

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 51/52 (1908)
Heft: 24

Artikel: Grosse moderne Turbinenanlagen
Autor: Zodel, L.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-27436>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

INHALT: Grosse moderne Turbinenanlagen. — Wettbewerb zur Gestaltung der Hochbauten am neuen Bahnhofplatz in St. Gallen. — Vom VIII. internationalen Architekten-Kongress in Wien. — Vereinfachung der Berechnung gelenkloser Brückengewölbe. — Miscellanea: Registrierende Dampfmesser. Neubau der Gemäldegalerie in Basel. Fest- und Ausstellungs-Saalbau am Hohenzollernplatz in Frankfurt a. M. Elektr. Licht- und Kraftanlagen im Anschluss an das Kraftwerk Altona. Eidgen. Polytechnikum.

Motorlastwagen Saurer. Unterer Mühlesteig in Zürich. Generalversammlung des Schweizer. Technikerverbandes. Wiederaufbau der Garnisonskirche in Berlin. Schweizer. Bundesbahnen. — Literatur: Calcul graphique et Nomenclature. Wasserkraftverhältnisse in Puschlav. Literarische Neuigkeiten. — Konkurrenzen: Fassaden-Entwürfe für das neue Empfangsgebäude der S. B. B. in Lausanne. Schulhaus in Broc. — Vereinsnachrichten: Gesellschaft ehemaliger Studierender: XXX. Generalversammlung; Stellenvermittlung.

Bd. 51.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur unter der Bedingung genauester Quellenangabe gestattet.

Nr. 24.

Grosse moderne Turbinenanlagen.

Von L. Zedel.

Zweite Folge: Hochdruck- und Stauanlagen.

Allgemeines.

„Je höher das Gefälle, desto billiger die Kraft.“ Wenn dieser häufig angewandte Satz auch nicht allgemein gültig und Vorsicht bei dessen Anwendung geboten ist, so stimmt er doch zum grössten Teil mit der Wirklichkeit überein. Dass trotzdem zuerst die kleinern und mittlern Gefälle ausgenutzt wurden, kommt zunächst von deren bequemern Lage in Nähe der Industrie- und Verkehrszentren her. Dann bot die Ausnutzung der höhern Gefälle technisch bedeutend mehr Schwierigkeiten, die auch dann noch zu überwinden sind, wenn die gesamte Anlage recht günstige Verhältnisse aufweist und daher zu den unbedingt billigen gerechnet werden darf. Nachdem die Kraftübertragung auf weite Entfernung vermitteltst hochgespannten elektrischen Stromes sich nicht nur als durchführbar erwies, sondern auch praktisch durchaus bewährt hat, war es selbstverständlich, dass man sich mit aller Macht auf die Ausnutzung der geographisch meist ungünstig aber hydrographisch günstig gelegenen Hochdruck-Wasserkraftanlagen verlegen werde.

Die rein technischen Schwierigkeiten zu überwinden konnte nur eine Frage der Zeit sein. Es bestehen übrigens eine Reihe von Hochdruckanlagen seit vielen Jahren, allerdings hinsichtlich Kraftentwicklung in bescheidenen Dimensionen. Eine der ersten und bedeutendsten Hochdruckanlagen war wohl diejenige der Baumwollspinnerei Hämmerle in Dornbirn (Vorarlberg), die im Jahre 1868/69 erstellt wurde. Das Brutto-Gefälle betrug 167 m, die Leistung der Turbine 220 PS bei 300 minutlichen Umdrehungen. Die Turbinenanlage wurde von Escher Wyss & Co. unter Leitung von Walter Zuppinger, dem damaligen Chef des Turbinenbaues, ausgeführt.

Die eigentliche Turbine bestand aus einem Zuppingerschen Tangentialrad mit vertikaler Achse und zwei diametral gegenüberliegenden Einläufen; vermitteltst Winkelradgetriebe wurde die Hauptwelle der Spinnerei direkt angetrieben. Horizontalachsige Turbinen waren zu jener Zeit noch ganz unbekannt. Interessant ist, dass nach beinahe 40 Jahren (1905/6) Escher Wyss & Co. eine Turbinenanlage mit ganz ähnlicher Aufstellung ausführten, nur im Vergleich mit jener ersten in riesenhaften Dimensionen. Es ist dies die Anlage Necaxa in Mexico mit sechs vertikalachsigen Tangentialrädern mit je zwei sich gegenüberliegenden Einläufen und einer Leistung von je 8200 PS, also zusammen rund 50000 PS bei einem Bruttogefälle von etwa 440 m. Diese Anlage, auf die ich später näher zurückkommen werde, ist wohl die erste grosse moderne Hochdruckturbinenanlage mit vertikaler Achse, nachdem die horizontalachsige Turbine seit Anfang der 90er Jahre ihren Siegeszug hauptsächlich durch die bequeme Verbindung mit dem elektrischen Generator angetreten.

Interessant ist, was Zuppinger selbst in einem im Jahre 1870 gehaltenen Vortrage über die Hämmerle-Turbine sagt; es gibt ein treues Bild des damaligen Standes der Turbinentechnik sowie der Schwierigkeiten, die man mit der Ausnutzung so hoher Gefälle verbunden glaubte. Ich lasse seine Ausführungen wörtlich folgen:

«Das interessanteste Tangentialrad für hohes Gefälle habe ich voriges Jahr ausgeführt für Herrn Hämmerle in Dornbirn-Vorarlberg, zur Betreibung einer Baumwollspinnerei. Dieses Tangentialrad ist berechnet für ein Bruttogefälle von 550' engl. und für eine veränderliche Wassermenge von 1,5 bis 6 Cubikf. engl. per 1 Sec.

Da ich aber noch kein Tangentialrad für mehr als 380' Fall gebaut hatte, so liess ich mich auch auf keine Garantie für die Solidität ein, dagegen garantierte ich eine Leistung von 65 % für jede Wassermenge von 1,5 bis 6 Cubikf. per 1 Sec. mit dem Nettogefälle von ca. 525'. In Beziehung der Solidität stellte ich die Bedingung, dass ich das Tangentialrad für das hohe Gefälle von 550' konstruieren wolle, sollte es aber nicht möglich sein, bei diesem Gefälle eine befriedigende Solidität zu erreichen, so müsste mir das Recht eingeräumt werden, das Gefälle auf 400' zu reduzieren. Ich brauche Ihnen wohl nicht zu versichern, dass ich bei diesem für mich so ausserordentlich interessanten Fall mein ganzes Wissen und Können aufs äusserste anstrenge, um eine genügende Solidität zu erreichen. Ich war daher auch nach Vollendung des Baues auf das Resultat im höchsten Grade gespannt. Leider war ich zur Zeit, als dies Tangentialrad montiert und in Gang gesetzt wurde, auf Reisen abwesend. Einem Ingenieur und dem Monteur gab ich aber für die Ingangsetzung die ausführlichste Instruktion, denn abgesehen davon, dass leicht etwas durch unrichtige Behandlung verdorben werden konnte, war die ganze Operation ziemlich lebensgefährlich. Wahrscheinlich wurde beim Anfüllen der 1800' langen und 1 1/4' weiten Röhren von Eisenblech das Wasser nicht sorgfältig und langsam genug hineingelassen, weshalb unten bei dem Auslaufapparat sich ziemlich viel Luft einklemmte und nachher durch die hohe Wassersäule von 550' (ca. 18 Atmosphären) komprimiert wurde. Nachdem nun alles zur Ingangsetzung fertig vorbereitet worden war, wurden die Schieber ganz langsam und nur wenig geöffnet, worauf ein Teil der komprimierten Luft unter einem ungeheuren Knall wie ein Kanonenschuss ausströmte; nach weiterem Oeffnen der Schieber entleerte sich der Rest der komprimierten Luft unter einem Lärm wie Kleingewehrfeuer und wenige Secunden nachher fing das Tangentialrad ruhig und langsam an zu gehen und dann immer schneller bis zur richtigen Geschwindigkeit von 300 bis 310 Touren in der Minute. Bemerken muss ich hier, dass die Spinnerei angehängt war, um zu verhüten, dass die Schnelligkeit nicht auf den leeren Gang von etwa 600 Touren in der Minute steigen konnte, ehe man sich von der Solidität bei der arbeitenden Schnelligkeit von 300 Touren überzeugt hatte. Zur grossen Freude des Herrn Fabrikanten und zur noch grösseren für mich bewährte sich die Solidität des Tangentialrades, des Räderwerkes und der Lager, überhaupt der ganzen Anlage so auffallend günstig, dass ich selbst davon überrascht war. Aus Vorsicht arbeitete das Tangentialrad in den ersten Wochen mit nur etwa 55 Pfdkft. und dann später aber mit der vollen Kraft von 220 Pfdkft.

Dieses Tangentialrad ist nun schon über 1 1/2 Jahre im Gang, ohne dass sich der geringste Anstand in Beziehung der Solidität gezeigt hätte. Einzig kam vor 1/2 Jahr auf unerklärliche Weise durch die Röhrenleitung mit dem Wasser ein kleines Stück Hartholz durch und beschädigte allerdings viele Schaufeln des Tangentialrades und einen Teil in dem einen Einlauf, doch konnte man mit dem Tangentialrad ohne besonders grossen Verlust an Effekt noch so lange (etwa 4 Wochen) arbeiten, bis das Ersatztangentialrad vollendet war. — Der Nutzeffekt dieses Tangentialrades, welcher durch Vergleichung mit der Leistung einer früher für die gleiche Spinnerei benutzten Woolfschen neuen Dampfmaschine von Escher Wyss & Cie. in Zürich, sowie mit der Leistung einer Turbine, deren Kraft mittelst Bremsversuchen ermittelt war, ziemlich genau ausgerechnet werden konnte, erweist sich ebenfalls über alles Erwarten günstig, und zwar wie ich es angestrebt habe, mit dem kleinsten Wasser am günstigsten, z. B. mit 1,5 bis 2 Cubikf. 70 bis 75 % und mit etwa 5 Cubikf. 65 bis 70 % bei dem Nettogefälle von ca. 525' engl. Mass. Von diesem Tangentialrad, welches ca. 5' Diam. und ca. 35" engl. Höhe hat, also fortwährend mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 85' engl. in 1 Sec. (die bis auf 170' in 1 Sec. im leeren Gang steigen kann) arbeitet, übergebe ich unserm Herrn Präsidenten eine genaue Skizze mit der Einwilligung, dass dieselbe s. Z. mit diesem Vortrage in unserem Organe, die «Mühle», veröffentlicht werden darf.»

Zwölf Jahre später wurde dieses Tangentialrad von derselben Konstruktionsfirma durch eine horizontalachsige Girardturbine mit innerem Einlauf (sog. Schwamkrugturbine) ersetzt. Durch Aenderung im Transmissionsantrieb war die horizontalachsige Aufstellung angezeigt, die mittlerweile, namentlich für mittlere und höhere Gefälle, durch Einfüh-

rung obigen Systems (Girard-Schwamkrug) grosse Verbreitung gefunden. Jetzt sind diese Turbinen längst wieder durch Freistrahltangentialräder ersetzt, womit man beinahe wieder zum Anfangspunkt zurückgekommen ist.

Nach den günstigen Ergebnissen dieser klassischen Hochdruckturbinenanlage wurden in den 70er und 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts im Gebiete unserer Alpen mehrere Wasserläufe mit hohem Gefälle ausgenützt.

Bekannt sind die Anlagen zum Betriebe der maschinellen Einrichtungen des Gottardtunnels, die im Jahre 1873 und 74 erstellt wurden, wo u. a. vier Tangentialräder mit einer Leistung von je 210 PS unter einem Gefälle von rund 170 m neben mehreren Girardturbinen und sogar beide Typen zusammen kombiniert auf einer Achse als Krafteinheit arbeiteten. Bedeutend war vor allem für die damalige Zeit die Hochdruckturbine der Spinnerei Mels mit 150 m Gefälle und 600 PS, die, im Jahre 1875 aufgestellt, heute noch im Betriebe ist.

Schon zu Beginn der 80er Jahre traten Escher Wyss & Co. mit einem nach neuen Prinzipien gebauten Tangentialrade auf den Markt. Während das Zuppingersche Tangentialrad eine von aussen durch einen oder mehrere eng aneinander gereichte Leitkanäle beaufschlagte Aktionsturbine darstellte, im Prinzip und in der Wirkungsweise identisch mit der Girardturbine, d. h. einer Turbine mit streng geführten Wasserbahnen durch Leit- und Lauftrad, diese letztern nur getrennt durch einen möglichst engen Spalt, war das neue Tangentialrad von Escher Wyss & Co. eine wirkliche Freistrahlturbine, mit einem einzigen, unabhängigen, nur bis auf eine gewisse Distanz vom Lauftrad geführten Strahle, der frei ins Rad eintrat und in den Radschaufeln ebenfalls frei nach allen Richtungen sich ausbreiten und austreten konnte. Die Schaufeln waren löffelähnlich geformt, weshalb das Rad wohl auch Löffelrad genannt wurde. Dieser Turbinentypus war anfänglich nur für kleinere Kräfte und ausschliesslich mit horizontaler Achse in entsprechendem Gehäuse bestimmt.

Ende der 80er und anfangs 90er Jahre, als durch Einführung der Elektrizität dem Turbinenbau ganz neue Aufgaben und ein ungeahnt grosses Arbeitsfeld entstand, liess sich dieses neue Tangentialrad rasch den neuen Bedürfnissen anpassen. Die einfache Konstruktion des Einlaufes ermöglichte eine leichte und rasche Regulierung auf Wassermenge und Geschwindigkeit und die den Dynamomaschinen ähnliche äussere Form der Turbine und deren grosse Umlaufzahl waren sehr geeignet zur direkten Kupplung mit jenen. Automatische Regulatoren mit hydraulisch wirkenden Servomotoren wurden mit der Turbine in Verbindung gebracht, die eine bisher bei Turbinen kaum für möglich gehaltene genaue und empfindliche Regulierung bewirkten. So entstanden rasch einige grössere Elektrizitätswerke mit solchen Aggregaten, ich nenne darunter nur

Zürich mit 2×300 PS, Davos mit 4×200 PS, Crusinallo mit 3×300 PS, die den modernsten Ansprüchen entsprachen.

Fast gleichzeitig entstanden einige ganz ähnliche Typen von Turbinen in Californien, von denen namentlich diejenigen der *Pelton Water Wheel Co.* grosse Verbreitung fanden. Ganz unrichtig ist die vielfach verbreitete Ansicht, es seien unsere Hochdruckturbinen Nachahmungen der californischen Maschinen. Einzig der Name Pelton-Turbine

ist als eine solche Nachahmung aufzufassen. Wie aus obiger kurzen Darstellung hervorgeht, hat man in der Schweiz die Tangentialräder viel früher als in Amerika und die modernen Freistrahltangentialturbinen mindestens gleichzeitig gebaut.

Ebenso ist die in neuester Zeit eingeführte sogen. Nadeldüse (kreisrunder Einlauf mit im Zentrum gelagerter konischer Regulierspindel — Nadel) durchaus nicht amerikanischen Ursprungs. Schon im Jahre 1878 haben Escher Wyss & Co. in Zürich Nadeldüsen gebaut, allerdings waren sowohl Düse als Nadel nicht vollkommen korrekt ausgebildet, sodass der Wasserstrahl unmittelbar nach dem Verlassen der Düse sich zu zerstreuen begann, was natürlich auf den Nutzeffekt nachteilig einwirkte, auch waren die Laufradschaufeln für einen kreisrunden Strahl nicht geeignet. Dies war der Hauptgrund, weshalb die Firma dieses Einlaufsystem bald wieder verliess und durch das viereckige Zungensystem ersetzte. Auch die Firma Ganz & Co. in Budapest hat das Nadeldüsenystem um die Mitte der 80er Jahre eingeführt und m. W. neben den Zungenregulierungen bis heute gebaut.

Den Amerikanern gebührt indessen das Verdienst, zuerst die guten Eigenschaften des kreisrunden Freistrahles

erkannt und durch geeignete Düsenformen und Schaufeln mit strahlparallelen Schneiden, Turbinen mit hohem Wirkungsgrade gebaut zu haben. Immerhin waren auch diese amerikanischen Turbinen von recht primitiver Bauart und erst in Verbindung mit den aus Europa und speziell aus der Schweiz stammenden, den höchsten Betriebsanforderungen entsprechenden Regulierungen wurden dieselben zum Antrieb elektrischer Zentralen brauchbar. Während in der Schweiz schon Ende der 80er und Anfang der 90er Jahre des XIX. Jahrhunderts hydroelektrische Kraftzentralen mit modernen Hochdruckturbinen und hydraulisch wirkenden Präzisionsreglern zur vollen Zufriedenheit im Betriebe waren, wurden uns diese Motoren 10 oder 15 Jahre später als amerikanische Neuheiten in Fachzeitschriften und dergl. vorgeführt!

Ausser den Turbinen boten bei den Hochdruck-Wasserkraftanlagen insbesondere die Zuleitungen Schwierigkeiten. Grosse Rohrleitungen mit hohem Drucke erfordern eine sehr sorgfältige Herstellung. Gusseisen kann nur bis zu einem gewissen Drucke und bestimmten Abmessungen angewendet werden. Das beste und geeigneteste Material ist

III. Preis «ex aequo». — Verfasser: Arch. Montandon & Odier in Genf.

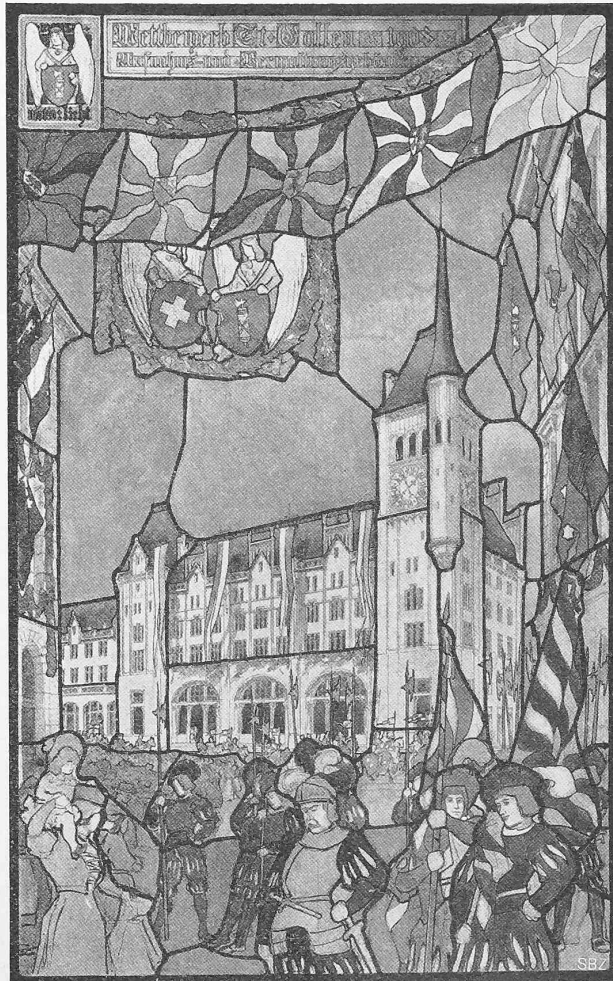


Schaubild des Aufnahme- und Verwaltungsgebäudes des Bahnhofs St. Gallen.

Wettbewerb zur Gestaltung der Hochbauten am neuen Bahnhofplatz in St. Gallen.

III. Preis «ex aequo». — Motto: «Licht». — Verfasser: Architekten Montandon & Odier in Genf.



Schaubild des Postgebäudes von Norden.

Schmiedeeisen oder Stahlblech, hauptsächlich Siemens-Martin-Flusseisenbleche. Bis vor wenigen Jahren war nur die Herstellung mittelst Nietten bekannt, und war man mit den Blechdicken beschränkt. Man sah sich daher gezwungen, die Leitungen möglichst klein im Durchmesser zu halten. Immerhin existierten mehrere genietete Rohrleitungen bis zu 400 m und sogar einige bis 500 m Druck. In den letzten Jahren wurden sodann verschiedene Verfahren zur Herstellung von schmiedeeisernen oder stählernen Röhren eingeführt, die die Anwendung dieser Röhren in viel grösseren Dimensionen ermöglichten. Vor allem gehören dahin das Schweißen der Längs- und Quernähte mit Wassergas und die Verfahren zur nahtlosen Herstellung (Mannesmann, Erhardt). Durch gleichzeitige Vervollkommnung in der Herstellung der Bleche, wodurch heute Bleche mit hoher Festigkeit und hauptsächlich mit grosser Dehnung aus homogenem Material verhältnismässig billig erhältlich sind, eine Fabrikation, die namentlich in Deutschland zu ausserordentlich hoher Blüte gekommen ist, konnte man in der Beanspruchung der Röhre aus diesem Material ohne Gefahr sehr weit gehen.

Immerhin bildet die korrekte Durchführung einer Hochdruck-Rohrleitung in allen Einzelheiten eine sehr wichtige und entsprechend schwierige Aufgabe für den Ingenieur, und das richtige Zusammenarbeiten bezw. Zusammenpassen von Rohrleitung und Turbine ist eines der wichtigsten Erfordernisse einer guten Hochdruckanlage. Die Länge der Rohrleitung, die Lage und das Material derselben bilden mit der Wassergeschwindigkeit Faktoren, die bestimmend auf die Regulierung der Turbine einwirken. Umgekehrt haben festgesetzte Regulierbedingungen gestaltenden Einfluss auf obige Rohrleitungseigenheiten. So ist eine genaue Berücksichtigung der Massenwirkungen des Wassers in der Rohrleitung, der Elastizität der Leitung, der Schwungmassen der rotierenden Teile, der Regulierzeiten usw. unbedingt notwendig, wenn eine allseitig befriedigende Lösung entstehen soll.

Um rasche Aenderungen in der Wassermenge vornehmen zu können, ohne zu starke Druckschwankungen hervorzubringen, wendet man Nebenansätze (Freilauf- oder Druckregulierung), Strahlableiter und Strahlausschwenker an. Durch Anwendung ausserordentlich grosser rotierender Schwungmassen und kleiner Wassergeschwindigkeiten können diese Apparate umgangen werden. Die Anlage wird jedoch dadurch wesentlich verteuert. Schwierig wird die Lösung in allen Fällen, wo das Verhältnis Länge der Leitung zum Gefälle sehr gross wird. Hier kann etwas Gutes nur herauskommen, wenn man in erster Linie nicht von dem eingangs erwähnten Satz — hohes Gefälle, *billige Kraft* — ausgeht; leider wird dies gewöhnlich zu spät entdeckt.

Die verhältnismässig kleinen Wassermengen, die bei Hochdruckanlagen vorkommen, gestatten in vielen Fällen eine Aufspeicherung derselben und man erhält die Stauanlage. Da einerseits die zufließende Wassermenge, andererseits die abzugebende Leistung in den meisten Fällen sehr grossen Schwankungen ausgesetzt sind, so bildet die Stauanlage eigentlich die ideale Wasserkraftanlage. Wenn auch die Erstellungskosten einer solchen Anlage gewöhnlich teurer kommen, so bietet dieselbe doch so viele Vorteile und kann die momentane Kraftabgabe auch bei kleinem Wasserstand so stark gesteigert werden, dass eine Stauanlage bei hohem Gefälle immer vorteilhaft sein wird.

Ich kann hier nicht näher auf die verschiedenen Eigenschaften der Stauanlagen eingehen,*^{*)} werde aber im Verlaufe einige typisch ausgeführte Anlagen beschreiben; hier sei nur darauf hingewiesen, dass bei den Stauanlagen ausser den Turbinen und der Rohrleitung auch noch die Zuleitung zwischen Wasserschloss und Stausee berücksichtigt werden muss, wenn die Rohrleitung nicht direkt in den Stausee einmündet, da diese Zuleitung zumeist als Druckstollen ausgeführt wird. Aber auch wenn freie Zuleitung vorgesehen ist, müssen wegen der stark wechselnden Wasserentnahme Zuleitung und Wasserschloss sorgfältig berechnet werden.

(Forts. folgt.)