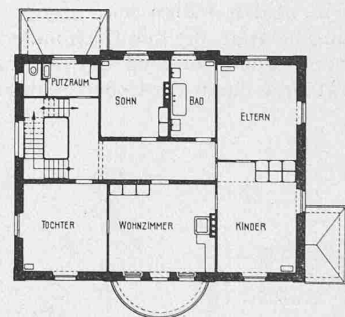
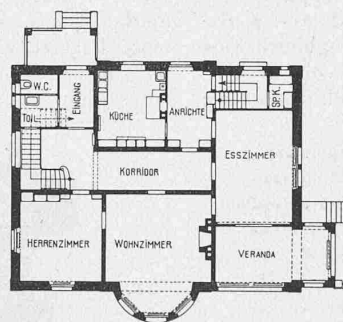
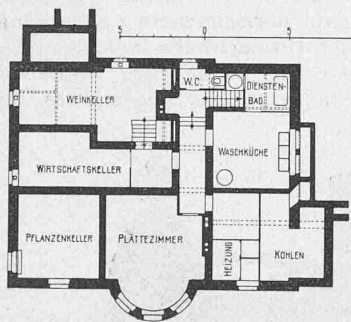


Abb. 6. Nordfassade.



Wohnhaus v. Waldkirch in Neuhausen.

Architekten *Bridler & Völki*, Winterthur.

(Mit Tafeln 35 bis 38).

Fährt man von Schaffhausen mit der Strassenbahn nach Neuhausen, so kommt man an einer weiten, sanft gegen Norden ansteigenden Wiese vorbei, an deren oberem Rand, von Gebüsch und Bäumen eingefasst, das stattliche Haus sich erhebt, wie es Tafel 35 zeigt. Der wohl vielen unserer Kollegen der G. e. P. bekannte Direktor der Industrie-Gesellschaft Neuhausen, Ingenieur H. v. Waldkirch, hat es durch die Winterthurer Architekten Bridler & Völki als behagliches Wohnhaus erbauen lassen. Einfach und freundlich blickt es von seiner Höhe herab, und von seinen Fenstern und der Gartenterrasse schweift der Blick über den grünen Rhein bis weit ins Land hinaus.

Anfahrt und Haupteingang befinden sich an der Nordseite, wie Tafel 38 und die obenstehenden Grundrisse

nur von aussen zugänglichen Pflanzen- und Geräteraum und dem ganz isolierten, tiefen Weinkeller. Das Obergeschoss enthält neben einem Wohnzimmer die Schlafzimmer der Familie. Der Innenausbau des Hauses ist einfach aber gediegen. Herrenzimmer und Esszimmer sind in Eichenholz ausgeführt, das Wohnzimmer in weiss gestrichenem Tannenholz, die Böden der oberen Stockwerke erhielten Linoleumbelag.

Für die Hauptmauern des Gebäudes verwendete man Schaffhauser Kalkstein, zu den Fenstergewänden Rorschacher Sandstein; über Keller und Erdgeschoss liegen Massivdecken.

Die Fassaden erhielten einen gelbgetönten Besenwurf, von dem sich die weissen Lisenen und Erkerbauten abheben; das ruhige Dach ist mit roten Handziegeln eingedeckt und trägt zu dem behaglichen Gesamteindruck wesentlich bei.

Handelt es sich um *symmetrische* Bogen, so liegt sowohl der Schwerpunkt der elastischen Gewichte S , wie auch der Drehpunkt A auf der vertikalen Symmetrieaxe des Bogens und die Antipolare steht infolgedessen auf dieser senkrecht. Die gesuchte Ergänzungskraft ist also eine horizontale Kraft. Trägt man sie im Kräftepolygon von dem beliebig gewählten Pole O' den Kräften R' entgegengesetzt auf, so findet man nach Satz 3 den Pol O für die richtige Drucklinie. Die Seiten des beliebig angenommenen und diejenigen des richtigen Seilpolygons schneiden sich auf der Antipolaren, und dadurch ist auch die Lage der endgültigen Drucklinie gefunden. Die im Bogen auftretenden Spannungen ergeben sich nach bekannten Regeln.

Zur Bestimmung der Entfernung a der Antipolaren vom Schwerpunkt S ist der Halbmesser i der Elastizitätsellipse des ganzen Bogens erforderlich, da

$$a = \frac{i^2}{m},$$

wo m den Abstand des Antipols vom Schwerpunkt bedeutet.

[Die Wasserturbinen des Elektrizitätswerks Sao Paulo.

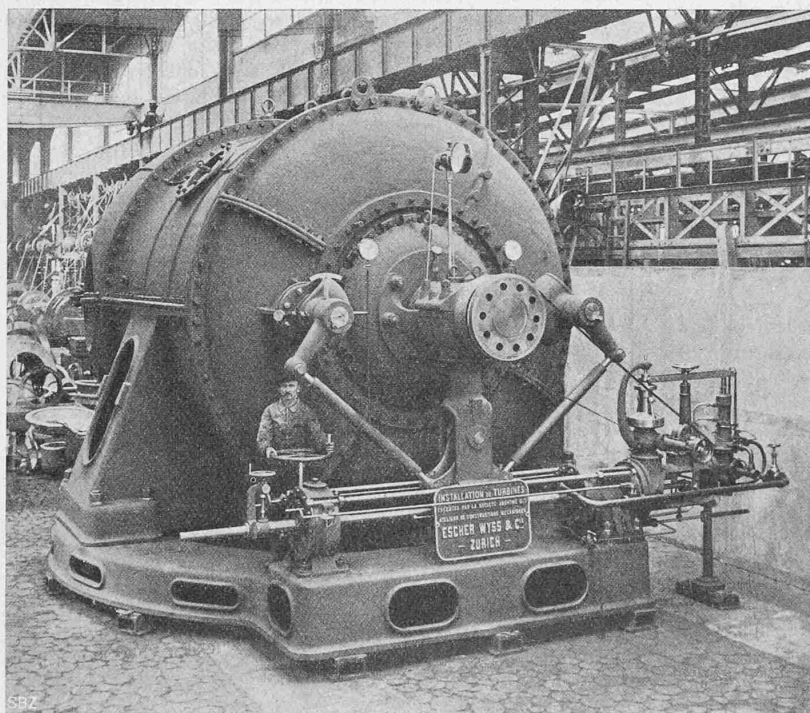


Abb. 3. 4500 PS-Turbine Nr. V mit Regulator.

Das Trägheitsmoment einer ebenen Figur hinsichtlich einer beliebigen Axe ist bekanntlich gleich deren Flächeninhalt multipliziert mit dem Abstand des Schwerpunktes von der Axe und mit dem Abstand des Antipols dieser Axe hinsichtlich der Trägheitsellipse. Es ist also

$$i^2 = \frac{\sum (Ag \cdot y_s \cdot y_x)}{\sum (Ag)}$$

Für Bogen mit geringen Bogenstärken kann mit genügender Genauigkeit $y_x = y_s$ gesetzt werden, wodurch die Arbeit etwas vereinfacht wird.

Was die Einteilung des Bogens in Elemente betrifft, so wird man deren Zahl möglichst beschränken; bei stark wechselndem Trägheitsmoment dürfen die Elemente jedoch nicht zu gross angenommen werden, damit man für J noch ohne grossen Fehler einen Durchschnittswert einführen kann.

Es empfiehlt sich, den Pol O' so zu wählen, dass die erste Drucklinie der Mittellinie des Bogens möglichst ähnlich verläuft und dass ihre Seiten also die Verlängerungen der kleinen Halbachsen der Ellipsen angenähert senkrecht schneiden. Dann werden die Antipole A auf diesen Geraden liegen und ist zu ihrer Bestimmung nur der kleine Halb-

messer erforderlich. Als Mittelpunkt der Ellipsen kann mit genügender Genauigkeit der Schwerpunkt des durch die Querschnitte begrenzten Stückes der Bogenmittellinie gewählt werden.

Bezeichnet man die Bogenstärke mit d und betrachtet man einen Bogenring von der Breite 1, so ist das Trägheitsmoment:

$$J = \frac{d^3}{12},$$

das elastische Gewicht $Ag = \frac{12 \cdot As}{d^3 \cdot E}$

und die kleine Halbaxe der Elastizitätsellipse der Elemente

$$i_1 = \frac{d}{\sqrt{12}}$$

Beachtet man diese Ausdrücke und nimmt die Länge der Elemente als konstant an, so ergeben sich zur Bestimmung von Grösse und Lage der Ergänzungskraft H_e folgende Formeln:

Der Abstand des Mittelpunktes der Gesamtellipse von der Bogensehne:

$$NS = \frac{\sum \left(\frac{y_s'}{d^3} \right)}{\sum \left(\frac{1}{d^3} \right)}$$

Der Abstand des Antipols A von der Bogensehne:

$$NA = \frac{\sum \left(\frac{R \cdot r \cdot y_a'}{d^3} \right)}{\sum \left(\frac{Rr}{d^3} \right)}$$

Daraus $m = NS - NA$.

Das Quadrat des kleinen Halbmessers der Ellipse ist

$$i^2 = \frac{\sum \left(\frac{y_s'^2}{d^3} \right)}{\sum \left(\frac{1}{d^3} \right)}$$

und der Abstand der Antipolaren vom Schwerpunkt

$$a = \frac{i^2}{m}$$

Schliesslich ergibt sich die Zusatzkraft zu

$$H_e = \frac{\sum \left(\frac{R \cdot r}{d^3} \right)}{a \cdot \sum \left(\frac{1}{d^3} \right)}$$

Ist die Querschnittsänderung des Bogens gering, so kann man sein Trägheitsmoment als konstant ansehen, wodurch sich obige

Formeln durch Wegfall der Grösse d wesentlich vereinfachen.

Die Grössen R, r, d usw. greift man in der Zeichnung ab, trägt sie am besten in Tabellenform auf und bestimmt dann die Produkte und Summen. Als Genauigkeitsprobe für die Berechnung kann gelten, dass die in den Antipolen der richtigen Seilpolygonseiten angreifenden Drehwinkel einander das Gleichgewicht halten müssen.

Die Bestimmung der *Eigengewichtsspannungen* wird man, da es sich hierbei um grosse Kräfte handelt und möglichste Genauigkeit der Berechnung erwünscht ist, besser auf folgende Weise vornehmen. (Vgl. Prof. E. Mörsch: Berechnung von eingespannten Gewölben, in „Schweiz. Bauzeitung“, Bd. XLVII, S. 83 bzw. 89.)

Man gibt dem Gewölbe eine derartige Form, dass seine Axe mit einer Stützlinie für Eigengewicht zusammenfällt, was sich durch Versuchsrechnung leicht erzielen lässt. Dann kann die Hilfsdrucklinie als ein zur Bogenmittellinie ähnlicher Polygonzug konstruiert werden. Das Einzeichnen der Drucklinie ist aber nicht nötig, da die Hebelarme r alle von gleicher Länge sind. Es genügt,