Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 73/74 (1919)
Heft: 15

Artikel: Schnellaufende Schraubenturbinen und deren wirtschaftlicher Vergleich mit Francisturbinen
Autor: Zuppinger, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-35608

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: 15.12.2025

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

biete des Hängebrückenbaus rühmlichst bekannten Firma F. Arnodin, hat die theoretischen Grundlagen, die ihn zu dem hier beschriebenen System führten, in seinem Werk „Ponts suspendus“ [1]) eingehend dargelegt.

Leinekugel unterscheidet *halbsteife* und *steife Hänge-Brücken* im Gegensatz zu den primitiven Seilbrücken, die ohne besondere Versteifung allen Nachteilen infolge starker Formänderung der Seilkurve bei wandernder Belastung ausgesetzt sind. In die Klasse der *halbsteifen Brücken* stellt er alle Systeme, die durch geeignete Konstruktion der Fahrbahn selbst die ungünstige Wirkung von Einzellasten aufzuheben suchen. Der Fahrbahnträger wird hier so bemessen, dass er die konzentrierten Belastungen auf eine möglichst grosse Länge verteilt und als gleichförmig verteilte Last auf das Drahtseil wirken lässt. Eine Deformation der Seilkurve soll vermieden werden. Bei den *steifen Hängebrücken* sucht man die Formänderung des Kabels oder der Kette durch Versteifung dieses Konstruktions-Gliedes selbst zu erzielen.

In deutschem Sprachgebrauch pflegt man einen weniger genauen Unterschied zu machen und beide Klassen als versteifte Hängebrücken zu bezeichnen [2]). Ueberhaupt hat man in Deutschland und in der Schweiz dem Bau aufgehängter Brücken nicht viel Aufmerksamkeit gewidmet und infolgedessen deren Theorie und konstruktive Ausbildung wenig gefördert. Es wurden bis jetzt fast nur Brücken mit Versteifung durch den Fahrbahnträger ausgeführt.

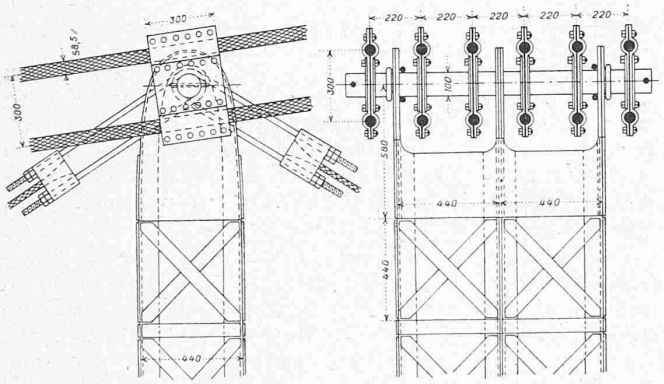
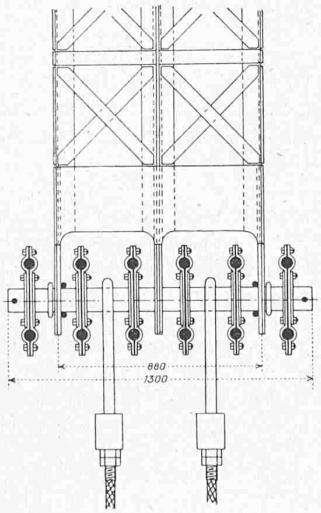


Abb. 4. Details eines Fachwerkpfostens der Schwebefähre in Bordeaux. Masstab 1 : 30.

Als klassisches Beispiel für eine steife Hängebrücke kennen wir die 1877 gebaute „Point Bridge“ über den Monongahela in Pittsburg (Abb. 4), die äusserlich auch als Vorbild für die hier beschriebene Schwebefähre in Bordeaux gedient haben könnte. Es besteht aber ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Systemen.



Die Monongahela-Brücke sowie ihre spätern Nachbildungen benützen als Haupttragkonstruktion ein als hängender Dreigelenkbogen zu bezeichnendes Fachwerk, dessen Stäbe, je nach der Belastung, Druck- und Zugspannungen erhalten. Leinekugel erreicht nun durch geeignete Wahl der Bogenform, sowie durch entsprechende Bemessung des Eigengewichts der Fahrbahn, dass beide Gurtungen wie auch die Diagonalen auch bei Wirkung konzentrierter Einzellasten nur Zugkräfte erhalten. Er muss infolgedessen nur die Pfosten steif ausbilden und kann für die übrigen Stäbe Kabel benützen. Dadurch wird die konstruktive Ausbildung einfach und vor allem die Montage der Brücke sehr erleichtert. Dieses Brückensystem geniesst somit in letzterer Hinsicht alle Vorteile einer gewöhnlichen halbsteifen Hängebrücke, während es trotzdem als steife Konstruktion gelten kann. Es lässt sich auch nachweisen, dass Obergurt und Untergurt des Hängeträgers zusammen nicht stärker beansprucht werden als das Kabel einer gewöhnlichen Hängebrücke. Der Mehrverbrauch an Material liegt demnach nur in den Versteifungsgliedern (Streben und Pfosten), ihm steht aber bei den halbsteifen Brücken ein wesentlich grösserer Materialaufwand für die als Versteifungsträger ausgebildete Fahrbahn entgegen.

Das hier kurz beschriebene System Leinekugel le Cocq [1]) ist allen Studiums wert, es bedeutet unbedingt einen Fortschritt und bildet eine interessante Ergänzung zu der vor einigen Jahren vielgenannten Eisenbahn-Brücke über die Cassagne-Schlucht [2]), die nach den Plänen des französischen Ingenieurs Oberst *Gisclard* ausgeführt worden ist. Auch dieser Konstrukteur hat sich auf dem Gebiete des Hängebrückenbaus grosse Verdienste erworben. *A. Walther.*

[1]) Encyclopédie scientifique, O. Doin, Editeur, Paris.

[2]) Dr. Ing. *Bohny*, Theorie und Konstruktion versteifter Hängebrücken.

Schnellaufende Schraubenturbinen und deren wirtschaftlicher Vergleich mit Francisturbinen.

Von Dipl.-Ing. *W. Zuppinger*, konsult. Ingenieur in Zürich.

(Schluss von Seite 157)

III. Einbau der besprochenen Turbinensysteme.

Um den Vergleich der im Vorhergehenden besprochenen Turbinensysteme im Zusammenhang mit dem Bauwerk zu ermöglichen, wurde ein *Kraftwerk für 20 000 PS bei 10 m* Gefälle entworfen nach vier verschiedenen Bauarten, mit Francisturbinen und mit Schraubenturbinen, je mit vertikaler und mit horizontaler Welle. Bevor wir näher hierauf eintreten, seien einige Bemerkungen vorausgeschickt über den *Zulaufkanal*, der allen vier Bauarten eigen ist und einen integrierenden Bestandteil eines Kraftwerkes bildet.

Die Leistung von 20 000 *PS* bei 10 *m* Gefälle entspricht bei 75 % Wirkungsgrad einer Wassermenge von 200 m^3/sek. Nach dem Vorschlag von Ing. Hallinger [3]) sei ein Kanalprofil von grosser Wassertiefe $t \cong \sqrt[3]{Q} = 6{,}00$ *m* gewählt mit einer mittleren Wassergeschwindigkeit $v = 1{,}30$ *m/sek* und trapezförmigem Querschnitt. Unter solchen Annahmen und durch Auskleidung des Kanals mit einem Betonpflaster soll es z. B. für diesen Fall möglich sein, den Gefällsverlust auf 0,08 *m* pro 1 *km* Länge zu vermindern, während dieser nach den bisherigen Regeln der Hydraulik mit 0,30 bis 0,50 *m* pro *km* berechnet wurde, also vier bis sechsmal mehr. Durch das neue Kanalprofil Hallinger kann also ein Kanal ganz bedeutend verkürzt werden. Oder bei z. B. 5 *km* langem Kanal genügen für 10 *m* Nettogefälle mit dem neuen tiefen Kanalprofil 10,40 *m* Bruttogefälle gegen etwa 12 *m* nach dem bisherigen System. Es werden also 1,60 *m* an Gefälle gewonnen, entsprechend $N = 10 \cdot 200 \cdot 1{,}60 = 3200$ *PS*; diese Neuerung bedeutet daher einen bedeutenden Fortschritt für die Ausnützung kleiner Gefälle. Wie wir sehen werden, ist grosse Wassertiefe der Kanäle auch günstig für ökonomischen Einbau der Turbinen, indem dadurch die Länge des Maschinenhauses verkürzt werden kann, wenn die Bauart der Turbinen und der Durchmesser der Generatoren dies gestatten.

Kraftwerk mit vertikalen einfachen Francisturbinen.

Wie bekannt, werden heute namentlich in der Schweiz die grössten Niederdruck-Kraftwerke mit vertikalen einrädrigen Francisturbinen ausgebaut, z. B. Olten-Gösgen nach

[1]) Das System ist im „Génie-Civil“ vom 6., 13 und 20. Januar 1917 eingehend erörtert.

[2]) Vergl. Band LVIII, Seite 352 (23. Dezember 1911)

[3]) Näheres siehe Z. d. V. D. I. vom 3. März 1917.

Laufradtyp I, Abbildung 1, mit $n_s = 275$, Eglisau und viele andere nach Typ II mit $n_s = 400$ bis 500.

Legen wir für das gewählte Beispiel von 20 000 *PS* bei 10 *m* Gefälle *vier Einheiten von je 5000 PS* zu Grunde, zunächst mit dem *Laufradtyp I*, d. h. mit

$$Q_1 = 1{,}65\ D_1^2,\quad n_1 = \frac{67{,}5}{D_1},\quad n_s \cong n_1 \sqrt{10\,Q_1} = 275,$$

so entfällt auf jede Turbine

$$Q \cong \frac{N}{10 \cdot H} = \frac{5000}{10 \cdot 10} = 50\ m^3/sek$$

Auf $H = 1$ *m* reduziert ergibt sich:

$$Q_1 = \frac{Q}{\sqrt{H}} = \frac{50}{3{,}16} = 15{,}80$$

und als Laufraddurchmesser $D_1 = \sqrt{\frac{Q_1}{1{,}65}} = 3{,}10$ *m*, daher

$n_1 = \frac{67{,}5}{3{,}10} = 21{,}8$ oder $n = n_1 \sqrt{H} = 21{,}8 \times 3{,}16 = 69$ bezw. 68 *Uml/min* für Drehstrom mit 50 Perioden.

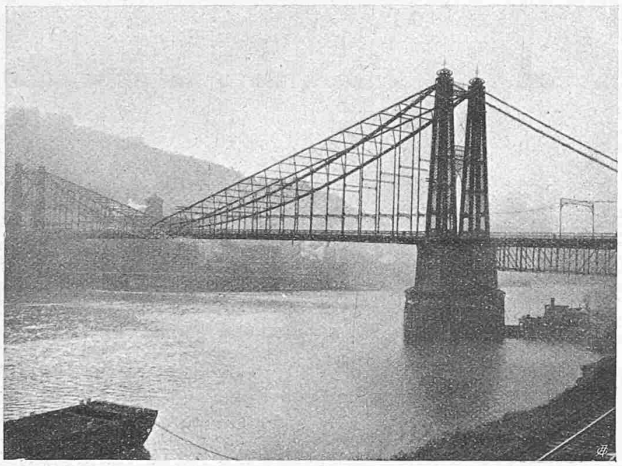


Abb. 4. Steife Hängebrücke über den Monongahela in Pittsburg.

Für die *Generatoren* sei hier wie bei den folgenden Bauten eine normale Umfangsgeschwindigkeit $v = 25$ *m/sek* für den rotierenden Teil angenommen. Der Rotordurchmesser dieser Generatoren berechnet sich daher zu $D_r = 7{,}00$ *m* und der Durchmesser des Stators zu $D_s \cong 1{,}23\ D_r \cong 8{,}60$ *m*. Der Preis der Generatoren wurde nach dem meiner in Band LXX (im September 1912) erschienenen Arbeit beigegebenem Diagramm, Abbildung 15, berechnet, unter Erhöhung dieser vor dem Kriege geltenden Preise um 75 %. Für Vertikalgeneratoren sind die Preise 15 bis 20 % höher, sodass wir als Kosten für die vier vertikalen Generatoren von 5000 *PS* mit 68 *Uml/Min* zu den vertikalen Francis-Turbinen einen Preis von etwa $4 \times 287{,}000 = 1\,150\,000$ Fr. erhalten.

Der Wasserzufluss zu den vertikalen Francisturbinen erfolgt in einem Spiralgehäuse in Beton nach Abb. 2 (S. 172), wobei der ganz gewaltige Wasserstrom von 50 m^3/sek spiralförmig um das Leitrad herumkreist. Für das Spiralgehäuse ist massgebend der äussere Durchmesser des Leitrades, in unserm Fall $D_0 \cong 1{,}30\ D_1 = 4{,}00$ *m*. Unter Annahme einer Stärke von 1,50 *m* für die Zwischenwände ergibt sich als *Axenabstand* zwischen zwei Einheiten $E = 11{,}00$ *m* und $E : D_1 = 11 : 3{,}10 = 3{,}55$.

Der *Maschinensaal* erhält mit Rücksicht auf das Spiralgehäuse und die grossen Generatoren eine lichte Breite $B = 16{,}00$ *m*. Dennoch bleibt hier kaum der nötige Platz für die Regulatoren und die Bedienung, geschweige denn für grössere Reparaturen von allfällig zu demontierenden Generatoren. Zu diesem Zwecke muss das Maschinenhaus bei der Bauart F_{v_1} um ein Feld verlängert werden, um ein zweites für die Schaltanlage. Der dadurch für gewöhnlich freibleibende Raum des Maschinensaales ist dann allerdings reichlich bemessen; es ist aber nicht zu vergessen, dass während der Montage genügend freier Platz für die Lagerung einzelner grosser Stücke notwendig ist. Uebrigens könnte dieser Maschinensaal auf der Seite des Schaltraumes um eine halbe Axendistanz verkürzt werden, wenn man auf die Symmetrie der Fenster verzichten wollte; wenn nicht, so wird in diesem Fall die Länge $L = 67$ *m*.

Untersuchen wir nun denselben Fall F_{v_1} unter Zugrundelegung des *Laufradtyps II* der Abbildung 1. Hierfür ergibt sich nach der selben Rechnungsmethode ein $D_1 = 3{,}40$ *m* (anstatt 3,10), $D_0 \cong 1{,}30\ D_1 = 4{,}40$ (anstatt 4,00), $n_1 = 32{,}5$, daher $n = 32{,}5 \sqrt{H} = 102$ bezw. 100 für Drehstrom (anstatt 68). Für den Generator wird dann $D_r = 4{,}75$ *m*, $D_s \cong 1{,}23\ D_r = 5{,}85$ *m* (anstatt 8,60). Der Preis dieser Generatoren berechnet sich hier zu ungefähr $4 \times 268\,000 = 1\,070\,000$ Fr., entsprechend einer Ersparnis von etwa 80 000 Fr. gegenüber dem Turbinentyp I.

Der *Axenabstand* wird bei Typ II infolge des um 10 % grösseren Leitraddurchmessers $E = 12$ *m* und die lichte Breite des Maschinensaales soll um ebenfalls 10 % verbreitert werden, d. h. auf $B = 17{,}50$ *m*, um einen günstigen Spiraleinlauf zu erhalten. Dabei bleibt aber genügend Platz frei für grössere Reparaturen, ohne hierfür das Maschinenhaus verlängern zu müssen, sodass für dieses eine Länge $L = 54$ *m* genügt (anstatt 67 *m*).

Kraftwerk mit horizontalen Zwillings-Francisturbinen.

Mehrfache Turbinen haben den Zweck, durch Verteilung des Wassers auf mehrere parallel geschaltete kleinere Laufräder eine höhere Umdrehungszahl zu erreichen. Auf unser obiges Beispiel angewandt ergäbe sich mit dem Laufradtyp I für eine *einfache Zwillingsturbine mit zwei Laufrädern* $Q_1 = 7{,}90$ m^3/sek pro Laufrad, deren Durchmesser $D_1 = 2{,}20$ *m* und $n_1 = 30{,}7$ oder $n = n_1 \sqrt{H} = 97$ *Uml/min*. (Bei der einfachen Francisturbine nach Typ I war $D_1 = 3{,}10$ *m* und $n = 68$). Wir gewinnen also auf diese Art $97 : 68 = 1{,}43$ an Schnelläufigkeit und verbilligen dadurch die Generatoren wesentlich, komplizieren aber die Turbinen.

Solche Zwillingsturbinen werden meist mit horizontaler Welle ausgeführt, um bei kleineren Kräften Riemen- oder Seiltriebe anwenden zu können und auch bei grossen Kräften mit direkter Kupplung der Generatoren Vorteile zu erreichen, auf die wir noch zurückkommen werden.

Bei *Zwillingsturbinen in offener Wasserkammer* strömt das Wasser den Leiträdern von zwei Seiten zu, wobei die Wasserfäden auf der einen Seite scharf abgelenkt werden um nahezu 180°, um in die Leitzellen im Sinne der Drehrichtung der Turbine einzutreten. Wenn es sich nun dabei um grosse Wassermengen handelt, so müssen auf diesem Teil des Umfanges und beim Zusammenstoss der beiden entgegengesetzt gerichteten Wasserströme notwendigerweise heftige Wirbelungen entstehen. In jedem Fall muss die Turbinenkammer möglichst breit sein; in Augst-Wylen beträgt das Verhältnis Axenabstand E : Laufraddurchmesser $D_1 = 10 : 1{,}47 = 6{,}8$, was sehr hoch ist.

Bei *geschlossenen Francisturbinen* findet der Wasser-Zufluss entweder in axialer Richtung statt (Frontalturbinen) oder von der Seite (Kesselturbinen). Auch bei diesen beiden Bauarten ist der Eintritt des Wassers in die Leiträder keineswegs ideal, indem dabei der ganze Wasserstrom um 90° scharf abgebogen werden muss. Aus diesem Grund wird der Kesseldurchmesser D_k im Verhältnis zum Laufraddurchmesser D_1 ungewöhnlich gross, nach Ausführungen von Voith $D_k = 2{,}80$ *m* für eine Turbine von $D_1 = 1{,}00$ *m* (siehe Camerer, Wasserkraftmaschinen Taf. 32, Abbildung 3). Deshalb eignen sich diese beiden Turbinen-Typen nicht für grosse Wassermengen, wie sie bei Niederdruckanlagen vorkommen, wenn man die Anzahl der Einheiten auf ein Minimum beschränken will, umsomehr als ihre Konstruktion kompliziert und kostspielig ist; auch ist rasches Nachsehen der beweglichen Teile nicht möglich.

Für *grosse Einheiten* wie in unserem Fall wendet man deshalb *doppelte Zwillingsturbinen mit vier Laufrädern* an, die als Bauart F_{h_4} bezeichnet seien. Wir erhalten dann für Francisturbinen nach Typ I $Q_1 = 3{,}95$ m^3/sek pro

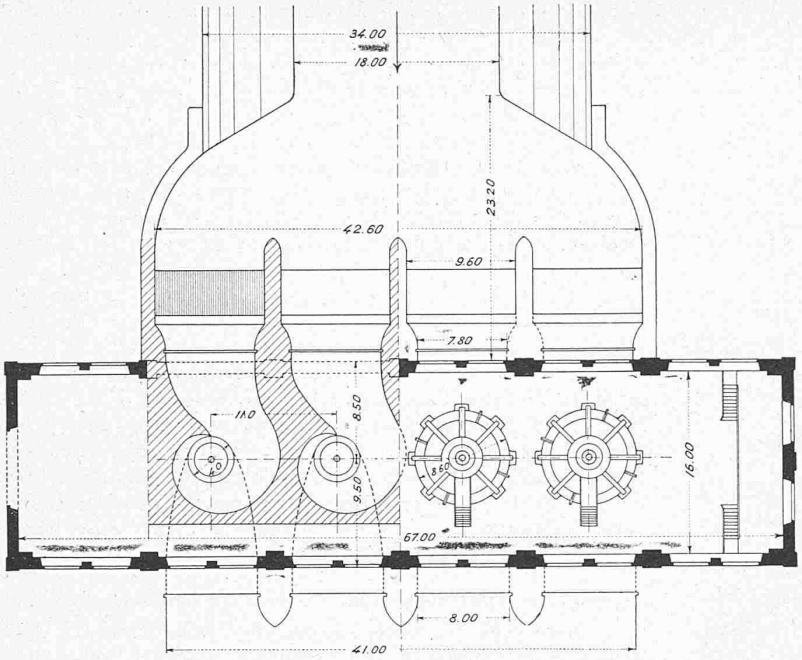


Abb. 2. Kraftwerk für 20 000 *PS* mit vier vertikalen einfachen Francisturbinen Typ F_{v1} von 5000 *PS*.

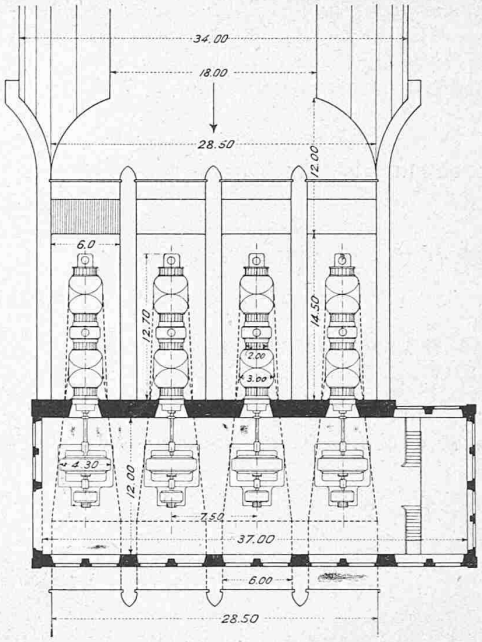


Abb. 3. Kraftwerk für 20 000 *PS* mit vier horizontalen Zwillings-Francisturbinen Typ F_{h4} von 5000 *PS*.

Laufrad und $D_1 = 1{,}55$ *m*, $n_1 = 43{,}5$ oder $n = n_1 \sqrt{H} = 43{,}5 \cdot 3{,}16 = 137$ bezw. 136 *Uml/min* für Drehstrom. Die spezifische Drehzahl wird dann $n_s = n_1 \sqrt{10\, Q_1} = 550$. Man erreicht also mit einer vierfachen Turbine (Doppel-Zwillings-Turbine) die doppelte Umdrehungszahl einer einfachen Turbine für dieselbe Wassermenge bei demselben Gefälle, und dies bedeutet bei grossen Einheiten eine gewaltige Ersparnis an den *Generatoren*, deren Durchmesser in umgekehrtem Verhältnis zur Geschwindigkeit abnimmt, also in unserm Beispiel 4,30 *m* wird, anstatt 8,60 *m*. Die Preise dieser Generatoren stellen sich dann auf rd. $4 \times 205\,000 = 820\,000$ Fr., entsprechend einer Ersparnis von 330 000 Fr. gegenüber der Bauart mit einrädrigen vertikalen Francis-Turbinen.

Auf unser Beispiel von 20 000 *PS* bei 10 *m* Gefälle angewandt (Abbildung 3) ergeben sich folgende Verhältnisse für das entsprechende *Bauwerk*: Für den oben berechneten Laufraddurchmesser $D_1 = 1{,}55$ *m* erhalten wir einen Leitraddurchmesser $D_0 \cong 1{,}3\, D_1 = 2{,}00$ *m*. Die Breite der Wasserkammern wählen wir als Minimum $B = 3\, D_0 = 6{,}00$ *m*, daher sich bei einer Stärke der Zwischenmauern von 1,50 *m* einen Axenabstand = 7,50 *m* ergibt, wobei noch genügend Raum zwischen den Generatoren verbleibt. Auch seitlich bleibt bei 12 *m* Breite noch genügend Platz zum Ablagern des Materials während der Montage und für grössere Reparaturen, sodass für diesen Zweck der Saal nicht verlängert werden muss. Es genügen daher hier 37 *m* Länge einschliesslich Schaltbühne, also eine Grundfläche des Maschinensaales von $37 \times 12 = 444\ m^2$ gegenüber $67 \times 16 = 1072\ m^2$ bei der Bauart F_{v1} nach Abb. 2. Natürlich ist dieses Verhältnis nicht allein massgebend zum Vergleich der Baukosten, sondern auch die Turbinen-Kammern; die bezügliche Berechnung muss ich hingegen den Spezialisten überlassen.

Kraftwerk mit vertikalen einfachen Schraubenturbinen.

Abbildung 4 zeigt den Einbau von vier vertikalen Schraubenturbinen nach Typ III (Abbildung 1), Bauart S_{v1}, in das betreffende Kraftwerk von 20 000 *PS* bei 10 *m* Gefälle. Auch hier entfallen also 50 m^3/sek Wasser auf eine Turbine, entsprechend $Q_1 = 15{,}80$ für $H = 1$. Der Laufraddurchmesser wird hier $D_1 = 2{,}96$ oder rund 3,00 *m*, daher $n_1 = 40$ oder $n = n_1 \sqrt{H} = 125$ *Uml/min*.

Für die zugehörigen *Generatoren* ergibt sich nach den frühern Annahmen ein äusserer Durchmesser $D_s = 4{,}70$ *m* und ein ungefährer Preis von $4 \times 250\,000 = 1\,000\,000$ Fr., also 150 000 Fr. weniger als nach dem vertikalen Francistyp, wie er heute üblich ist.

Der *Wasserzufluss* zu diesen Schraubenturbinen erfolgt hier vollständig frei und ungezwungen in die diagonalen offenen Leitzellen, gibt also im ganzen Bereich der Leiträder keinerlei Anlass zu Störungen oder Wirbelungen. Der *Saugkanal* ist langgezogen, mit sanfter Erweiterung bis zum Austritt $F_4 = 5{,}50 \times 6{,}00 = 33\ m^2$, entsprechend einer Austrittsgeschwindigkeit $c_4 = 1{,}50$ *m* und einem Austrittsverlust $\Delta_4 = \frac{c_4^2}{2g} = \frac{2{,}25}{19{,}62} = 0{,}115$ *m* oder $\frac{\Delta_4}{H} = rd\ 1\ \%$ vom Gefälle *H*.

Im Gegensatz zur bisherigen Praxis, den *Ueberlauf* und den *Leerlauf* zur Abführung überschüssigen Wassers seitlich vom Maschinenhaus anzubringen, sind dazu hier die Saug-Kanäle der Turbinen benützt, wodurch an Anlage-Kapital nicht wenig gespart werden kann und Auskolkungen vermieden werden.

Für *vorübergehendes Abstellen einer Turbine* wird die grosse Schütze (siehe Abbildung 4) gehoben, anstatt wie gewöhnlich gesenkt, und dadurch gleichzeitig der Leerlauf-Kanal geöffnet, also ohne Rückstau im Obergraben. Dieser Leerlaufkanal erhält einen verhältnismässig kleinen Querschnitt von grosser Breite und kleiner Höhe, weil die Durchflussgeschwindigkeit beinahe $= \sqrt{2gH}$ ist. Die Bewegung der Schütze wird erleichtert durch hydraulischen Gegendruck mittels eines besonderen Ventils (ähnlich wie bei Schieberhähnen für hohen Wasserdruck). Ich glaube nicht, dass ein derartiger Leerlaufkanal auf den Wirkungsgrad der Turbinen störend wirke, da er unter dem Unterwasserspiegel liegt und somit einen toten Wassersack bildet.

Wenn dagegen bei *Wassermangel* eine Turbine für längere Zeit ausgeschaltet werden muss, so wird bei gehobener grosser Schütze die kleine dahinterliegende gesenkt, d. h. der Leerlaufkanal wird durch diese geschlossen; für gewöhnlich bleibt die kleine Schütze immer gehoben. Für die Schützentafeln dürfte sich m. E. auch für grosse Anlagen Holz empfehlen, da dieses vielleicht besser abschliesst als eiserne Tafeln und, beständig im Wasser liegend, nicht fault. Zweifellos wird sich vor den Schützen Sand und Kies ansammeln, die aber beim Oeffnen der Schützen infolge der grossen Wassergeschwindigkeit abgeführt werden, sodass wohl kaum der notwendige gute

Schnellaufende Schraubenturbinen und deren wirtschaftlicher Vergleich mit Francisturbinen.

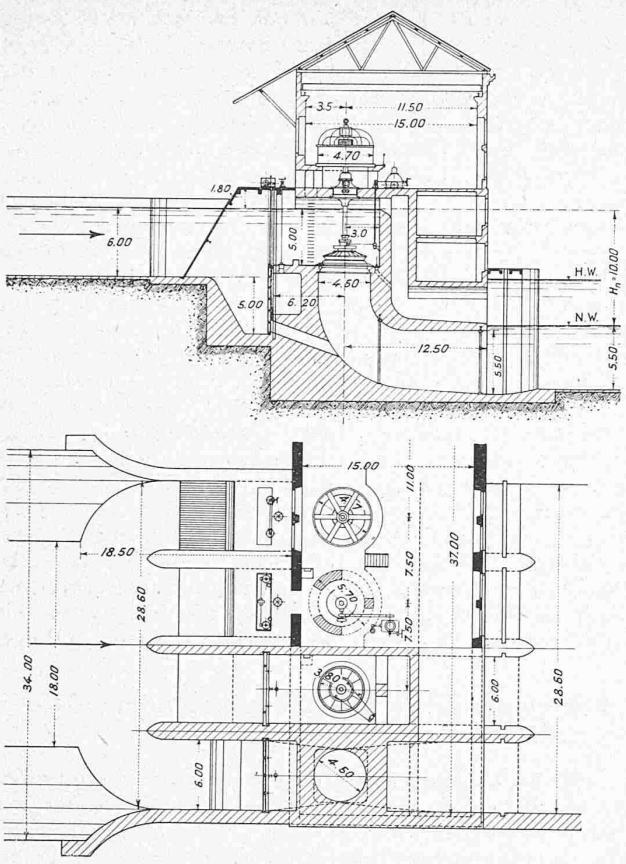


Abb. 4. Das gleiche Kraftwerk mit vertik. einfachen Schraubenturbinen S_{v1}.

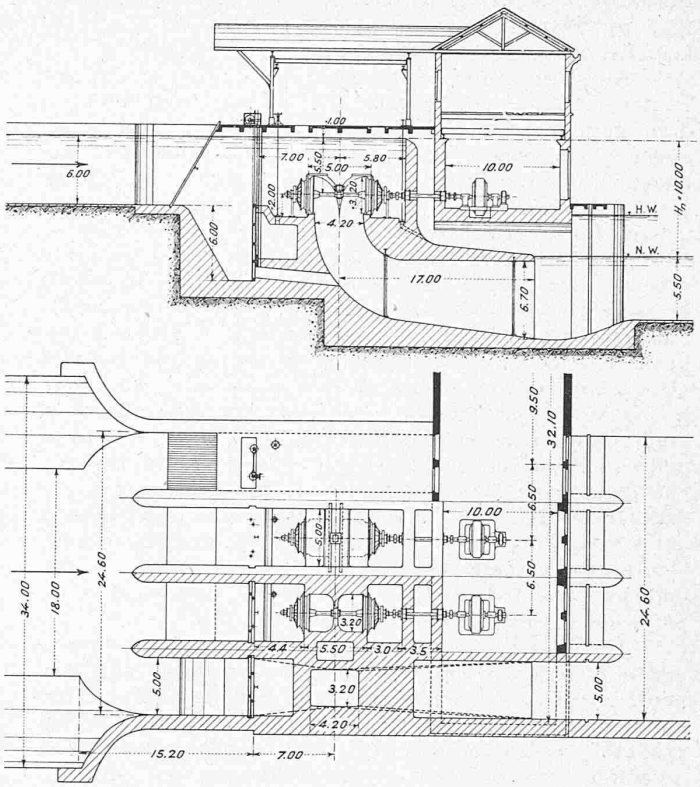


Abb. 5. Das gleiche Kraftwerk mit horizont. Zwillings-Schraubenturbinen S_{h2}.

Verschluss am Boden gehindert wird, was natürlich eine Grundbedingung für dieses Leerlaufsystem ist.

Bei *Hochwasser* dient eine solche Leerlaufschütze für das überschüssige Wasser auch als *Ejektor* zur Gefälls-Vermehrung. Solche Ejektoren sind zwar im Prinzip nicht neu, wohl aber meines Wissens in dieser Anordnung als Ersatz für besondere seitliche Leerlaufschützen.

Für die Möglichkeit einer einwandfreien *Wassermessung* mit Flügel ist unmittelbar vor dem Rechen gesorgt. Allerdings erheischt diese Operation bei so grossen Wassertiefen und der starken Wasserströmung besondere Vorkehrungen.

Der *Axenabstand* ergibt sich nach der Abbildung 4 zu $E = 7{,}50$ *m* und die Länge des *Maschinensaales* zu 37 *m* einschliesslich Schaltbühne, bei 15 *m* Breite, wobei reichlich Platz frei bleibt für Ablagerungen und grössere Reparaturen. Die Grundfläche beträgt demnach $37 \times 15 = 555$ *m²*, das ist nur etwa die Hälfte jener bei der Bauart F_{v1}. Dazu kommt der Wegfall der sehr kostspieligen Spiralgehäuse.

Diese vertikale Bauart S_{v1} eignet sich infolge ihrer Einfachheit und grossen Schnelläufigkeit namentlich gut für Ausnützung kleiner Gefälle, bei denen mit Francisturbinen die Wirtschaftlichkeit kaum erreichbar wäre.

Kraftwerk mit horizontalen Zwillings-Schraubenturbinen.

Zum Zwecke höherer Schnelläufigkeit empfiehlt es sich, auch den Turbinentyp III (Abbildung 1) als *Zwillings-Turbine* auszubilden, mit doppelter Leistungsfähigkeit einer einfachen Turbine von dem selben Durchmesser bei der gleichen Umdrehungszahl. Abbildung 5 zeigt eine solche Anlage mit horizontaler Welle für unser Beispiel von 20 000 *PS* bei 10 *m* Gefälle. Hierfür erhalten wir mit vier Einheiten dieser Bauart S_{h2} die folgenden Abmessungen und Drehzahlen: Durchmesser $D_1 = 2{,}10$ *m*, $n_1 = 57$, somit $n = n_1 \sqrt{H} = 180$ bezw. 187 *Uml/min* für Drehstrom. Spezifische Drehzahl $n_s \cong n_1 \sqrt{10 Q_1} = 720$.

Die *Generatoren* erhalten dann 3,15 *m* äusseren Durchmesser und werden ungefähr $4 \times 188\,000 = rd$ 750 000 Fr. kosten, also etwa 70 000 Fr. weniger als bei horizontalen Francisturbinen nach Bauart F_{h4}.

Eine Neuerung gegenüber den bisher üblichen Zwillings-Turbinen besteht bei dieser Bauart S_{h2} in dem *Doppel-Krümmer in Beton*. Bei grossen Turbinen erfordern die Wellen wegen des grossen Abstandes der Laufräder ein Zwischenlager, also drei Lager; und da der Doppelkrümmer nach Abbildung 5 ein Ganzes bildet mit dem übrigen Mauerwerk, ist hier *die Turbinenwelle auf das einfachste und solideste gelagert*. Bei den bisher üblichen Doppel-Krümmern in Gusseisen ist dagegen eine solide Lagerung der Welle bei grossen Turbinen mit Zwischenlager nur auf sehr kostspielige Art erreichbar. Man vergleiche die vorliegende Bauart nach Abbildung 5 mit der in der Zeitschrift d. V. d. J. vom 20. April 1918 dargestellten Bauart einer Doppelzwillingsturbine der Firma J. M. Voith von 10 000 *PS* bei 11,60 *m* Gefälle mit 120 *Uml/min* für das Kraftwerk Ottawa (Canada). Mit der Schraubenturbine erhielte man für diesen Fall als „einfache" Zwillingsturbine 150 *Uml/min*, entsprechend einer Ersparnis an einem Generator von etwa 20 000 Fr.

Ein weiterer Uebelstand der meisten Doppelkrümmer in Gusseisen besteht *in hydraulischer Hinsicht* darin, dass aus konstruktiven Gründen der Sattel viel zu wenig heruntergeführt ist, sodass die gegeneinander gerichteten Wasserströme aus den beiden Laufrädern in der untern Hälfte des Krümmers schädliche Wirbelungen verursachen müssen. Allerdings kann diesem Uebelstand durch eingefügte Zwischenwände aus Blech zwecks einer besseren Wasserführung teilweise abgeholfen werden; dadurch entsteht aber eine Störung des natürlichen Ausgusses aus den Laufrädern und eine schädliche Rückwirkung auf letztere, umsomehr als der Austritt nur bei normaler Füllung axial gerichtet ist. Mit vorliegender Bauart der Doppelkrümmer in Beton ist dagegen die natürliche Wasserströmung aus den Laufrädern bei jeder Füllung vollkommen ungehindert gelassen und die Ueberführung in den rechteckigen Saugkanal geschieht mit bestmöglicher Wasserführung.

Der *Wasserzufluss* erfolgt auch bei der Bauart S_{h2} infolge der diagonalen Leiträder vollständig frei und ungezwungen. Auch hier gibt also, im Gegensatz zur Bauart F_{h4}, der Wasserzufluss im ganzen Bereich der Leiträder keinerlei Anlass zu Störungen oder Wirbelungen.

Als *Axenabstand* ergibt sich hier $E = 6{,}50$ *m* und der Faktor $E : D_1 = 3{,}10$ gegen 4,85 bei F_{h4} (Abbildung 3), d. h. geringere Länge des Maschinensaales. Hierfür genügen 32 *m*, ebenso 10 *m* für die Breite, wobei noch genügend Platz frei bleibt für genannte Zwecke. Die Länge dieses *Maschinenhauses* beträgt also kaum die Hälfte desjenigen für Francisturbinen nach Bauart F_{v1} (Abbildung 2).

Die besondere Bauart der Doppelkrümmer in Beton erlaubt auch wegen der solideren Lagerung der Welle grössere Durchmesser der Turbinen, sodass wir in diesem Fall ganz gut auch mit drei Einheiten von je 6700 *PS* auskommen können, entsprechend 67 m^3/sek pro Turbine oder $Q_1 = 21{,}20$ m^3/sek, daher $D_1 = 2{,}43$ *m*, $n_1 = 49{,}2$ und $n = n_1 \sqrt{H} = 155$ bezw. 150 *Uml/min*. Für die *Generatoren* ergibt sich dann ein äusserer Durchmesser $D_s = 3{,}90$ *m* und ein Preis von $3 \times 200\,000 = 600\,000$ Fr. d. h. 52 % von demjenigen für Francisturbinen nach Abbildung 2, die man für vorliegenden Fall wegen des grossen Durchmessers der Generatoren nicht in drei Einheiten einteilen könnte. Der *Axenabstand* ergibt sich mit drei Einheiten zu $E = 7{,}50$ *m* und der *Maschinensaal* zu $37 \times 11{,}50 = 425$ m^2, d h. rd. 40 % der Grundfläche von Bauart F_{v1}.

Die Bauart S_{h2} eignet sich auch vorzüglich *für kleinere und mittlere Kräfte mit Riemenantrieb.* So lassen sich z. B. 500 *PS* bei 3 *m* Gefälle mit zwei Zwillingsturbinen von $^2/_3$ und $^1/_3$ *Q* und Durchmessern $D_1 = 1{,}35/0{,}95$ *m* mit 154/218 *Uml/min* mittels Lenixtrieb bequem auf zwei Generatoren von 500/750 *Uml/min* übertragen, mit einem so kleinen Raumbedarf, wie dies mit Francisturbinen niemals möglich wäre.

Vergleich der behandelten Bauarten.

Folgende Tabelle gibt eine Uebersicht der Hauptdaten des behandelten Kraftwerkes für 20 000 *PS* nach den verschiedenen Bauarten.

	Francisturbinen			Schraubenturbinen		
Laufradtyp (Abb. 1, S. 157)	I	II	I	III	III	III
Turbinentyp	F_{v1}	F_{v1}	F_{h4}	S_{v1}	S_{h2}	S_{h2}
Anordnung nach	Abb. 2	—	Abb. 3	Abb. 4	Abb. 5	—
Welle	vertik.	vertik.	horiz.	vertik.	horiz.	horiz.
Anzahl Einheiten	4	4	4	4	4	3
Leistung pro Einheit *PS*	5000	5000	5000	5000	5000	6700
Laufräder pro Einheit	1	1	4	1	2	2
Spez. Drehzahl n_s	275	407	550	510	720	720
Laufraddurchm. D_1 *m*	3,10	3,40	1,55	3,00	2,10	2,43
Umlaufzahl *Uml/min*	68	100	136	125	187	150
Aeuss. Durchm. d. Gen. D_s *m*	8,60	5,85	4,30	4,70	3,15	3,90
Kosten der Generatoren Fr.	1 150 000	1 070 000	820 000	1 000 000	750 000	600 000
Axenabstand E *m*	11	12	7,50	7,50	6,50	7,50
Maschinensaal Länge ,,	67	54	37	37	32	37
,, Breite ,,	16	17,50	15	15	10	11,50
,, Fläche m^2	1072	945	444	555	320	425

Aus diesem Vergleich geht hervor, dass die *grössere Einfachheit* der Francisturbine in vertikaler Bauart gegenüber den horizontalen Bauarten F_{h4} und S_{h2} mit Zwillings-Turbinen, teuer erkauft ist. Gewiss bieten nur ein Laufrad und nur ein Reguliermechanismus grössere Betriebsicherheit als mehrrädrige Turbinen. Dieser Vorteil soll aber, namentlich unter den heutigen Verhältnissen nicht überschätzt werden, umsoweniger als die grosse Belastung des *Spurzapfens* in Kauf genommen werden muss, was die Konstruktion dieser Turbinen verteuert und den Betrieb auch nicht vereinfacht.

Dazu kommt, dass wegen der sehr schweren Stücke und der erforderlichen grossen Saalbreite der *Laufkran* bei Bauart F_{v1} bedeutend stärker sein muss als bei F_{h4} oder S_{h2}. Bei allen Turbinen von grossen Abmessungen besteht ferner ein ziemlich grosses *Risiko in der Herstellung,* namentlich in der Giesserei. So grosse und schwere Stücke erfordern grosse Lieferzeit und es kann die ganze Ablieferung infolge eines Fehlgusses wesentlich verzögert werden. Bei den viel kleineren Turbinen nach Bauart F_{h4} und S_{h2} besteht dieser Nachteil nicht; die wichtigen Teile können sogar auf Lager gehalten und daher die Lieferzeit bedeutend verkürzt werden. Sodann liegt für den Konstrukteur ein schwerwiegender Punkt im *Gewicht* der Turbine, sei es bezüglich der Kosten pro *PS*, sei es bei Lieferung in fremde Länder mit hohem Eingangszoll. In dieser Beziehung ist jedenfalls der Unterschied gross zu Gunsten der Bauart S_{v1} und S_{h2} gegenüber F_{v1} und F_{h4}.

Damit glaube ich den Beweis erbracht zu haben, dass die *Schraubenturbine* „in wirtschaftlicher Hinsicht" einen wesentlichen Fortschritt bedeutet gegenüber der Francis-Turbine; ich bedaure nur, dass es mir nicht möglich war, den Kostenpunkt auch für die Turbinen und die Bauwerke genauer zu untersuchen. Der Einführung solcher Neuerungen speziell im Wasser-Turbinenbau stehen aber meist Vorurteile und besonders auch gewisse persönliche Interessen im Wege.

Schweizerischer Werkbundkalender 1919.

(Mit Tafeln 13 bis 16.)

Mit der heutigen Tafelbeilage wollen wir unsern Lesern den im III. Jahrgang erschienenen Abreisskalender des Schweiz. Werkbundes durch einige Bildproben vorführen, bezw. in empfehlende Erinnerung rufen. Der S. W. B. bezweckt mit der Herausgabe dieses Bilderwerkes zunächst im Familienkreis, dann auch in Schulen, namentlich in Handwerker-, Gewerbe- und Fortbildungsschulen Freude, Zuversicht und Stolz am tüchtigen handwerklichen Schaffen zu wecken und zu stärken. Dazu bietet er hier eine Fülle wohlgelungener und durch den Verlag des Art. Institut Orell Füssli in Zürich vorzüglich gedruckter Bilder aus den verschiedensten Gebieten seines Arbeitsfeldes. Das Zustandekommen dieses sehr verdienstlichen Unternehmens des S. W. B. ist jeweilen nur möglich durch Aufbringen erheblicher Subventionen und Opfer; der niedere Preis von Fr. 1,50 rechtfertigt auch heute noch durchaus die Anschaffung des schönen Kalenders, der überall wo er hinkommt Freude macht.

Die Elektrifizierung der Schweiz. Bundesbahnen.

Vortrag gehalten im Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein von Ingenieur *E. Huber-Stockar*, Zürich und Bern.

(Fortsetzung von Seite 143.)

Mit 1916 durfte also am Gotthard gebaut, überhaupt eigentlich angefangen und für Millionen elektrifiziert werden. Das wurde nicht erreicht. Grössere Vergebungen fanden erst vom August an statt; sie betrafen die Kraftwerke Amsteg und Ritom. Die Durchführung des Submissions-Verfahrens gestaltete sich langwierig. Es kam zu Verhandlungen mit dem Baumeisterverband. Die Vereinbarung betreffend die Berücksichtigung der fortschreitenden Teuerung der Materialen und Löhne kam nur mühsam zustande.

Budget und Ausgaben der Gotthard-Elektrifikation der verflossenen drei Jahre zeigen, neben einander gestellt, folgendes Bild:

Jahr	Ausgabenprogramm im Baubudget 1916	Jahresbudget	Eff. Ausgaben	%
1916	Fr. 3 000 000	Fr. 2 700 000	Fr. 626 000	23
1917	9 500 000	8 300 000	4 800 000	58
1918	13 500 000	19 200 000	18 200 000	95
1919	11 000 000	22 500 000		
1920	1 500 000			
Voranschlag 1913:	38 500 000	bis und mit 1918:	23 620 000	