

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 37/38 (1901)
Heft: 17

Artikel: Specialbericht über die Turbinen und deren Regulatoren an der Weltausstellung in Paris 1900
Autor: Prášil, Franz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-22698>

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: 18.04.2026

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

INHALT: Specialbericht über die Turbinen und deren Regulatoren an der Weltausstellung in Paris 1900. VII. — Graphische Lösung höherer algebraischer Gleichungen. (Schluss.) — Wettbewerb für eine evangelisch-reformierte Kirche in Bern. I. — Der VI. internationale Eisenbahn-Kongress im September 1900 zu Paris. — Preisausschreiben:

Ferienaufgaben der Gesellschaft ehem. Studierender der eidg. polytechnischen Schule in Zürich für 1900 und 1901. — Konkurrenzen: Bebauungs-Plan für Gothenburg. Moderne Fassaden-Entwürfe. — Nekrologie: † K. A. Hiller. — Vereinsnachrichten: Zürich. Ing.- und Arch.-Verein: Referat. Gesellschaft ehemaliger Studierender: Stellenvermittlung.

Specialbericht über die Turbinen und deren Regulatoren an der Weltausstellung in Paris 1900.

Von Professor F. Prášil, Zürich.

Alle Rechte vorbehalten.

VII.

Aktiengesellschaft der Maschinenfabrik von Theodor Bell & Cie., Kriens. — Nach dem Jahre 1896 fand auch diese Firma Veranlassung, neben dem von ihr bis zu dieser Zeit für Niederdruckanlagen angewandten System der mehrkränzigen Achsialturbinen den Bau von Etagen-Reaktionsturbinen mit äusserer radialer Beaufschlagung aufzunehmen und denselben auf Mitteldruckanlagen auszudehnen; sie brachte dieses System in Paris durch die dreikränzige Etagenturbine auf vertikaler Welle und je eine zweikränzige und vierkränzige Ausführung mit horizontaler Welle zur Darstellung.

Die vertikalachsige Turbine, die als grösstes Objekt im Gesamtbild der Bell'schen Gruppe (Fig. 5 des einleitenden Berichtes¹⁾) hervortritt, gehört zur Lieferung für das Elektrizitätswerk Betznau bei Turgi an der Aare und ist — wie aus dem Schnitt Fig. 59 ersichtlich — für den Einbau in einen Wasserkasten aus Beton nach der, solchen Etagenturbinen eigentümlichen Anordnung disponiert; sie ist für eine Leistung von 1000 eff. P. S. bei 67 minütlichen Umdrehungen und Gefällschwankungen von 3,3 bis 5,3 m bemessen; als Normal-Gefälle wird 3,8 m angegeben. Bei 2,3 m äusserem Laufraddurchmesser ergibt sich hieraus der aussergewöhnlich hohe Geschwindigkeits-Koeffizient $u : \sqrt{2gH} = 0,925$. Die Schaufelform ist hinsichtlich ihres inneren Umrisses dem Swain-Typus ähnlich.

In dem obersten Teile des Wasserkastens ist an der Decke eine kräftige gusseiserne Platte eingelassen, als Träger für das Ringspurlager, welches jedoch nicht an der Turbinenwelle, sondern an der mit derselben direkt gekuppelten Generatorwelle die vertikale Stützung der ganzen hydro-

elektrischen Gruppe bewirkt. Die horizontale Stützung derselben findet durch Halslager statt in der aus der Detailfig. 60 (S. 179) ersichtlichen Weise. Das untere Halslager ist auf einer zwischen unterem und mittlerem Laufrad eingebauten Platte befestigt und durch im Mantel oberhalb der Platte angebrachte Oeffnungen zugänglich. Vermöge dieser Anordnung erhält das mittlere Laufrad Druck von unten und dient somit gleichzeitig als Entlastungskolben zur Verminderung der Belastung des Ringspurlagers. Insoweit bietet jedoch die Anordnung nichts wesentlich Eigenartiges, mit Ausnahme einiger konstruktiver Einzelheiten, wie z. B. des einheitlichen Aufbaues auf Säulen u. a. m.

Originell ist hingegen die Regulierung, deren wesentliches Detail in Fig. 61 (S. 178) dargestellt ist. Jede Leitrad-schau-fel besteht aus zwei Teilen: einem festen, mit den beiden Seitenkränzen des Leitrades in einem Stück gegossenen und einem beweglichen Teil. Der letztere passt mit zwei kreisrunden Scheiben in entsprechende cylindrische Bohrungen der Seitenkränze derart, dass dieser Schaufelteil drehbar

ist und sich in einer Lage als Verlängerung des festen Teiles an denselben anlehnt; bei Verdrehung bleibt die Anlehnung einerseits bestehen, andererseits wird der Durchflussquerschnitt des Leitradkanales verändert. Durch Lenker, welche mit den Drehschau-feln und einem das Leitrad umgebenden Ring in Charnieren verbunden sind, werden bei Bewegung des Ringes sämtliche Drehschau-feln eines Leitrades gleichzeitig verdreht und damit der Wasserkonsum am ganzen Umfang verändert; hierbei erleiden jedoch die Kontinuität und die Richtung der Wasserzuführung im Leitrad Störungen, die namentlich bei kleinem Wasserkonsum mit einer Verminderung des Wirkungsgrades verbunden sein werden; dagegen ist, wie z. B. im vorliegenden Fall, eine rasche Regulierbarkeit zu erwarten.

Die schweren Ringe, an welchen die Lenker angreifen, werden von einer vertikalen Regulierwelle durch ein

Akt.-Ges. der Maschinenfabrik von Theodor Bell & Cie. in Kriens bei Luzern.

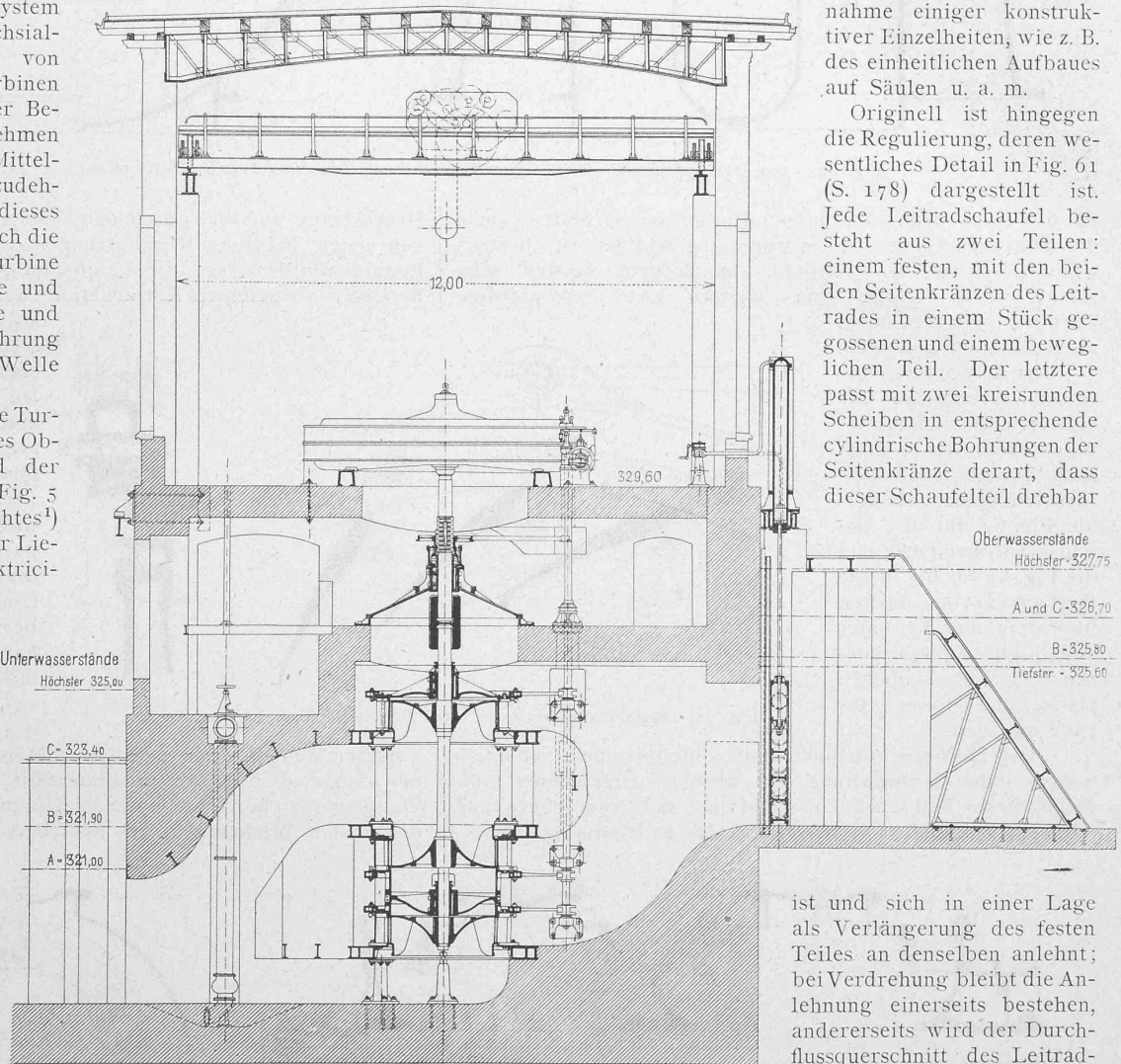


Fig. 59. 1000 P. S. Etagen-Turbine. Elektrizitätswerk Betznau an der Aare. Masstab 1:150.

¹⁾ Bd. XXXVI S. 121.

Hebelwerk ähnlicher Anordnung wie seinerzeit im Genfer Bericht¹⁾ skizziert, bewegt und sind zur Beseitigung der gleitenden Reibung auf Stahlkugeln gelagert (siehe Detail-

Im Cylinder des Servomotors wirkt der unter dem Einfluss des Centrifugalpendels in bekannter Weise durch das Regulierventil gesteuerte Servomotorkolben mittels

Akt.-Ges. der Maschinenfabrik von Theodor Bell & Cie. in Kriens bei Luzern.

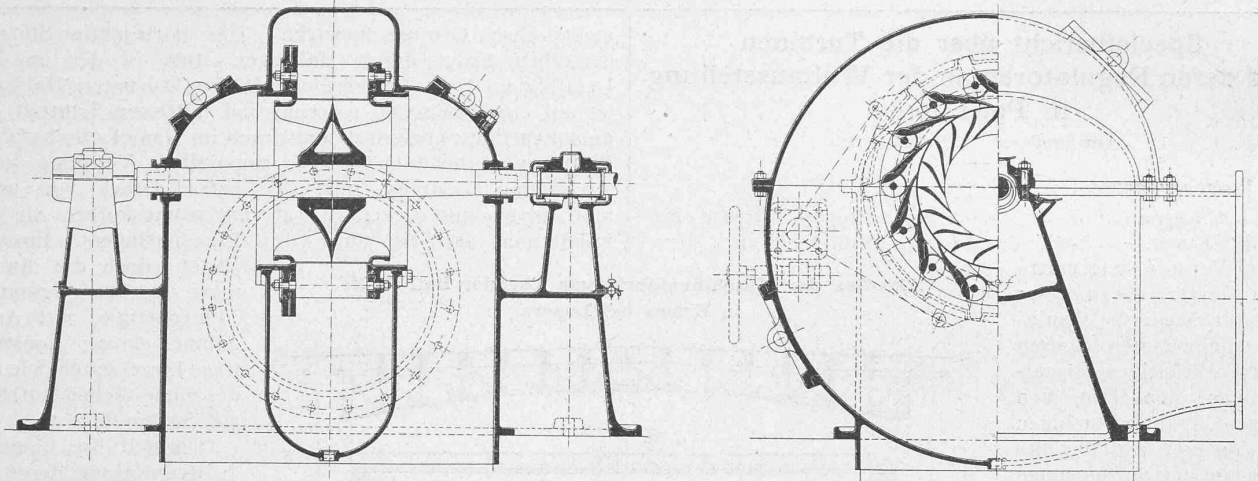


Fig. 62. 300 P. S. geschlossene Doppel-Francis-turbine mit halb-amerikanischer Schaufelung. 1 : 25.

fig. 61), wie denn überhaupt die grosse Sorgfalt, welche der Durcharbeitung und Anordnung gewidmet ist, hervorgehoben zu werden verdient. In Betznau werden zehn solche] 1000-pferdige und weitere zwei 500-pferdige Turbinen gleicher Bauart zur Aufstellung gelangen.

Unter Anwendung derselben Grundsätze für Schaufelung und Regulierung sind die beiden horizontalachsigen Mitteldruckturbinen gebaut; die Fig. 62 für die geschlossene zweifache und die Fig. 63 für die offene vierfache Turbine dürften im Verein mit den unter diese Figuren geschriebenen Daten zur sachlichen Darstellung dieser Objekte genügen.

Die Hochdruckturbinen mit löffelförmigen Schaufeln waren, unter Beibehaltung des übrigen allgemeinen Aufbaues dieses Bell'schen Turbinentypes, mit einer neuen und durchaus originellen Kombination des hydraulischen Servo-

Druckstange auf die, durch den Wasserdruck im Leitapparat von unten belastete Regulierzunge. Centrifugalpendel und Regulierventil weisen die bereits im Nachtrag zum Genfer Bericht¹⁾ vorgeführte Konstruktion auf.

Der Servomotorkolben bildet jedoch selbst den Cylinder zu einem zweiten koachsialen Kolben, der die automatische Druckregulierung besorgt, indem durch ihn ein Schieber bewegt wird, welcher für gewöhnlich eine am Leitapparat angeordnete Freilauföffnung verschliesst (siehe Fig. 64 a); Schieber und Schieberspiegel haben cylindrische Auflagerflächen; der Schieber ist von zwei seitlich des Leitapparates angeordneten Winkelhebeln getragen, deren Drehachse mit jener der Zunge geometrisch zusammenfällt, und die daher auch die geometrische Achse der Schieberspiegelfläche sein muss; die beiden Winkelhebel des Schiebers sind durch seitliche

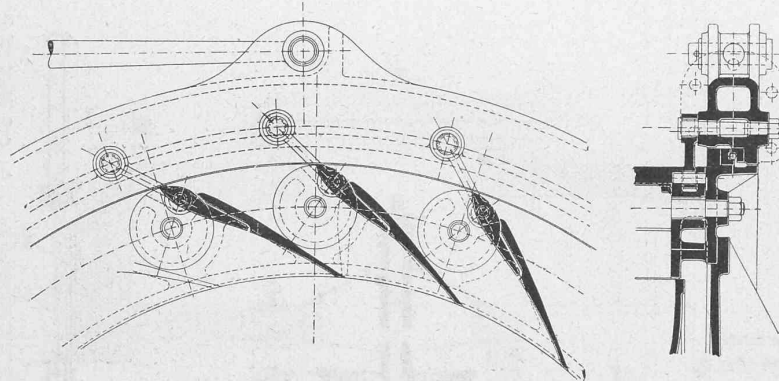


Fig. 61. Regulierungsdetail zur 1000 P. S. Turbine in Betznau. 1 : 20.

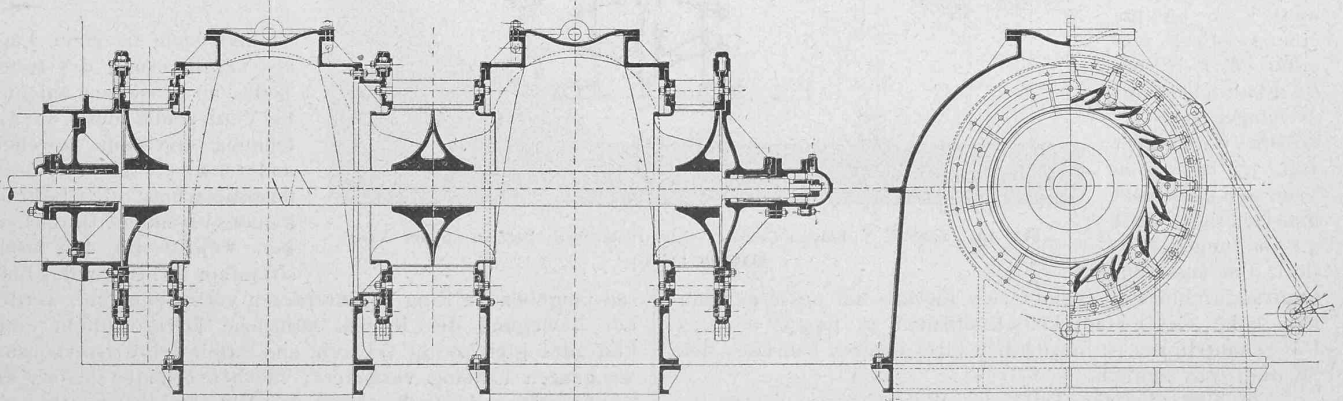


Fig. 63. Vierfache, offene Francis-turbine mit halb-amerikanischer Schaufelung. 1 : 35.

motors mit einer automatischen Druckregulierung, ausgerüstet. Dieselbe ist in den Figuren 64 a und 64 b dargestellt und hat folgende Anordnung und Wirksamkeit :

Lenker mit dem inneren Kolben verbunden (siehe Fig. 64 b). Indem die, die Druckstange des Servomotors umgebende Druckfeder sich einerseits auf eine am Leitapparat-

¹⁾ Bd. XXVIII S. 169 (Commande du Vannage).

¹⁾ Bd. XXIX S. 37 u. f.

gehäuse vorgesehene feste Auflagefläche, andererseits aber auf den inneren Kolben stützt, der letztere aber im Sinne des Federdruckes keine Bewegung annehmen kann, so lange er bei Schlussstellung des Schiebers an einem, am Leitapparat angebrachten Anschlag (siehe Fig. 64 a) anliegt, bilden Leitapparat, Schieber, innerer Kolben und Hebelwerk das durch Kraftschluss in relativer Ruhe erhaltene System der automatischen Druckregulierung.

Der durch den inneren Kolben im Servomotorkolben abgegrenzte Raum wird durch einen im genannten Kolben ausgebohrten Kanal von aussen mit Flüssigkeit gefüllt, deren Pressung bei Ruhe oder langsamer Bewegung des Servomotorkolbens so klein bleibt, dass der Federdruck nicht überwunden wird und die automatische Druckregulierung ausser Wirksamkeit bleibt. Bei rascher Bewegung des Servomotorkolbens tritt jedoch Pressungserhöhung ein, der innere Kolben bewegt sich gleichsinnig mit dem äusseren, es findet Zusammendrückung der Feder und damit Oeffnung des Freilaufes statt; durch den wachsenden Federdruck wird eine rückläufige Bewegung des inneren Kolbens und damit allmählicher Schluss des Freilaufes bewirkt. Verschiedene mit Schraubenbewegung und Mikrometerteilung versehene Stellvorrichtungen gestatten die genaue Einstellung von Regulierventil und Servomotorkolben.

Die Ausrüstung für die Sicherheit des Betriebes ist eine vollkommene. Die Lager sind mit automatischer Ringschmierung versehen und ihre Abmessungen im Verhältnis $d:l = 3:8$ gehalten.

Als selbständige Apparate waren ferner von Th. Bell & Cie. ein Regulator mit hydraulischem Servomotor für Nieder- und Mitteldruckanlagen, ein Patent-Schaltregulator und ein hydromechanischer Differentialregulator ausgestellt.

Der erstere ist in seinem generellen Aufbau ein horizontaler Servomotor mit Differentialkolben, dessen Centri-

den. Die Ausrüstung mit Absperrhähnen, Manometer, Tachometer u. s. w. ist übersichtlich und leicht bedienbar.

Der Patent-Schaltregulator besitzt eine Neuerung, die durch beistehende schematische Skizze (Fig. 65) und den Vergleich mit der im Genfer Bericht beschriebenen Ausführung¹⁾ leicht verständlich wird. Das am ständig bewegten Klinkenrad befestigte und die Bewegung der Schaltklinken bestimmende Hebelwerk der älteren Anordnung

A. G. Theodor Bell & Cie. in Kriens.

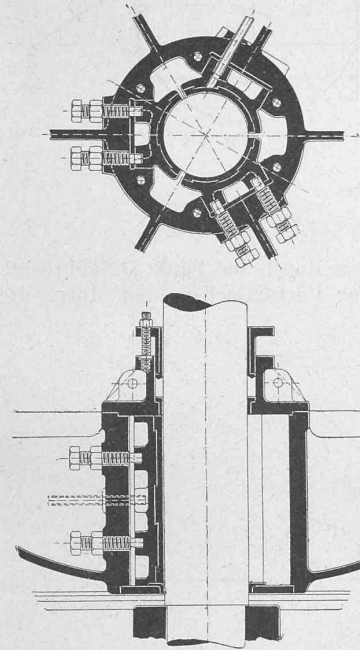


Fig. 60. Halslager zur 1000 P. S. Turbine in Betznau. 1:20.

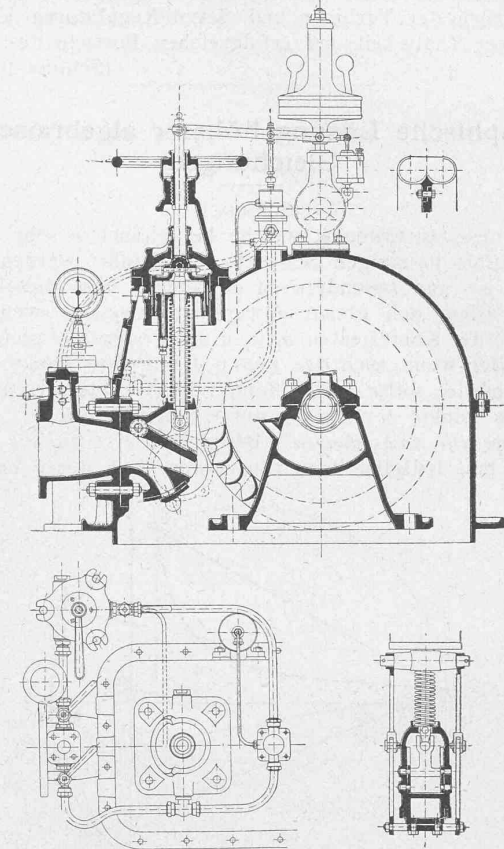


Fig. 64a. Hochdruckturbine mit hydraulischer Geschwindigkeits- und Druckregulierung. 1:25.

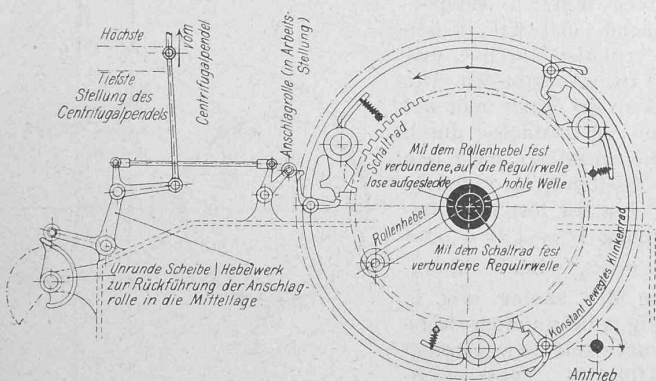


Fig. 65. Schema zum Patent-Schaltregulator. - Neues System.

fugalpendel mit Federbelastung und Regulierventil mit Rückführung dieselbe Konstruktion wie für die Hochdruckturbinen aufweisen. Durch eine besondere Pumpenanlage erhält der Servomotor Druckwasser in erforderlicher Menge und Pressung; sehr vorteilhaft kann die Bewegung des Servomotorkolbens von Hand mittels eines in die Druckleitung eingeschalteten Verteilungsschiebers eingeleitet wer-

ist samt der Herzscheibe beseitigt und durch einen Hebel mit Rolle ersetzt, der dieselbe fortschreitende Bewegung von der Regulierwelle aus erhält, wie die Herzscheibe. Die Schaltklinken haben Ansätze, welche bei gesperrter Stellung der Klinken nicht in den Bereich der Rolle kommen. Nach erfolgter Auslösung der Klinken und Einfallen derselben in das Schaltwheel reichen diese Ansätze in den durch den äussersten Punkt der Rolle bestimmten Kreis, es wird daher die Schaltklinke durch die Rolle aus dem Schaltwheel gehoben und die Schaltbewegung unterbrochen, wenn der Ansatz der Klinke an die Rolle kommt; hierbei wird die Klinke wieder in die gesperrte Lage zurückgebracht. Da, wie schon erwähnt, der Hebel im gleichen Sinn wie früher die Herzscheibe bewegt wird, so ist auch die Schaltung wieder eine intermittierende mit variabler Dauer der Einzelschaltungen; nur sind beim neuen Regulator drei Schaltklinken angeordnet und es ist darauf Bedacht genommen, dass bei längster Dauer der Einzelschaltungen, also bei grösster Beaufschlagung, die Einzelschaltungen unmittelbar aufeinander folgen und daher bei dieser Stellung die Schaltung eine kontinuierliche wird. Ausserdem hat das Auslösedetail durch das Wegfallen der Anschlagklinke eine Aenderung erfahren, die auch eine Modifikation des äusseren Hebelwerkes mit sich brachte.

Wie bei der früheren, sind auch bei der neuen Ausführung zwei Mechanismen in kompendiöser Weise ver-

¹⁾ Bd. XXVIII Seite 146, 147 nebst Tafel.

einigt, sodass der allgemeine Aufbau wenig verändert erscheint; vorteilhaft ist die seitliche Durchbrechung des Klinkenrades wegen der dadurch erzielten Zugänglichkeit zu den inneren Mechanismen.

Der hydraulisch mechanische Differentialregulator der Firma Th. Bell & Cie. beruht ebenfalls auf der Anwendung zweier Kapselwerke mit vom Centrifugalpendel beeinflusster Flüssigkeitssperrung; die Konstruktion desselben wird eventuell in einem Nachtrag zur Beschreibung gelangen.

In dieser Weise bot auch die Bell'sche Ausstellung hinsichtlich der Turbinen und deren Regulator ein Bild intensiver Thätigkeit und erfolgreichen Fortschrittes.

(Schluss folgt.)

Graphische Lösung höherer algebraischer Gleichungen.

(Schluss.)

Diese Operationen, welche bei kleinen n sehr einfach sind, sollen in einigen Beispielen vorgeführt werden. Zum voraus ist nur besonders zu erwähnen, dass dieselben in allen Fällen sich gleich anwendbar erweisen, wenn auch einzelne der Koeffizienten a_1, a_2 u. s. w. oder alle gleich Null sind, oder wenn auch der Punkt A mit dem Punkte C zusammenfallen sollte, wobei dann die Kreislinie verschwinden und die Punkte S ebenfalls auf C fallen würden.

Spezielle Anwendungen. Bezüglich der Gleichung zweiten Grades mag lediglich bemerkt werden, dass deren bekannte

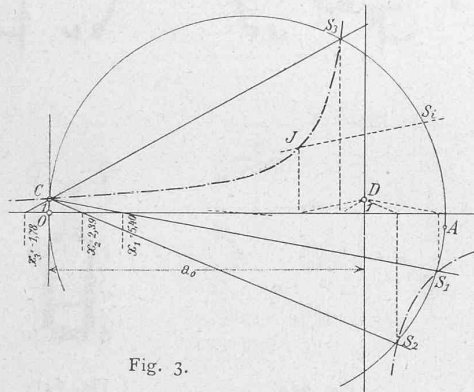


Fig. 3.

Konstruktion diesem Verfahren identisch ist, indem für dieselbe $p_s = -x$ ($+x$ wird entgegengesetzt von $+p_s$ abgeschnitten!), somit die Hilfskurve mit der Vertikalachse zusammenfällt.

Die Gleichung dritten Grades:

$$x^3 - 6x^2 - x + 23 = 0$$

(vergl. Culmann, Graph. Stat., 2. Aufl. pag. 19) ist in Fig. 3 gelöst. Man hat $p_a = 1$,

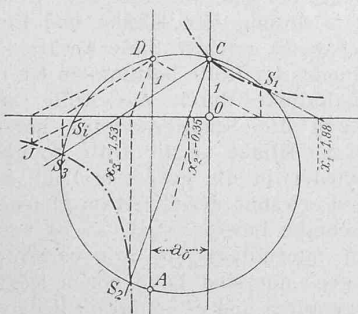


Fig. 3a.

erhalten. Diese ist, wie man sofort erkennt, der durch C gehenden Hyperbel identisch, deren beide Asymptoten die Horizontalachse und die Ordinate a_0 sind. Die drei Strahlen der Schnittpunkte S_1, S_2, S_3 von Kreislinie und Hyperbel geben auf der Horizontalachse die drei reellen Wurzeln. Würde der Hyperbelast S_1, S_2 die Kreislinie nur berühren, so würden die zwei betreffenden Wurzeln gleich; fände kein Kontakt statt, so würden diese imaginär.

Figur 3a enthält die Konstruktion der auch von Ing. Smreker behandelten Gleichung $x^3 - 3x - 1 = 0$, und Figur 3b diejenige von $x^3 - 3 = 0$ oder $x = \sqrt[3]{3}$. Besondere Erklärungen dürften dazu nicht notwendig sein.

Die Gleichung vierten Grades:

$$x^4 - 0,5x^3 - 4,5x^2 + 2x + 2 = 0$$

ist in Fig. 4 konstruiert. Zur Bestimmung von A hat man

$$p_a = 2 + 0,5 = 2,5,$$

$$q_a = 2 + 4,5 = 6,5.$$

Ferner wird eine zweite Vertikale der Abscisse $+1$, sowie eine Horizontale der Ordinate $a_1 = 2$

gezogen und auf dieser der Punkt D mit der Abscisse $a_0 = 2$ abgetragen.

Man erhält nun die Werte

$$p_s = a_1 + \frac{a_0}{x} + x$$

auf der Vertikalen $+1$, indem durch den Punkt D Senkrechte zu den Strahlen CS_i bis zur Vertikalachse, und durch die

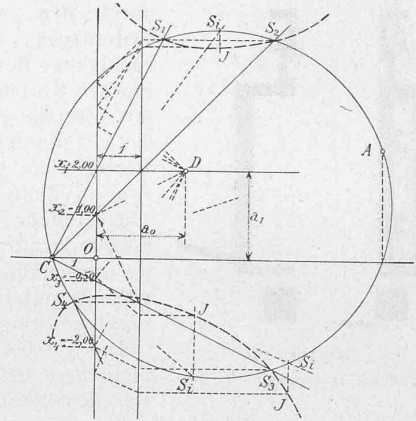


Fig. 4.

Schnitte daselbst Parallelen zu den CS_i gezogen werden. Die auf der Vertikalen $+1$ erzeugten Schnittpunkte werden auf Vertikale durch die S_i hinüberprojiziert und dadurch die Punkte J der gestrichelten Hilfskurve erhalten. Diese besteht aus zwei Zweigen, den positiven und negativen Wurzeln entsprechend, und hat in den Vertikalen durch C und A zwei Asymptoten. Die Wurzeln erhält man auf der Vertikalachse durch die Strahlen C nach den Schnitten S_1, S_2, S_3 und S_4 .

Fig. 4a löst die Gleichung $x^4 - 4 = 0$ oder $x = \sqrt[4]{4}$. Beide Zweige der analog wie in Fig. 4 bestimmten Hilfskurve sind hier gestreckt S-förmig. Diese Konstruktion ist bloss zum Vergleiche dargestellt, da man die zweigliedrige Gleichung vierten Grades sonst wohl nur mittels der ebenfalls eingezeichneten Kreisbogen graphisch lösen wird.

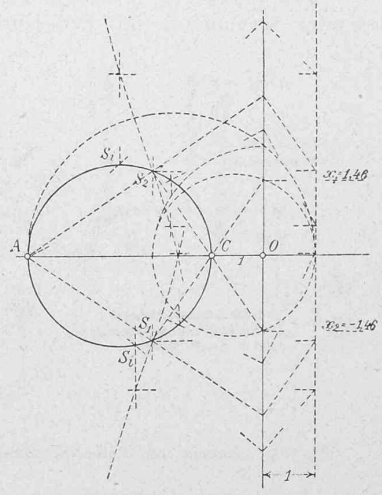


Fig. 4a.

In Figur 5 ist die Gleichung fünften Grades:

$$x^5 + 2,5x^4 - 2,5x^3 - 7x^2 - 0,5x + 1 = 0$$

behandelt.