

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 68 (1950)  
**Heft:** 28

**Artikel:** Die hydraulische Energie und die Entwicklung der hydraulischen Maschinen  
**Autor:** Dubs, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-58049>

#### 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:** 07.01.2026

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

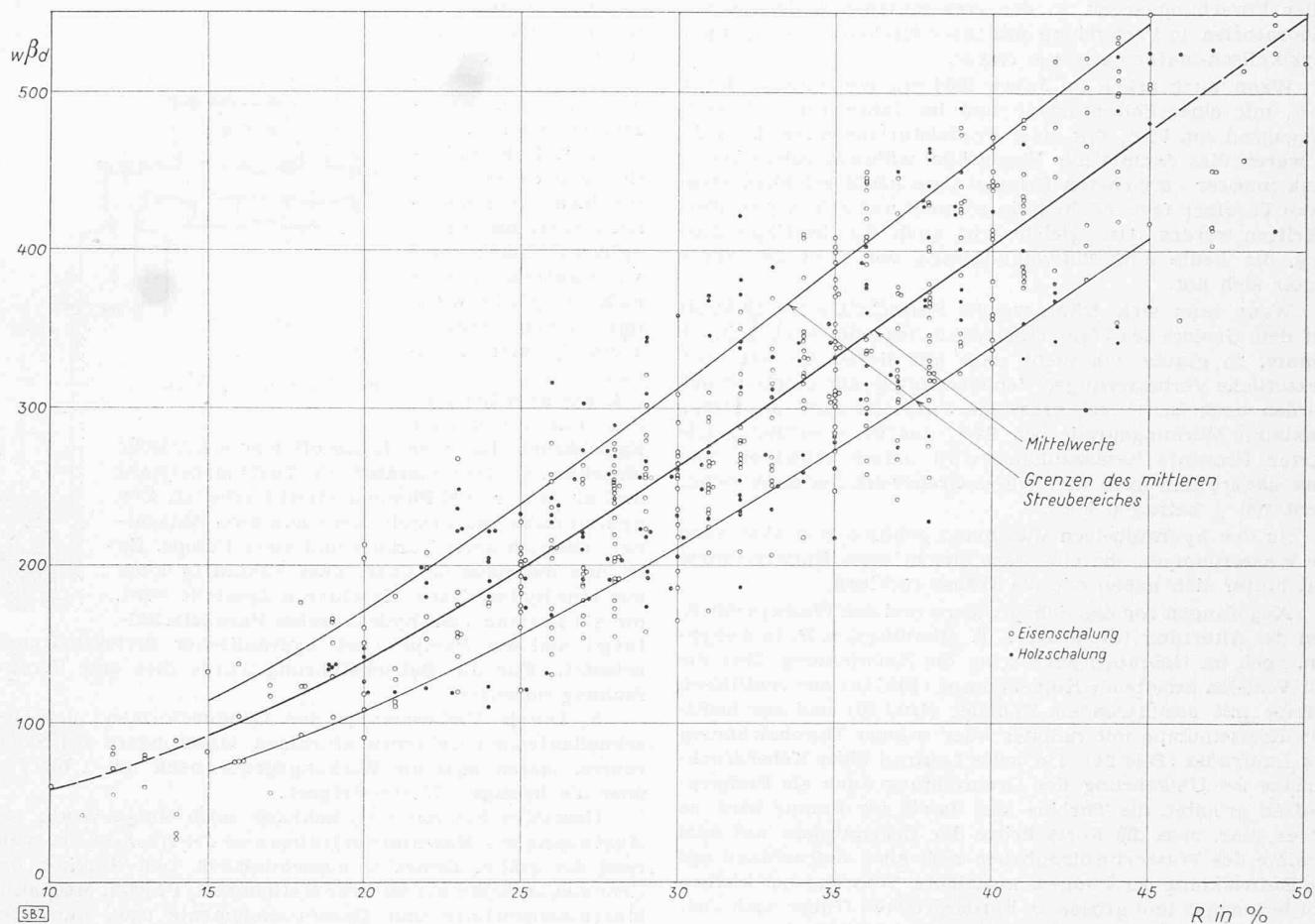


Bild 2. Zusammenhang zwischen der Würfeldruckfestigkeit  $w\beta_d$  und der Prellhärte R; Ergebnisse der EMPA-Versuche

## Die hydraulische Energie und die Entwicklung der hydraulischen Maschinen

DK 621.2

Von Prof. R. DUBS, ETH, Zürich

Schluss von Seite 361

Bei der Entwicklung der Wasserturbine zu immer grösserer Schnellläufigkeit trat eine Erscheinung auf, die den Konstrukteuren grosse Schwierigkeiten bereitete, da am Anfang ihre Ursache nicht erkannt wurde. Die auf Grund aller Erfahrungsregeln berechneten und gebauten Wasserturbinen zeigten nämlich besonders bei grossen Leitschaufelöffnungen starke Vibrationen, die einen geordneten Betrieb auf die Dauer ausserordentlich erschwerten. Bei der Untersuchung von Laufrädern, die schon einige Zeit in Betrieb gestanden hatten, konnten an den Laufradschaufeln eigenartige Zerstörungsscheinungen beobachtet werden. Man konnte ferner feststellen, dass beim Auftreten der Vibrationen die Turbinenleistung und der Wirkungsgrad stark abfielen, so dass auch aus diesem Grunde eine Abklärung und Beseitigung dieser Erscheinung von grösster Bedeutung war. Die in dieser Richtung durchgeföhrten zahlreichen Forschungsarbeiten (unter denen ich besonders auch diejenige von Prof. J. Ackeret nennen möchte) ergaben als Ursache der störenden Erscheinung die Verdampfung des Wassers bei niedriger Temperatur, die als Kavitation oder Hohlraumbildung bezeichnet wird. Zunächst war zu untersuchen, ob an einer Stelle in der Turbine der Druck so klein werden kann, dass bei der gegebenen Wassertemperatur ein Sieden und damit eine Hohlraumbildung möglich ist. Für diese Untersuchungen leistete nun der Satz von Daniel Bernoulli, nach dem die Summe aus kinetischer und potentieller Energie, d. h. aus Geschwindigkeits- und Druckhöhe, stets konstant ist, ganz ausgezeichnete Dienste. Durch systematische experimentelle Forschungen in den verschiedenen Laboratorien der Turbinenfirmen gelang es dann, besonders für Kaplanlaufräder, die infolge ihrer hohen Schnellläufigkeit besonders kavitationsempfindlich sind, Schaufelformen zu finden, die auch bei hohen spezifischen Drehzahlen keine Kavitation aufweisen.

Als Kennzeichen für die Beurteilung, ob Kavitationsgefahr besteht, hat Prof. Dieter Thoma (München) die Einführung eines Kavitations-Koeffizienten vorgeschlagen, der im wesent-

lichen eine Funktion der spezifischen Drehzahl ist. Sorgt man dafür, dass beim Austritt des Wassers aus dem Saugrohr ein genügender Druck vorhanden ist, so kann bei richtiger Konstruktion die Hohlraumbildung stets vermieden werden. Um einen genügenden Druck zu schaffen, muss das Laufrad oft verhältnismässig tief unter dem Unterwasserspiegel angeordnet werden, was dann beim Bau des Kraftwerkes eine entsprechend tiefe Baugrube bedingt, und wegen der Entwässerung dieser Grube erhebliche Kosten verursacht. Damit wird das Vermeiden der Kavitation auch zu einem wirtschaftlichen Problem, und es ist deshalb von Fall zu Fall zu erwägen, ob man nicht zur Vermeidung von hohen Baukosten auf eine höhere Drehzahl verzichten und damit etwas höhere Maschinenkosten in Kauf nehmen will. Da ein Wasserkraftwerk eine Produktionsanlage zur Erzeugung von elektrischer Energie ist, so spielt der Wirkungsgrad der Umsetzung von hydraulischer in elektrische Energie bei einer solchen Entschlussfassung eine erhebliche Rolle. Da ist nun zu sagen, dass die Wahl einer kleineren Drehzahl bei gegebenem Gefälle und vorgeschriebener Leistung in den meisten Fällen eine Erhöhung des Wirkungsgrades mit sich bringt, und damit eine Vergrösserung der Produktion an kWh.

Für den Ausbau der Wasserkräfte kommen heute nur noch die folgenden drei Turbinentypen in Frage:

1. Die Kaplan-turbine, für kleine und mittlere Gefälle, d. h. für die Ausnutzung der Wasserkräfte der Flüsse und Ströme in Laufwerken bis zu einem maximalen Gefälle von etwa 60 m.

2. Die Francis-turbine, für mittlere und höhere Gefälle, d. h. für die Ausnutzung der Wasserkräfte der Bäche und Flüsse in Lauf- oder Speicherwerken bis zu einem maximalen Gefälle von etwa 400 m.

3. Die Pelton-turbine, für hohe Gefälle, d. h. für die Ausnutzung der Wasserkräfte der Bäche durch Speicherung in Stauteichen bis zu einem maximalen Gefälle von etwa 2300 m.

Die Entwicklung der Wasserturbine bis zu ihrem heutigen Stand war nur möglich dank der systematischen experimen-

stellen Forschungsarbeit in den verschiedenen hydraulischen Laboratorien, in Verbindung mit theoretischen Überlegungen physikalisch-mathematischer Natur.

Wenn auch schon im Jahre 1908 ein Wirkungsgrad von 90 % mit einer Pelton-Turbine und im Jahre 1915 ein Wirkungsgrad von 92 % mit einer Francis-Turbine erreicht wurde, so waren dies damals nur Einzelfälle, während solche Werte dank unserer vermehrten Erkenntnisse heute bei allen grösseren Turbinen fast regelmässig erreicht und z. T. sogar überschritten werden. Das gleiche gilt auch für die Kaplan-Turbine, die heute eine Entwicklungszeit von etwa 30 Jahren hinter sich hat.

Wenn man sich frägt, welche Fortschritte die Zukunft auf dem Gebiete des Wasserturbinenbaues wohl noch bringen könnte, so glaube ich nicht, dass auf diesem Gebiete noch wesentliche Verbesserungen der Wirkungsgrade möglich sind, werden doch heute bei grösseren Turbinen fast durchwegs maximale Wirkungsgrade von 92 % bis 94 % erreicht. Die letzten Prozente herauszuholen wird immer schwerer, und man nähert sich auch hier einem Grenzwert, der ganz sicher nicht 100 % betragen kann.

Zu den hydraulischen Maschinen gehören nun aber auch die Wasserpumpen, die eine fast gleich lange Entwicklung hinter sich haben wie die Wasserturbinen.

Anfangen von den Schöpfrädern und den Wasserschnecken des Altertums (die heute z. T. allerdings, z. B. in Ägypten, noch im Gebrauch sind) ging die Entwicklung über die mit Ventilen arbeitende Kolbenpumpe (Bild 19) zur ventilllosen Pumpe mit oszillierendem Zylinder (Bild 20) und zur heutigen Kreiselpumpe mit radialer oder axialem Durchströmung des Laufrades (Bild 21). Da jedes Laufrad einer Überdruckturbine bei Umkehrung der Drehrichtung auch als Pumpenlaufrad arbeitet, die Turbine also damit zur Pumpe wird, so ist es klar, dass die Fortschritte der Erkenntnisse auf dem Gebiete des Wasserturbinenbaues sich auch befriedigend auf die Entwicklung der Pumpen auswirkt. Während bei kleinen Fördermengen und grösseren Förderdrücken früher noch vielfach Kolbenpumpen verwendet wurden, tritt heute an ihre Stelle fast ausnahmslos die mehrstufige Zentrifugalpumpe. Bei grossen Fördermengen und kleinen Förderhöhen verwendet man die Kreiselpumpe mit axialem Durchfluss durch das Laufrad. Der Begriff der Schnelläufigkeit, ausgedrückt durch die spezifische Drehzahl, ist auch bei den Pumpen eingeführt worden. Der weitaus grössste Teil der heute zur Ausführung kommenden Pumpen sind Kreiselpumpen mit *radialer* oder *axialer* Durchströmung durch das Laufrad. Eine überaus grosse Zahl von Spezialpumpen dienen zur Förderung von Schlamm, Kies und grösseren Steinen, sowie zäher Stoffen. Das Gebiet des Pumpenbaues ist damit ausserordentlich erweitert worden und ich muss es mir hier versagen, darauf näher einzutreten.

Will man einen Blick in die Zukunft tun, so könnte man mit Rücksicht auf die bisherige Entwicklung der hydraulischen Maschinen mit etwas Phantasie, die ja zu jeder technischen Tätigkeit gehört, etwa folgendes sagen (was z. T. schon vorgeschlagen wurde):

1. Der Leitapparat der Überdruckturbine könnte mit festen Leitschaufeln ausgeführt und die Regulierung durch Veränderung der Breite vorgenommen werden.

2. Die Anzahl der Laufradschaufeln bei Überdruckturbinen könnte unter Umständen bis auf eine vermindert werden.

3. Durch Kombination von Überdruckturbinen verschiedener Bauart, welche die gleiche Generatorwelle antreiben, liesse sich möglicherweise das Kavitationsproblem leichter meistern.

4. Bei Speicherwerken mit künstlicher Speicherung hat man heute oft eine elektrische Maschine, die als Generator (bei Turbinenbetrieb) und als Motor (bei Pumpenbetrieb) arbeitet. Der hydraulische Teil besteht aber aus zwei Maschinen, nämlich einer Turbine und einer Pumpe. Es ist nun durchaus denkbar, dass zukünftig auch nur eine hydraulische Maschine aufgestellt wird, die als *Turbine* (mit hydraulischer Parallelschaltung) und als *Pumpe* (mit hydraulischer Serieschaltung) arbeitet. Für die Betriebsführung würde dies eine Vereinfachung bedeuten.

5. Durch Verbesserung der Gehäuseformen, und bei schnellaufenden Überdruckturbinen insbesondere des Saugrohres, lassen sich die Wirkungsgrade noch um 1 bis 2 % über die heutigen Werte steigern.

Gestatten Sie mir zum Schlusse noch einige Worte zur *Ausbildung des Maschineningenieurs an der Hochschule*. Während die ersten Semester ausschliesslich dem Studium der Grundlagenfächer wie höherer Mathematik, Physik, Mechanik, Maschinenzeichnen und Maschinenelemente usw. gewidmet sind, tritt der Studierende mit dem fünften Semester in das eigentliche Fachstudium ein. In diesem soll er nun damit vertraut gemacht werden, wie die Grundwissenschaften zur Lösung technischer Probleme, d. h. für die Berechnung und Konstruktion einer Maschine verwendet werden können. Die gründliche Kenntnis der Grundwissenschaften ist deshalb für den werdenden Maschineningenieur nicht *Selbstzweck*, sondern *Mittel* zum Zweck. Es genügt also nicht, wenn er mathematische Formeln und physikalische Sätze kennt, sondern er muss sie auch richtig anwenden können. In seiner späteren praktischen Tätigkeit ist es für ihn von der grössen Bedeutung, dass er sein Wissen in die praktische Tat umzusetzen versteht, d. h. dass er etwas *kann*.

Das Konstruieren einer Maschine besteht aber nicht nur in der Anwendung der Grundwissenschaften, denn vom richtigen Konstrukteur wird noch viel mehr erwartet. Er soll die Maschine nicht nur so berechnen können, dass sie die gestellten Bedingungen erfüllt, sondern er soll auch eine Lösung finden, die wirtschaftlich und betrieblich befriedigt. Seiner Phantasie ist damit ein weiter Spielraum gelassen, und eine glückliche Idee hat schon sehr oft einen wesentlichen technischen Fortschritt gebracht. Der richtige Kon-

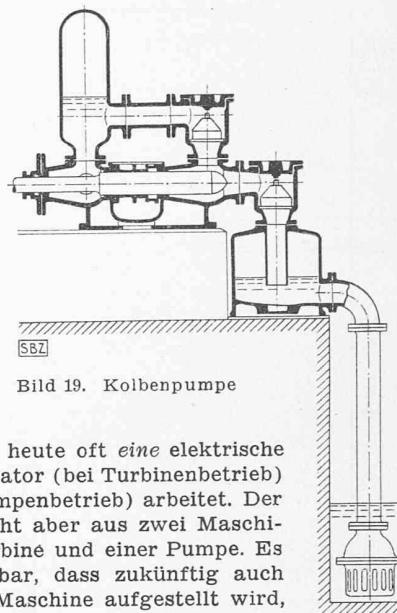


Bild 19. Kolbenpumpe

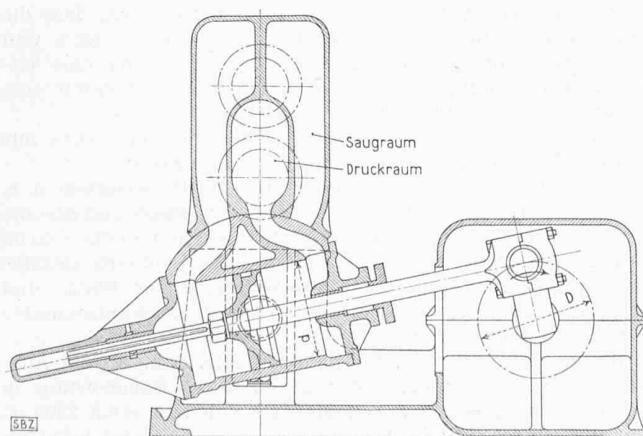


Bild 20. Pumpe mit oszillierendem Zylinder

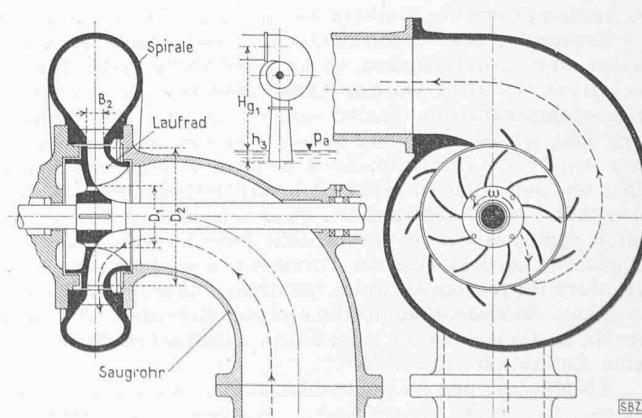


Bild 21. Zentrifugalpumpe

strukteur sollte über künstlerisches Empfinden verfügen, denn die ästhetisch befriedigenden Formen sind in den weit- aus meisten Fällen auch die zweckmässigsten. Ich möchte hier nur auf die neueren Erkenntnisse über Gestaltfestigkeit hinweisen.

Wenn man das Maschinenkonstruieren von den oben dargelegten Gesichtspunkten aus betrachtet, so wird man zugeben müssen, dass es eine höchstqualifizierte Tätigkeit darstellt. Es wäre deshalb sehr zu begrüssen, wenn sich mehr Studierende, als dies heute der Fall ist, für die schöpferische Tätigkeit des Konstruierens begeistern würden, denn ich bin der Ueberzeugung, dass die Maschinenindustrie sehr gerne akademisch gebildete Konstrukteure aufnehmen würde. Ich möchte hier nur auf den sehr lesenswerten Aufsatz von Ing. E. Lavater (SBZ 1949, Nr. 1) hinweisen, wo ausgeführt wird «85 % der Hochschulabsolventen, die sich bei uns melden, wünschen ins Versuchslokal zu kommen. Von den Versuchslokalen lebt aber keine Firma, sondern von den Konstruktionen. Die Studierenden sollten darauf aufmerksam gemacht werden, dass nicht nur in der Forschung, sondern vor allem in den Konstruktionsbüros Verwendung für sie besteht».

Ausser der beruflichen Tüchtigkeit sind aber nach meiner vollen Ueberzeugung auch die rein persönlichen Eigenschaften des Ingenieurs von der grössten Bedeutung. Sein Charakter ist, nicht nur für sein weiteres Fortkommen im Leben, sondern auch für alle, die mit ihm zusammenarbeiten müssen, mindestens ebenso wichtig, wie seine wissenschaftlichen und technischen Fähigkeiten. Eine leitende Persönlichkeit einer unserer grössten Maschinenfabriken hat dies in einem Exposé betreffend Ausbildung der Maschineningenieure in dem Satze zum Ausdruck gebracht: «In unserem technischen Zeitalter, in dem unsere sittlichen Werte ins Wanken gekommen sind, bedeutet es ein Gebot der Selbsterhaltung der menschlichen Gesellschaft, dass neben dem Streben nach naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und neben dem Fortschreiten der Technik eine Evolution der menschlichen Ethik einhergehen muss. Es scheint uns, dass diesem zwingenden Gebot bei der Erziehung unserer Jugend an der ETH ebenfalls Beachtung geschenkt werden sollte, obwohl dies in erster Linie Sache der Mittelschulen ist.

Ein richtiger Ingenieur ist sich stets seiner hohen Verantwortung, die er bei der Berechnung und Konstruktion einer Maschine nicht nur dem Besteller, sondern auch allen anderen Mitmenschen gegenüber übernimmt, voll bewusst. Die Verantwortung als Fachmann verlangt von ihm, dass die Maschine nicht nur die eingegangenen Garantien erfüllt, sondern auch so berechnet und konstruiert ist, dass nach menschlichem Ermessen, bei abnormalen aber möglichen Vorgängen, kein Unglück eintreten kann. Die Erfüllung einer solchen Forderung mag vielleicht vielen als zu weitgehend erscheinen, allein, wenn man sich vergegenwärtigt, welch namenloses Leid nur der Verlust eines Menschenlebens oft über viele bringen kann, so gelangt man zur Erkenntnis, dass wirtschaftliche Erwägungen dagegen in den Hintergrund treten müssen. Die restlose Erfüllung der von ihm übernommenen Pflichten ist für den Ingenieur eine Selbstverständlichkeit und es muss sein Stolz sein, durch Fleiss und Zuverlässigkeit sich seines akademischen Standes würdig zu erweisen. Mögen es Elternhaus und Schule und insbesondere auch unserer Hochschule immer wieder gelingen, Ingenieure heranzubilden, die diesen Titel voll und ganz verdienen!

## NEKROLOGE

† Felix Gugler, Ing., Dr. h. c., wurde geboren am 22. Juli 1875 zu Wasseralfingen in Württemberg als zweiter Sohn von Karl Gugler, Hüttenverwalter des dortigen staatlichen Eisenwerkes. Im gleichen Jahre suchten die von Roll'schen Eisenwerke für ihr Werk Choindez einen Direktor, da Ernst Kinzelbach, der bisherige Direktor, zur Leitung des Haupt-sitzes nach Gerlafingen berufen worden war. Auf seinen Vorschlag wurde sein Freund und Studienkollege Karl Gugler zu seinem Nachfolger gewählt. Somit siedelte die Familie im Herbst 1875 in den einsamen Ort im engen Tal-Kessel der Birs, wo Ludwig von Roll das Eisenwerk mit Rücksicht auf die dortige Wasserkraft und die Nähe der Delsberger Eisenerze gegründet hatte. Die Familie Gugler erwarb später das Bürgerrecht der Gemeinde Courrendlin, zu der Choindez gehört. Das Werk war damals noch sehr klein und umfasste ähnlich dem Wasseralfinger Werke einen Holzkohlenhochofen mit angeschlossener Giesserei. Dort verlebte Felix Gugler zusammen mit seinen Geschwistern eine frohe Jugendzeit. Wohl wenige Ingenieure hatten das Glück, schon in frühester Jugend einen so bequemen und eingehenden Anschauungsunterricht in technischen Dingen geniessen zu können, denn die Direktorssöhne konnten ungehindert im Werke herumgehen, wann immer sie dazu Lust hatten, die verschiedenen Handwerker bei ihrer Arbeit beobachten und die im Laufe der Jahre erstellten Neubauten und Neueinrichtungen während ihrer Entstehung verfolgen. So war es dem Verstorbenen schon als Kind möglich, Einblick in die Entwicklung der Wasserkraftnutzung zu gewinnen, als eine neue Kraftanlage gebaut wurde, bei der ein etwa 500 m langer Unterwasserstollen zur Ausführung kam.



Dr. h. c. FELIX GUGLER

BAUINGENIEUR

1875

1950

Als Erbe von beiden Elternteilen war dem Verstorbenen und seinen Geschwistern eine grosse Liebe zur Natur eigen. Der Vater hatte eine besondere Vorliebe für Geologie, war auch ein guter Berggänger und führte seine Söhne schon in jungen Jahren in die Alpen, so 1883 anlässlich der Eröffnung der Gotthardbahn ins Gotthardgebiet und das Tessin, später ins Berner Oberland zu den Grindelwaldgletschern und in andere schöne Gegenden des Schweizerlandes. Ein Nachteil der abgeschiedenen Lage von Choindez war das Fehlen einer Mittelschule in einigermassen bequem erreichbarer Nähe. So musste Felix gleich dem Schreibenden, seinem älteren Bruder, vom 9. Lebensjahr an seiner Ausbildung wegen bei Verwandten untergebracht werden und konnte nur während der Schulferien das geliebte Elternhaus geniessen. Er durchlief das humanistische Gymnasium in Freiburg i. Br. und bezog 1893 das Polytechnikum in Zürich, das er 1897 mit dem Diplom eines Ingenieurs verliess.

Seine berufliche Tätigkeit begann er unter den hervorragenden Lehrmeistern Ingenieur L. Kürsteiner und G. Narutowicz, dem nachmaligen Professor für Wasserbau an der ETH. Der Kontakt mit diesen Pionieren des Ausbaues der Wasserkräfte bestimmte seine ganze spätere Lebensarbeit, die mit kurzen Unterbrechungen dem Wasserbau und vor allem dem Kraftwerkbau gewidmet war. So leitete er den Bau des Albulawerkes der Stadt Zürich von 1906 bis 1910. Schon damals trat seine starke Persönlichkeit hervor, da er es verstand, die ihm anvertrauten Interessen der Stadt unter Würdigung der Schwierigkeiten der ausführenden Unternehmungen zu vertreten und Gegensätze in gerechter Weise zu überbrücken. Es folgten leitende Stellungen bei der St. Galisch-Vorarlbergischen Rheinregulierung, beim Plessurwerk