Ueber schnellaufende Konusturbinen ausgeführt von den Ateliers des Charmilles S.A. in Genf

Autor(en): **Zuppinger, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **81/82 (1923)**

Heft 8

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-38959

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Ueber schnellaufende Konusturbinen. — Wettbewerb für eine Bezirkschule Lenzburg. — Die schweizerischen Eisenbahnen im Jahre 1922. — Untergrundbahnen in Barcelona. — Schweizerischer Verein von Dampfkessel-Besitzern. — Miscellanea: Ueber die Ergebnisse der Weiterarbeit im Eisenbeton-Schiffbau. Schweizerischer Elektrotechnischer Verein. Ingenieurpreise für Kunst und Literatur. Unfälle bei Bahnübergängen der Pennsylvania R. R. Société Française des Electriciens. Absenken eines schweren, eisernen Behälters unter Verwendung von schmelzenden Eisstützen. — Konkurrenzen: Hochbrücke Baden-Wettingen. Wettbewerb der VIII. Olympiade, Paris 1924. Wettbewerb für die Kornhausbrücke Zürich. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

Band 82. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 8.

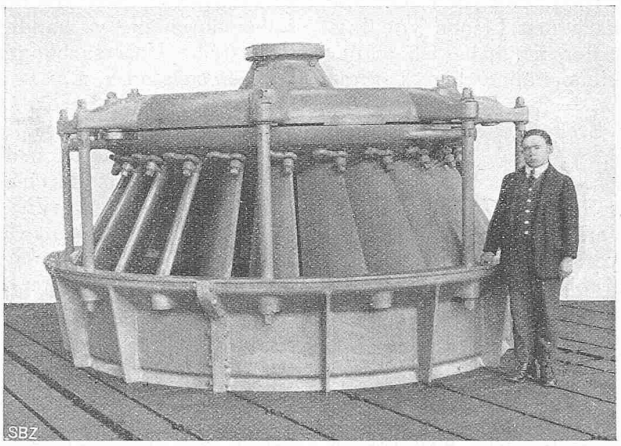
Ueber schnellaufende Konusturbinen

ausgeführt von den Ateliers des Charmilles S. A. in Genf.

Bezugnehmend auf verschiedene Publikationen in dieser Zeitschrift[1]) über die Wirtschaftlichkeit von Turbinenanlagen mit Vorschlägen zu einer neuen Bauart, hat der Unterzeichnete als Verfasser jener Artikel die Genugtuung, dass die Mehrzahl seiner Anregungen Anerkennung gefunden hat und auf fruchtbaren Boden gefallen ist. Es kann aber nebenbei auch interessieren, einige gegenteilige Urteile von kompetenten Fachkollegen zu erfahren. Ferner benütze ich gerne diese Gelegenheit zu einigen Korrekturen betreff gewisser Punkte, die sich nach seitherigen Erfahrungen als unrichtig herausgestellt haben.

Für *Laufräder* von grosser Schnelläufigkeit, d. h. mit breitem Schaufelkranz und mehr oder weniger axialem Wasser-Durchfluss (axiale Schraubenturbinen) scheint es, aus mehrfach missglückten Versuchen von verschiedenen Seiten zu schliessen, dass die bisherige reibungslose und zweidimensionale Stromfadentheorie versagt und dass (wenigstens vorläufig) nur eingehende systematisch durchgeführte Versuche zum Ziele führen. Möge es gelingen, auf Grund solcher vergleichender Versuche Klarheit zu erlangen über die „wirklichen" Vorgänge im Innern derartiger Laufräder. Anfänge dazu sind bereits gemacht durch Prof. *F. Prášil*[2]), namentlich aber auch erperimentell durch die Promotionsarbeit 1922 von Dipl. Ing. *H. Oertli*[3]).

Eine Fortsetzung dieser ausserordentlich interessanten und lehrreichen Studien und Experimente, ausgeführt im Maschinenlaboratorium unserer Eidg. Technischen Hochschule, angewandt auf neuere mehr oder weniger propellerähnliche Niederdruckturbinen, wäre gewiss eine ebenso nützliche wie dankbare Aufgabe der Hydrodynamik, zu deren Bearbeitung die „Eidgen. Stiftung zur Förderung schweizerischer Volkswirtschaft durch wissenschaftliche Forschung" gewiss Hand bieten dürfte.[1])



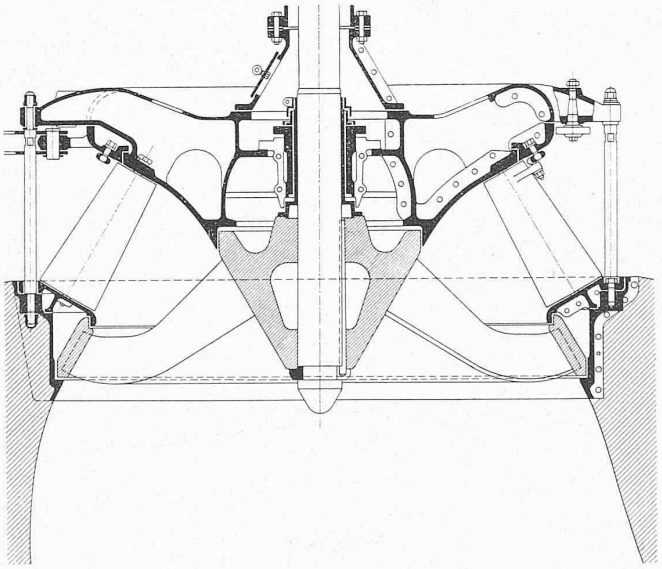


Abb. 1 Schnitt 1:40 und Abb. 2 Ansicht der neuen Konusturbine im Kraftwerk Chèvres; 1850 PS, $H = 6{,}50$ m, $n = 150$, $n_s = 540$.

Dem *diagonalen Leitrad* wurde vorgeworfen, dass es schwierig und kostspielig sei für die Fabrikation und dass es auch hydraulisch nicht so günstig sein könne wie ein zylindrischer Leitapparat. Der erste Einwand ist richtig, nicht aber der zweite, wenn die Leitschaufeln richtig konstruiert sind, was durch nachstehende Versuchsresultate bestätigt worden ist. Natürlich muss dabei das Prinzip der bei zylindrischen Leitschaufeln besterprobten Regulierungsart Fink beibehalten werden, wonach das Wasser bei jeder Schaufelstellung in ungezwungener Bahn mit unverminderter Geschwindigkeit und ohne Störungen oder Wirbelungen im Schaufelspalt dem Laufrad zugeführt wird. Dies bildet ja bekanntlich den Hauptvorteil der Drehschaufel-Regulierung gegenüber einer Ringschütze oder einem Gitterschieber.

Dass die bestbewährten *Spiralgehäuse* am meisten vermisst wurden, ist begreiflich; es ist jedoch nicht schwierig, wie nachfolgendes Beispiel zeigen wird, auch *offene Wasserkammern* so zu gestalten, dass sich keine schädlichen Wirbelungen bilden. Und da in diesem Fall die Wassergeschwindigkeit klein ist, so ist diese viel einfachere und billigere Bauart auch genügend und ebenso wirksam.

An einem Beispiel hatte ich gezeigt, dass der *Axen-Abstand* zweier Maschinen-Einheiten bei einer Anlage mit Konus-Turbinen wesentlich verkleinert werden könne gegenüber solchen mit Spiralgehäusen. Darauf wurde mir entgegnet, dass dieser Vorteil nur scheinbar sei, weil bei gleich grossem Austrittsquerschnitt am Ende des Saugrohres im ersten Falle die Sohle

[1]) S. B. Z. Bd. 66, Okt./Nov. 1915 (auch als Sonderabdruck erschienen), Bd. 70, Sept. 1917 und Bd. 73, April 1919 (auch als Sonderabdruck).

[2]) „Vergleichende Untersuchungen an Reaktions-Niederdruckturbinen. Von Prof. Dr. *F. Prášil*. „S. B. Z.", Bd. 45, S. 81 u. ff. (Febr./Apr. 1905) [auch als Sonderabdruck erhältlich, *Red.*], sowie „Technische Hydrodynamik" erschienen 1913.

[3]) Dr. Ing. *H. Oertli*: Untersuchung der Wasserströmung durch ein rotierendes Zellen-Kreiselrad. Kommissionsverlag Rascher & Cie. Preis geh. Fr. 2.50.

[1]) Laut Z. V. D. I. vom 21. Juli 1923 (Seite 720) sind in neuester Zeit im Auftrage der schwedischen Regierung derartige Versuche in grosszügiger Weise ausgeführt worden. Nicht weniger als 91 Modellturbinen verschiedener Grösse nach der Theorie von Dr. Ing. *Lawaczeck* wurden dort in 300 Versuchsserien ausprobiert. Diese Theorie erlaubt, die Formen der Laufräder in jedem Punkt mathematisch zu bestimmen und in einfachster Weise durch Schablonen herzustellen. Auf diese Weise kann genau festgestellt werden, wie weit die Oberflächenreibung, die Eintritts- und Austrittswinkel, die Profilierung der Schaufel usw. als *einzelne Faktoren* für den Wirkungsgrad massgebend sind, der bisher nur in ihrer Gesamtheit bestimmbar war. Auf Grund dieser Versuche werden nun zehn Lawaczeck-Turbinen von je 10 bis 12 000 PS ausgeführt, die bei 6 m Gefälle bis zu je 150 m³/sek schlucken, bei 6 m Laufraddurchmesser. *Die Red.*

des Auslaufs umsoviel tiefer liegen müsse. Das ist richtig, jedoch kostet 1 m² Grundfläche des kompletten Maschinenhauses ungleich mehr als die Vertiefung der Saugkanäle ausmacht.

Bezüglich der *Anwendbarkeit von Konusturbinen* eignet sich diese Bauart besser in offenem Einbau bis zu etwa 18 m Gefälle. Für höhere Gefälle mit geschlossenen Turbinen dürften wohl die Spiralgehäuse auch in Zukunft das Feld behaupten.

Betreff *Umkehrung einer Turbine als Pumpe* hat sich ergeben, dass nur *rein* axiale Schraubenpumpen in Frage kommen und dass diese nur für kleine Förderhöhen anwendbar sind. Je höher diese sind, umso mehr Zentrifugalkraft muss in die Wasserströmung hineingelegt werden, genau so wie bei den Turbinen, nur in umgekehrtem Sinne.

Dass eine Konus- oder Diagonalturbine mit drehbaren Leitschaufeln schon im Jahre 1904 von den Officine Alessandro Calzoni in Bologna nach den Plänen von Ing. G. Büchi in Mailand gebaut worden ist, habe ich in der „S. B. Z." vom 23. Okt. 1915 bereits erwähnt. Jene Turbine hatte eine spezifische Drehzahl $n_s = 307$ und ergab bei den sehr sorgfältig ausgeführten Bremsproben 86, 77 und 59 % Wirkungsgrad für $Q = 1/1$, $3/4$ und $1/2$; im übrigen sei auf genannte Quelle verwiesen.

Den *Ateliers des Charmilles S. A. in Genf* ist es nun auf Grund eigener Studien und Versuche in ihrer Versuchsanstalt gelungen, das sowohl hydraulisch als mechanisch schwierige Problem diagonaler drehbarer Leitschaufeln auf einfache und praktische Art zu lösen, mit schnellaufenden Konusturbinen von $n_s = 450$ und Wirkungsgraden von 79, 83, 82, 78 und 71 % für $Q = 1/1$, $7/8$, $3/4$, $5/8$ und $1/2$ Beaufschlagung. In der Folge wurden derartig gebaute Konusturbinen in das Kraftwerk Chèvres bei Genf als Ersatz veralteter Systeme eingebaut. Die ausführende Firma hatte nun die Freundlichkeit, mir nicht nur die bezüglichen Zeichnungen mit Erläuterungen zur Verfügung zu stellen, sondern auch die Erlaubnis zu einer Veröffentlichung zu erteilen, was im folgenden geschieht.

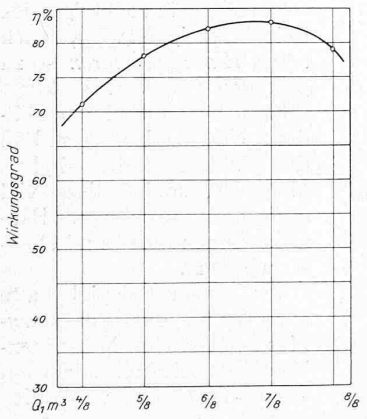


Abbildung 5.

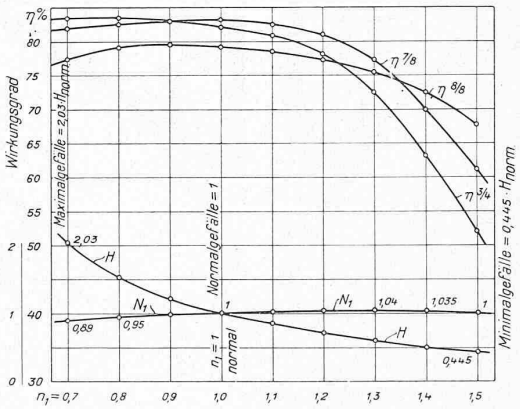


Abbildung 6.

Konusturbinen der „Ateliers des Charmilles".

(Mitgeteilt von der Firma.)

Im hydroelektrischen Kraftwerk in Chèvres handelte es sich darum, die in den Jahren 1896 98 aufgestellten vierfachen vertikalen Zentrifugalturbinen der zweiten Bauperiode, die in der Zwischenzeit weder den Ansprüchen des zunehmenden Strombedarfes, noch den veränderten Betriebsanforderungen genügten, durch neue moderne Einrad-Schnelläuferturbinen zu ersetzen. Dabei war als Bedingung die Verwertung der bestehenden Generatoren gestellt, ferner durften die Wasserkammern nicht verbreitert werden, d. h. die Axendistanz zwischen den Gruppen blieb also unverändert, unabhängig davon, wie die neuen einfachen Turbinen konstruiert sein mochten, die zudem bei Hochwasser noch mehr leisten sollten als die alten vierfachen.

Wenn man Abb. 4, die die Einbauverhältnisse der neuen einfachen Konusturbinen veranschaulicht, mit Abb. 3 der alten ersetzten vierfachen Zentrifugalturbinen vergleicht, so begreift man, dass die gestellte Aufgabe keine leichte war, besonders wenn man bedenkt, dass nun die oberste gewölbte Wasserkammer mindestens die vierfache Wassermenge schlucken musste. In den Jahren 1916 bis 22 wurden sukzessive die neuen Maschinen eingebaut. Gestützt auf die Ergebnisse an einer in unserer Versuchsstation etwa im Masstab 1 : 4 ausgeführten und vollständig durchgebremsten Turbine wurden zunächst einige Gruppen mit zylindrischem Leitapparat aufgestellt, die, obwohl den gegebenen Leistungs- und Wirkungsgrad-Garantien entsprechend, nicht so günstige Resultate zeitigten wie die Vorversuche im Laboratorium erwarten liessen. Es war allerdings in der Versuchstation nicht gut möglich, die gleichen Zu- und Ablaufbedingungen zu realisieren, wie sie tatsächlich im Kraftwerk Chèvres selbst durch die vorhandenen Verhältnisse gegeben waren. Angestellte Untersuchungen an den neu eingebauten Maschinen zeigten u. a., vor allem direkt um den Leitapparat herum, ungünstige Strömungszustände, die zu einem grossen Teil durch die im Verhältnis zur Maschine kleinen freien Durchflussquerschnitte bedingt waren.

Angeregt nun durch einige seinerzeit in der „Schweizerischen Bauzeitung" von Herrn Ing. W. Zuppinger veröffentliche Artikel, konstruieren wir zu Anfang 1919 einen konischen Leitapparat mit Fink'scher Regulierung. Dieser war durchgebildet unter Berücksichtigung der speziellen Strömungsverhältnisse bei Schnelläuferturbinen und wurde zuerst ausprobiert mit einem Laufrad, dessen Eigenschaften wir im Einbau mit dem gewöhnlichen zylindrischen Leitapparat bereits genau kannten. Dabei sei ausdrücklich bemerkt, dass in der Versuchstation der um die Turbine herum vorhandene freie Platz verhältnismässig gross war und also die durch die Versuche konstatierten Leistungs- und Wirkungsgradunterschiede nicht hiervon abhängig sein konnten. Dabei ergab sich, dass von 0 bis $1/2$ Beaufschlagung beide Leitapparate gleichwertig sind, von $1/2$ bis $4/4$ Beaufschlagung aber der konische dem zylindrischen überlegen ist. Der erste zeigte nun bei veränderlicher spezifischer Umlaufzahl innerhalb der Grenzen von $n_s = 400$ bis 600 in Funktion der Beaufschlagung folgenden Wirkungsgradgewinn in Prozenten: für $Q = 4/8\ 5/8\ 6/8\ 7/8\ 8/8$, für $\eta\,\% = 0\ 1/2\ 1\ 1/2\ 2\ 2$.

Logischerweise musste dieses Resultat, auf die Turbinen von Chèvres übertragen, trotz der gedrängten Platzverhältnisse, noch günstiger ausfallen; denn durch die Konizität wurde um die Maschine herum ein ganz bedeutender Raumgewinn erzielt, der auf die Druckstromverhältnisse nur günstig einwirken konnte. Die Abb. 3 und 4 geben davon ein deutliches Bild. In der Schnittzeichnung erkennt man besser, dass die Deviationsverhältnisse vor und nach dem konischen Leitapparat günstigere werden, als dies der zylindrische gestattet, und dass dessen Wirkung sich also hydraulisch entsprechend bemerkbar machen muss. Wir hatten nun im Kraftwerk Chèvres im Einverständnis mit der Stadt Genf die Gelegenheit, an einer der neuen Turbinen den zylindrischen Leitapparat durch einen konischen zu ersetzen, wobei speziell bemerkt sei, dass weder am Laufrad noch am Saugrohr, noch in der Wasserkammer Formveränderungen vorgenommen wurden. Es war daher sicher, dass die neu gewonnenen Resultate durch den konischen Leitapparat allein bedingt waren; sie wurden übrigens, nebenbei bemerkt, auf den später weiter eingebauten Konusturbinen bestätigt.

Die offiziell gemessenen Leistungen und Wirkungsgrade seien vergleichsweise zusammengestellt: Mit *zylindrischem* Leitapparat ergab die Turbine eine maximale Leistung von 1700 PS bei 6,5 m Nettogefälle und einen Wirkungsgrad von 73% bei $n = 130$ Uml/min; mit dem *konischen* Leitapparat erhielt man bei demselben Gefälle und der gleichen Drehzahl eine maximale Leistung von 1850 PS und ein $\eta = 78\%$; bei der früheren Leistung von 1700 PS stieg der Nutzeffekt auf 81,8%. Es ergibt sich also für 1850 PS bei $H = 6{,}50$ m eine spezifische Drehzahl n_s von rd. 540, die bei 5 m Gefälle auf $n_s = 600$ ansteigt, entsprechend der erhaltenen Leistung von 1200 PS, was beweisen dürfte, dass auch bei abnehmendem Gefälle (Rück-Stau) noch ein wirtschaftlicher Wirkungsgrad vorhanden ist.

Dieser sehr bedeutende Unterschied zwischen zylindrischem und konischem Leitapparat darf allerdings zu einem grossen Teil auf die durch diesen geschaffenen besseren Zuströmungsverhältnisse zur Turbine gebucht werden, da man anderswo mit zylindrischem Leitapparat und Spiralgehäuse durchaus gute Resultate erhalten hat. Immerhin zeigt dieser Fall deutlich, was man in schwierigen Fällen mit konischem Leitapparat erreichen kann. Zu beachten ist ferner, dass die vorhandene Axendistanz der Gruppen nur 7,5 m, mit einer freien Kammerbreite von 6 m beträgt, während bei Verwendung eines gut dimensionierten Spiralgehäuses die Axendistanz um mindestens 15 bis 25% vergrössert werden müsste, ganz abgesehen von seiner wesentlich teurern Herstellung.

Im folgenden sei nun, unabhängig von den speziellen Verhältnissen in Chèvres, anhand der Abbildungen 5 und 6 gezeigt, wie unter normalen Bedingungen eine solche Konusturbine bei einem mittleren $n_s = 450$ arbeiten kann. Abbildung 5 veranschaulicht den Wirkungsgradverlauf, in Funktion der spezifischen Wassermenge $Q_1 = \frac{Q}{\sqrt{H}}$, gültig für ein Laufrad von mindestens 1 m Durchmesser bei der normalen Drehzahl. Die angegebenen Nutzeffekte werden mit der Maschinengrösse langsam zunehmen und sind gültig in Verbindung mit einem gut gebauten Saugrohr oder Krümmer, deren Einfluss bei Schnelläuferturbinen bekanntlich von grosser Bedeutung ist. In Abbildung 6 oben sind, in Funktion von $n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}}$, bezw. bei variablem Gefälle und konstanter Betriebsdrehzahl, deren Normal- oder verhältnismässiger Wert der Einfachheit halber $n = 1$ sein möge, für drei verschiedene Beaufschlagungen der Verlauf der Wirkungsgradkurven eingezeichnet. Dabei ist deutlich ersichtlich, dass innerhalb verhältnismässig starker Gefällschwankungen die Nutzeffekte nur wenig ändern, was für Niederdruckwerke von grossem Vorteil ist. Die Abbildung 6 zeigt nämlich unten zwei Kurven H und N_1, wiederum in Funktion von n_1, von denen die erstere die verhältnismässige Gefällsänderung veranschaulicht, deren beide Extreme durch die Zahlen 2,03 und 0,445 markiert sind. Wenn also das Gefälle vom Normalwert = 1 steigt auf 2,03, so ergibt sich bei konstanter Drehzahl für $^7/_8$ Oeffnung noch ein η von 82% gegenüber 83% bei $H = 1$; umgekehrt bei sinkendem Gefälle auf den Betrag 0,445 und derselben Drehzahl wird $\eta = 67{,}5\%$ bei $^8/_8$ Beaufschlagung gegenüber 79% bei derselben Oeffnung und dem Normalgefälle.

Die Kurve N_1 wiederum zeigt die verhältnismässige Leistung bei konstantem Gefälle und einer zwischen den Werten $n_1 = 0{,}7 \div 1 \div 1{,}5$ variablen Drehzahl. Die innerhalb so starker spezifischer Drehzahlschwankungen fast nahezu konstante relative Leistung N_1 ist eine angenehme Eigenschaft dieses Schnelläufertyps, da dadurch möglich ist, dass bei zunehmendem n_1 trotz abfallendem Wirkungsgrad der Verlust ausgeglichen wird durch eine gleichzeitig sich steigernde Schluckfähigkeit des Laufrades. Diese Erscheinung ist bei Niederdruckwerken mit zeitweise starker Gefälleverminderung ausserordentlich wertvoll und eine Eigenschaft, die mit dem konischen Leitapparat begünstigt wird und die bei spezifisch langsamer laufenden Turbinen nicht im selben Masse hervortritt. Ein Zahlenbeispiel soll dies noch deutlicher veranschaulichen:

Gesetzt den Fall, die Turbine gebe bei H normal = 1 und n konstant = 1 eine Leistung von 100 PS, so wird bei Eintreten von Hochwasser für ein Gefälle von 0,5 der theoretische Wert von n_1 zunehmen auf den Betrag von: $1 \cdot \sqrt{\frac{1}{0{,}5}} = 1{,}41$, d. h. weil die Drehzahl konstant sein muss, läuft für 0,5 H die Turbine theoretisch 1,41 mal zu schnell. Dabei steigt laut Abb. 6 die relative Leistung auf 1,035 und die wirkliche Leistung fällt entsprechend nebenstehender Formel auf den Betrag von $N = \left(\frac{0{,}5}{1}\right)^{3/2} \cdot 1{,}035 \cdot 100 = 36{,}7$ PS ab. Das ist weniger, als sich aus der Wirkungsgradkurve bei $^8/_8$ Oeffnung vermuten liesse, nach der bei

Ersatz alter Turbinen im Kraftwerk Chèvres durch schnellaufende Konusturbinen.

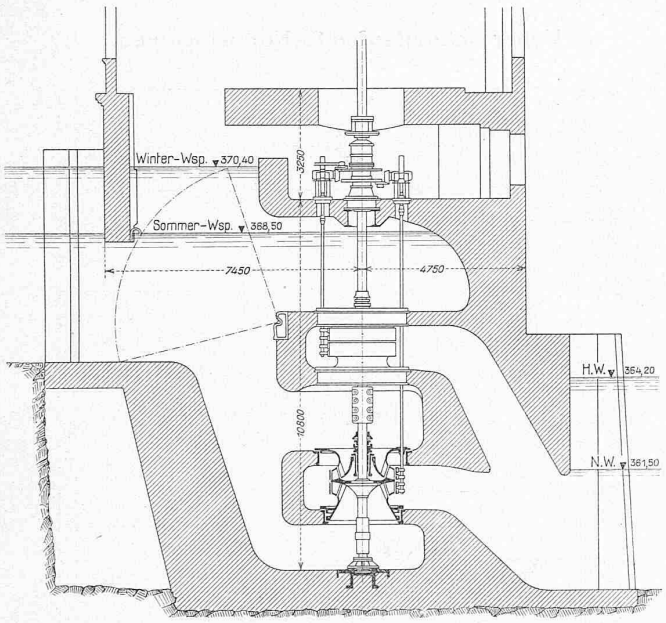


Abb. 3. Alte vierfache Zentrifugalturbine.

Schnitte 1 : 200.

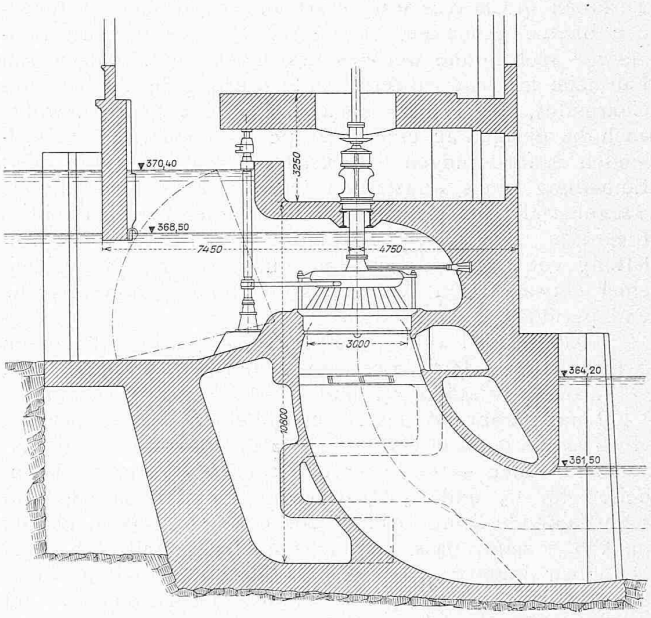


Abb. 4. Neue einfache Konusturbine.

konstanter spezifischer Wassermenge die Leistung nur $N = \frac{7^2}{79} \cdot \left(\frac{0,5}{1}\right)^{3/2} \cdot 100 = 32,4$ PS betragen würde. Abbildung 6 dürfte daher bei Projektstudien für stark veränderliche Verhältnisse in dieser Form gute Dienste leisten und schnell ein ziemlich getreues Bild geben über die jeweils erreichbaren Betriebsleistungen. Mittels eines vorzüglich konstruierten mehrdüsigen Ejektors, dessen Einbau folgendes Projekt zeigt, liesse sich allerdings bei Hochwasser der Leistungsabfall bedeutend vermindern.

Projekt für eine moderne Neuanlage.

Der im vorgehenden beschriebene Einbau von Konus-Turbinen in Chèvres war derart an die dortigen bestehenden Bauten gebunden, dass deren Vorteile für eine *Neu-Anlage* nicht ohne weiteres ersichtlich sind. Für diesen Fall habe ich, mit teilweiser Unterstützung der Ateliers des Charmilles, ein Projekt nach Abb. 8/10 entworfen, wobei auch die übrigen an eine moderne Turbinenanlage zu stellenden Anforderungen berücksichtigt sind. Es sind dies: Einhaltung eines konstanten Oberwasser-Spiegels mittels Saugüberfall, Ausnützung von Hochwasser bei Stau mittels Ejektoren, mechanische Reinigung des Rechens mit Ableitung von Eis und Schwemmgut, sowie die Möglichkeit einer einwandfreien Wassermessung für Abnahmeversuche und periodische Kontrollen.

Als Beispiel wählen wir eine Wasserkraft mit grossen Schwankungen der Wassermenge und des Gefälles, d. h. Q variiere zwischen 15 und 3 m³/sek., also Q min. = $^1/_5$ Q max., während das Normalgefälle $H = 4$ m sich bei Hochwasser auf 2 m vermindere, also Rückstau von 0,5 H. Auch für einen so extremen Fall wählen wir nur zwei Einheiten für $^1/_3$ und $^2/_3$ Q, d. h. für 5 und 10 m³/sek und schnellaufende Konusturbinen von $n_s = 450$. Das Diagramm in Abb. 7 zeigt, dass wir auch in diesem Fall selbst bei $Q/5$ noch ungefähr 76,5 % Wirkungsgrad erhalten, wenn für $Q = 3 \div 5$ und $5 \div 10$ m³/sek die Turbinen I und II separat im Betrieb sind, während für $Q = 10 \div 15$ m³ beide Gruppen zusammen arbeiten und in gleichem Verhältnis belastet sind. Es lassen sich also innerhalb der Grenzen von $^1/_5$ bis $^5/_5$ Q mittels zweier ungleich grosser Einheiten stets wirtschaftliche Nutzeffekte erreichen. Die Gerade N_i stellt das „ideale" Leistungsdiagramm dar, wenn der Wirkungsgrad konstant wäre. Dieses altbekannte System von ($^1/_3 + ^2/_3$), das zwar bisher keine grosse Verbreitung gefunden hat, ist auch auf grosse Turbinenanlagen mit höheren Gefällen anwendbar, um die Zahl der Einheiten auf ein Minimum zu reduzieren. Allerdings ist dies erst in neuerer Zeit möglich geworden, seitdem es der Technik gelungen ist, ganz grosse Turbinen zu bauen, die hinsichtlich Solidität und Betriebsicherheit nichts zu wünschen übrig lassen und seitdem durch Zusammenschluss von verschiedenen Wasserkraftwerken allfällige Betriebsunterbrechungen vermieden werden können.

In folgendem seien mehr *die baulichen Verhältnisse* dieses Projektes nach Abb. 8 bis 10 mit den erwähnten Zusatz-Einrichtungen behandelt.

Wasserkammern. Wie früher erwähnt, sind diese mit ganz bedeutungslosen Mehrkosten so geformt, dass beim Eintritt in das Leitrad keine schädlichen Wirbelungen auftreten. Man erreicht also auf viel einfachere Art den gleichen Effekt wie mit den heute üblichen sehr kostspieligen Spiralgehäusen in armiertem Beton. Diese offenen Wasserkammern ermöglichen ferner, im Gegensatz zur Spiral-Bauart, einen sehr einfachen mechanischen Aufbau. Der Regulierapparat ist möglichst vor Unreinigkeiten geschützt, die meisten beweglichen Teile sind geschmiert und allfällige Auswechslungen sind in kürzester Zeit möglich.

Das vertikale *Saugrohr* mündet unten in einen Erweiterungsraum mit flachem Boden, wo sich der bei meist schief gerichtetem Austritt aus dem Laufrad kreisende Wasserstrahl verbreitern und für den Durchfluss durch das horizontale Saugrohr eine möglichst parallele Strömung annehmen kann. So ist es möglich, auch bei kleinem Gefälle und grossem Austrittsverlust am Laufrad diesen auf kaum 1 $^1/_2$ % herabzusetzen.

Saugüberfälle haben den Zweck, den Oberwasserspiegel automatisch konstant zu erhalten. Um in vorliegendem Fall $Q_s = 5$ m³/sek bei $H_s = 2$ m durch einen Saugüberfall abzuführen, genügen 1,50 m Breite bei max. 5 cm Stauhöhe, während nach früherem System mit gewöhnlichem Ueberfall in einer Seitenwand des Zulaufkanals eine Länge von 17 m erforderlich wäre mit etwa 30 cm Ueberfallhöhe. Dies entspräche einem beständigen Gefällsverlust von 7,5 %, wenn ein oberhalb an demselben Kanal liegendes Kraftwerk keinen Rückstau leiden soll, was bekanntlich schon so oft zu langen Prozessen geführt hat.

Ueber schnellaufende Konusturbinen.

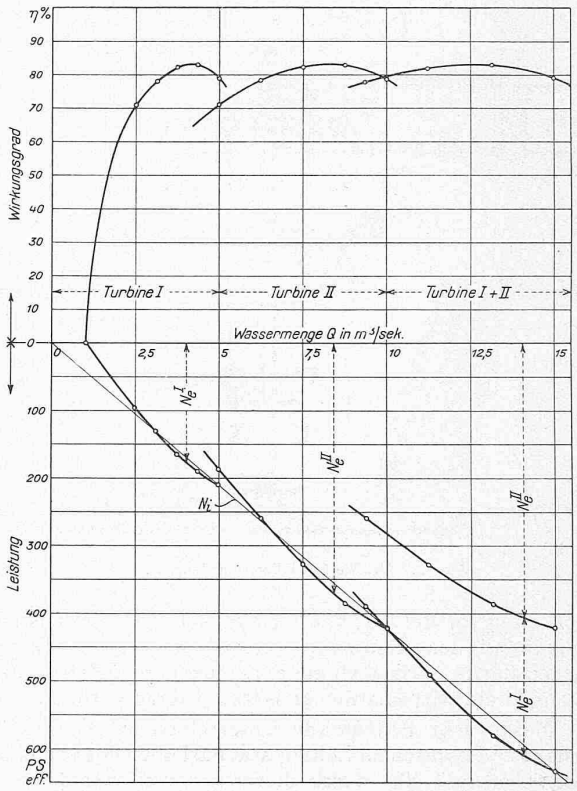
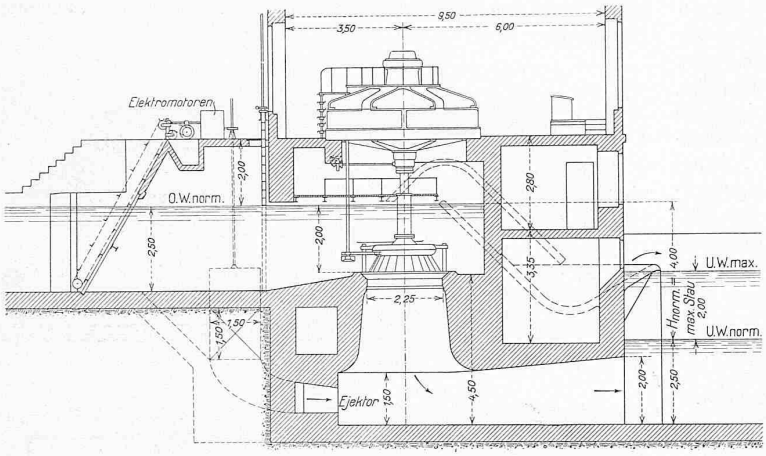


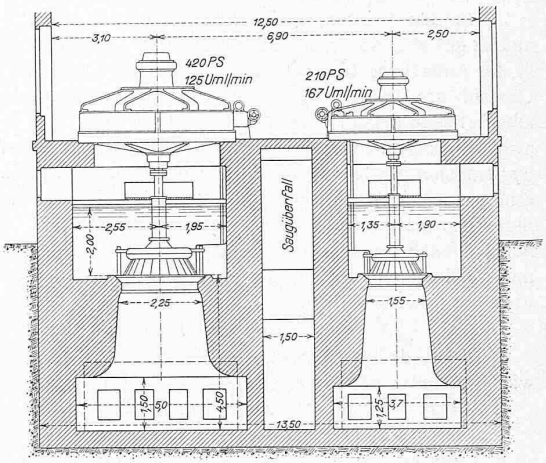
Abb. 7. Charakteristische Kurven für N und η.

Dadurch kann auch verhütet werden, dass in Trockenperioden Wasser aufgespeichert wird zum Schaden unterhalb liegender Kraftwerke, die dadurch in ihrem regelmässigen Betrieb gestört werden. Solche automatische Saugüberfälle können daher in vielen Fällen sehr gute Dienste leisten. Der in Abb. 9 eingezeichnete Typ entspricht dem System des Ingenieurbureau Huber & Lutz in Zürich und soll sich vorzüglich bewährt haben.

Für den *Leerlauf* könnte man einfach den unter dem Saugüberfall bezw. zwischen den Turbinen liegenden Raum benützen und damit einen *Gefällsvermehrer* schaffen, wie er bis heute am meisten üblich war, d. h. mittels Ueberfall, was nach „Z. V. D. I." vom 5. Mai 1923 sehr gute Resultate ergeben kann für Absenkung des Unterwasserspiegels mittels Ueberfallwasser. Es scheint mir aber wirksamer, ähnlich einer amerikanischen Konstruktion mit erweitertem Krümmer, das Leerlauf- oder Ueberschusswasser direkt unter die beiden Turbinen in den Erweiterungsraum des Saugrohres einzuführen durch *Ejektoren*, die zugleich als *Injektoren* funktionieren. Mittels dieser wird die Wassergeschwindigkeit in den beiden Saugrohren und damit die Schluckfähigkeit der Turbinen erhöht. Es wurde deshalb hier auf den üblichen Saugrohrkrümmer verzichtet, weil bei diesem infolge beschränkten Raumes das mit

voller Gefällsgeschwindigkeit $\sqrt{2gH}$ eingeführte Ejektorwasser Q_E den Abfluss des viel langsamer laufenden Turbinenwassers Q_T stauen bezw. verzögern würde, anstatt ihn zu beschleunigen. Die mehrdüsigen Ejektoren sind nach dem Vorschlag von Prof. F. Euler in Hagen i. W. ausgebildet (sogen. „Fingerdüsen"), wodurch auf Grund seiner Versuche eine innige Mischung der beiden Wasser





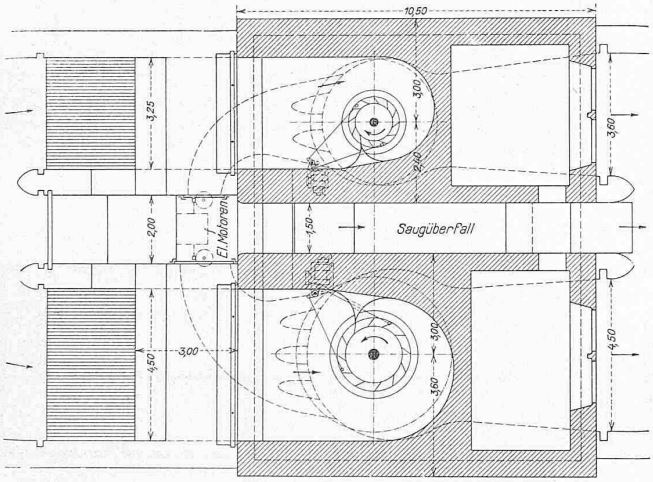


Abb. 8 bis 10. Moderne Konusturbinen-Anlage. — Schnitte 1 : 200.

Q_E und Q_T erreicht und damit verhütet wird, dass die beiden Wasserstrahlen im horizontalen Saugrohre mit verschiedenen Geschwindigkeiten nebeneinander herlaufen, wobei offenbar die Umsetzung von Geschwindigkeit in Druck eine sehr mangelhafte wäre. Die Leerlaufschützen treten erst bei Wasserüberschuss von über 5 m³/sek in Funktion und werden durch elektrische Motoren bewegt, die ihrerseits durch Schwimmer automatisch ein- und ausgeschaltet werden, sobald die zufliessende Wassermenge grösser ist als der Saugüberfall und die Turbinen zu schlucken vermögen oder wenn die Turbinen ganz oder teilweise durch den Regulator oder von Hand geschlossen werden, z. B. auch bei Kurzschluss oder nachts.

Ohne Stau beträgt $H_{norm} = 4$ m, $Q_{tot} = 15$ m³/sek, $\eta = 79\,\%$, $N_e = {}^{79}/_{75}\,(10\,QH) = 630$ PS. Bei Stau $= 0{,}5\,H_n$ oder Gefälle $H' = 2$ m ergibt sich nach Abb. 6 eine effektive Leistung $N'_e = 630\left(\frac{H'}{H_n}\right)^{3/2} N_1 = 630\,({}^2/_4)^{3/2}\,1{,}035 = 231$ PS, entsprechend einem Leistungsverlust $N_v = 630 - 231 = 399$ PS $= 63{,}3\,\%$, gerade dann also, wenn Wasser im Ueberfluss vorhanden ist. Für grösseren oder kleineren Stau ist der Verlust proportional mit der Stauhöhe, sodass bei Stau $= 0{,}78\,H_{norm}$ der Verlust $= 100\,\%$ wird, d. h. Turbinenleistung $= 0$. Man ersieht daraus den grossen Wert eines wirksamen Ejektors, der zugleich als Leerlauf dient und daher keine besonderen Mehrkosten für die Turbinenanlage verursacht.

Wassermessung. Zum Schluss sei noch erwähnt, dass bei vorliegendem Projekt der Einlaufkanal eine einwandfreie Wassermessung erlaubt, was leider bei so vielen auch neuzeitlichen Anlagen nicht möglich ist. Bekanntlich ist eine Wassermessung am Austritt in den Unterwasserkanal sehr ungenau, weil die meist kreisende Bewegung des Wassers im Saugrohr eine einseitige Strömung an dessen Austritt verursacht, die mit Wirbelungen und Rückströmungen verbunden ist. Auch das Saugüberfall- und das Ejektorwasser können hier am Einlauf ebenso genau gemessen werden, was zur Feststellung der Wirksamkeit dieser Apparate notwendig ist.

Zürich, Juni 1923. Ing. *W. Zuppinger.*

Wettbewerb für eine Bezirkschule Lenzburg.

(Schluss von Seite 89.)

Nr. 16. *„Augustin Keller"*. Stellung des Neubaues, Aufteilung des Geländes und Platzanlagen sind gut. Im Projekt fehlt eine Zufahrt von der Westseite her, dieser Mangel kann jedoch leicht behoben werden. Allgemeine Disposition, Einteilung und Anordnung der Unterrichtsräume, Eingänge, Lage, Dimensionierung und Führung der Korridore sind sehr zweckmässig. Die Belichtung im Souterrain ist nicht überall ausreichend. Die architektonische Durchbildung ist einheitlich, schlicht und den örtlichen Verhältnissen angepasst. In dem knapp zusammengefassten Projekte kommt das Streben nach Wirtschaftlichkeit zum Ausdruck. Durch die wegen der weitgehenden Ausnützung des Dachraumes erforderlichen Aufbauten wird die äussere Erscheinung des Baues beeinträchtigt. Kubikinhalt: 17200 m³. Bausumme: 946000 Fr.

Nr. 29. *„Stadtblick"*. Der Verfasser unterdrückt die bestehende Angelrainstrasse und verlegt sie zweckmässig unter Benützung des bisherigen Fussweges längs der Seetalbahnlinie. Der Vorschlag für die Umgestaltung des Geländes auf der Südseite der bestehenden Bauten ist vorteilhaft. Die Umgebung des Gemeindeschulhauses hingegen und die nördlich gelegenen Partien sind nicht mit Sorgfalt behandelt. Aula und Abwartwohnung liegen in einem besonderen Flügel. Diese Disposition (Aula ebenerdig mit separatem Zugang) bietet Vorteile für die Benützung des Raumes bei öffentlichen Anlässen. Die Verhältnisse der Räume und die Kommunikationen im klar geformten Hauptbau entsprechen den schultechnischen und architektonischen Anforderungen. Einfache Architekturformen, verbunden mit wohlüberlegter rhythmischer Anordnung der Fenster verleihen dem Bau ein ansprechendes Aussehen. Kubikinhalt: 22064 m³. Bausumme: 1213500 Fr.

Festsetzung der Rangordnung.

Aus den unter II besprochenen Projekten wurden in gemeinsamer Beratung durch Vergleich der Vor- und Nachteile die Nummern 16, 29, 32 und 46 zur Preiserteilung ausgewählt. Die Qualität