

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 109/110 (1937)  
**Heft:** 17

**Artikel:** Zur heutigen Einweihung des Etzelwerkes  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-49137>

### **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:** 15.01.2026

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

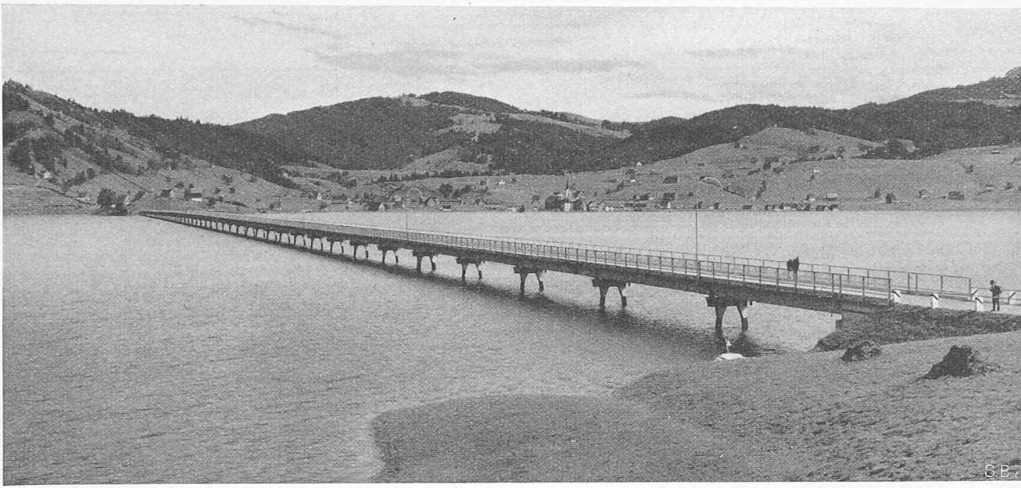


Abb. 2. Blick gegen Osten über den voll aufgestauten Sihlsee auf Willierzell und den 1115 m langen Viadukt

Geschwindigkeitsverteilung nach Grösse und Richtung wichtig. Diese Bestimmung lässt sich beim Luftbetrieb durch Verwendung von geeichten Zylinder-Staurohren<sup>9)</sup> und durch direkte stroboskopische Beobachtung ungleich einfacher und zuverlässiger durchführen als beim Wasserbetrieb.

Die absoluten Ein- und Austrittsgeschwindigkeiten  $c_1$  und  $c_2$  sowie die Neigung  $\alpha$  zur Turbinenaxe und der statische Druck  $p$  wird direkt mit dem Zylinderstaurohr bestimmt. Die Geschwindigkeitsdreiecke können dann in jedem Radius bei bekannter Drehzahl ermittelt werden, sodass das Arbeiten der Teilturbinen in allen Radien verfolgt und mit den Berechnungsgrundlagen verglichen werden kann. Die Differenz der über die Ein- und Austrittsflächen des Laufrades summierten statischen Drücke liefert gleichzeitig den Axialschub. Abb. 12 gibt beispielsweise Resultate von solchen Ausmessungen im Zu- und Abflussraum eines Schnellläuferrades. Die Messpunkte liefern die verschiedenen Verläufe mit bemerkenswerter Genauigkeit.

Die neue Versuchsmethode lässt sich nicht nur bei Turbinen-Versuchen, sondern weitgehend auch für Forschungsarbeiten an hydraulischen Pumpen anwenden. Aufbauend auf den bisherigen Erfahrungen in der aerodynamischen Versuchstechnik wurde in den Escher Wyss Laboratorien vor einiger Zeit ein Luftstand zur Untersuchung von Pumpenlaufrädern im Betrieb aufgestellt. In der Skizze der Abb. 13 ist diese Anlage dargestellt. Im Gegensatz zur oben beschriebenen Turbinenanlage kann man hier nach einem Vorschlag von Prof. Ackeret nach Art der Ueberdruckwindkanäle sowohl mit offenem als geschlossenem Kreislauf arbeiten. Im abgebildeten geschlossenen Kreislauf wird durch die vom Antriebsmotor 1 angetriebene, zu untersuchende Pumpe 2 dauernd die gleiche Luft umgewälzt. Die geschlossene Anordnung hat vor allem den Zweck, durch Einlassen von Druckluft oder andererseits Evakuieren des Systems die Reynolds'schen Zahlen

<sup>9)</sup> Ueber Zylinderstaurohre vergl. C. Keller: Neuere Versuchseinrichtungen und Forschungsarbeiten für Turboverdichter. «Escher Wyss-Mitteilungen», Jahrg. VIII, 1935, S. 154.

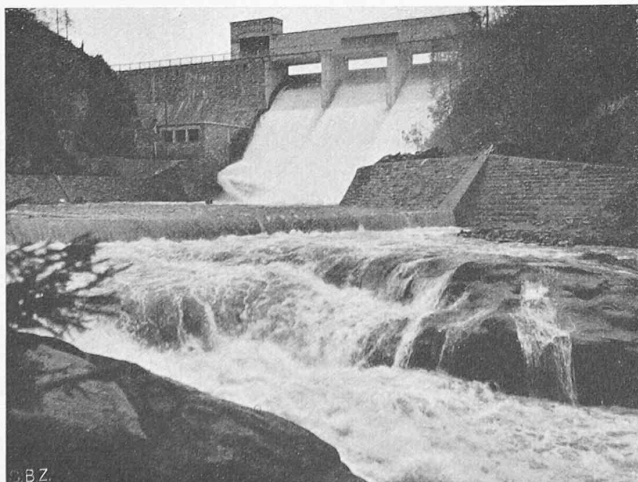


Abb. 3. Die Stauwand, Höhe über Talboden 27 m

durch Dichteänderung zu variieren. (Im Ausdruck

$$Re = \frac{cl}{\nu}$$

ändert bekanntlich bei gleicher Temperatur die kinematische Zähigkeit  $\nu$  umgekehrt proportional mit dem Druck). Die Pumpe fördert an Stelle von Wasser Luft durch den Diffusor 3 in einen Kühler 4, wo die im Kreislauf entstehende Reibungswärme abgeführt wird. Am Kühler einlauf kann die Luft wechselnd gedrosselt werden. Sie strömt unten durch einen Gleichrichter 5 zur auswechselbaren Messdüse 6, um dann wieder vom Pumpenrad angesaugt zu werden. Die Pumpenpartie mit Antrieb und Mess-Vorrichtung dieser

Anlage, deren nähere Beschreibung einer spätern Abhandlung vorbehalten sei, zeigt Abb. 14 im Lichtbild.

Mit den neuen aerodynamischen Versuchsanlagen der Escher Wyss Laboratorien für Wasserkraftmaschinen werden schon seit zwei Jahren ausgedehnte Untersuchungen durchgeführt. Bei diesen grundlegenden Versuchen für eine neuartige Forschungsmethode an vollständigen hydraulischen Maschinen unter Betriebsbedingungen erwiesen sich die Luftanlagen als wertvollste Ergänzung der bestehenden hydraulischen Versuchstände. Ihr Vorteil besteht vor allem darin, dass mit verhältnismässig kleinem Aufwand viele bisher unbekannte Einzelheiten der Arbeitsströmung von Turbinen und Pumpen genau beobachtet und gemessen werden können, sodass zu erwarten ist, dass die wissenschaftliche Erforschung hydraulischer Maschinen auf diesen neuen Wegen rasch weitere Fortschritte machen wird.

## Zur heutigen Einweihung des Etzelwerkes

Die Mühlen Gottes mahlen langsam. — Dies trifft auch auf manches Ingenieurbauwerk zu, und in besonderem Mass auf das Etzelwerk. Schon vor 40 Jahren hatte die *Maschinenfabrik Oerlikon* in Verbindung mit Ing. J. Kürsteiner<sup>1)</sup> als Erste ein Projekt für das Etzelwerk aufgestellt, mit einer Stauwand in den Schlägen, mit Hühnermattdamm, max. Stau des Sihlsees auf 892,60 (wie heute), mittl. Bruttogefälle 440 m (heute 450 m). In der damaligen Beschreibung der «SBZ»<sup>1)</sup> sagte die Redaktion mit Bezug auf die zu jener Zeit noch neuartigen Vorschläge grosser Akkumulierwerke: «Auch eine Frage der Zukunft, der elektrische Betrieb der Eisenbahnen, dürfte einzig nur durch Werke mit Sammelweihern gelöst werden können.» — Am 31. Dezember 1904 äusserte der Bundesrat, dem die M.F.O. die Konzession angeboten hatte, die Gen.-Dir. der SBB habe erklärt, das Etzelwerk eigne sich vorzüglich als Bahnkraftwerk; trotzdem hat es weitere fünf Jahre gedauert, bis der Vertrag zwischen SBB und M.F.O. (1909) perfekt war, und von hier ab noch volle 20 Jahre bis die Konzessionsfragen zwischen SBB und dem Kanton Schwyz geregelt waren (1929). Noch im gleichen Jahre brachten wir (in Bd. 94) die Beschreibung des Bauprojektes, wo es am Schlusse heisst, das Werk solle im Herbst 1934 betriebsbereit sein; Krisenumstände verzögerten die Fertigstellung. Immerhin trifft unser biblisches Motto ordentlich zu.

Im Rückblick auf diese historischen Daten liegt selbstverständlich keinerlei Vorwurf gegenüber den bauleitenden Technikern, von denen in erster Linie genannt seien: Oberingenieur O. Krause, der die örtliche Bauleitung mit gewohnter Umsicht besorgte, während für das Bauprojekt die Herren SBB-Obering. H. Eggenberger und NOK-Direktor A. Zwygart verantwortlich zeichnen. Wie schon bemerkt, hat die Idee des Etzelwerkes vom ersten Auftreten der Initianten bis zur Ausführung in ihren Grundzügen keine wesentliche Umgestaltung erfahren, wenn auch im Einzelnen alle Errungenschaften der Bautechnik verwertet wurden. Die wichtigste Entwicklung gegenüber dem Projekt Kürsteiner-M.F.O. zeigt sich wohl im Maschinenhaus bei Altendorf: das erste Projekt (1898) sah 20 Turbinen von je 3300 PS vor, die Ausführung zeigt (bei einer Jahresleistung von

<sup>1)</sup> «SBZ» Bd. 33, S. 129\*, 1899 (wo auch das von Locher & Cie. damals projektierte Wäggital-Werk beschrieben ist); genauer mit Karte 1:40 000 in Bd. 44, S. 161\*, 1904.





resultierenden Kraft und das Drehmoment auf die Schaufel ermitteln, was beispielsweise für die Lage des Schaufel-Drehzapfens mit Rücksicht auf Regulierkräfte für den Konstrukteur wichtig ist. Solche Messungen dürften in Zukunft auch wesentlich zur Klärung der heute noch weitgehend unbekannten Fragen der Gittereinflüsse von Tragflügelprofilen bei Turbomaschinen beitragen.

Der nun messbare Druck auf der rotierenden Schaufel unter den verschiedensten Betriebsbedingungen bietet uns ferner ein Mittel, um in der wichtigen Frage der Kavitationsverhältnisse auf neuen Wegen weiterzukommen. In den gebräuchlichen hydraulischen ND-Modellversuchsständen, wo man meist nur mit wenigen Metern Gefälle arbeitet, tritt keine Kavitation auf, weil die Geschwindigkeiten auf der Schaufel noch klein sind. Der hydraulische ND-Versuchsstand bietet also auch in dieser Beziehung gegenüber dem Luftstand nicht mehr. Für die Kavitationsuntersuchung wurden in bekannter Weise Modellräder gesondert unter vergrössertem Gefälle und mit entsprechend hohen Geschwindigkeiten geprüft.

Der Luftversuch mit Druckmessung kann nun Kavitationsversuche bis zu einem gewissen Mass ersetzen. Der Druckverlauf in der wirklichen Turbine ist ja genau ähnlich demjenigen im Lufrad unter gleichen Betriebsbedingungen, d. h. ähnlichen Geschwindigkeitsplänen. Aus dem Luftmodellversuch lässt sich durch Umrechnung mittels den entsprechenden spez. Gewichten von Luft und Wasser der absolute Wasserdruck der Ausführung errechnen. Liegt dieser unter dem Verdampfungsdruck des Wassers, so würde dann an jenen Stellen Kavitation auftreten. Während bei Luftbetrieb die Unterdrücke unbegrenzt sind, setzt der Verdampfungsdruck bei der Turbinenschaufel mit Wasserbetrieb dem Druckverlauf eine untere Grenze und schneidet die tiefsten Unterdruckspitzen im gemessenen Luftdruckverlauf ab. Die Druckverhältnisse sind seinerzeit von Ackeret dargestellt worden<sup>8)</sup>. Der minimale Druck auf der Saugseite eines Kaplan-turbinenlaufrades kann dargestellt werden als

$$H_{\min} = B - H_s - \eta_s K_{cm}^2 H - \lambda K w_2^2 H \quad . \quad (26)$$

( $B$  = Barometerhöhe,  $H_s$  = statisches Sauggefälle,  $H$  = Totalgefälle,  $\eta_s$  = Saugrohr-Wirkungsgrad,  $\lambda$  = Mass für örtlichen Unterdruck an der Schaufel in Vielfachen des Staudruckes  $\frac{\rho}{2} w_2^2$ ). Schlimmstenfalls darf  $H_{\min} \geq 0$  werden, woraus sich die Bedingungen für die Thoma'sche Kennzahl  $\sigma^*$  der Kavitation ergibt

$$\sigma^* = \frac{B - H_s}{H} = \eta_s K_{cm}^2 + \lambda K w_2^2 \quad . \quad (27)$$

<sup>8)</sup> J. Ackeret: Das höchstzulässige Sauggefälle von Wasserturbinen. «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 91, S. 135 (17. März 1928).

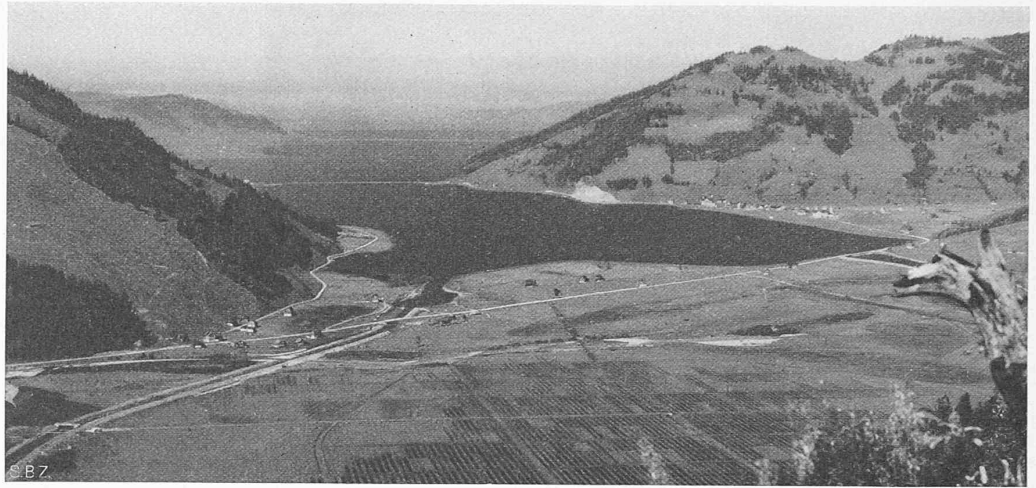


Abb. 1. Blick vom hintern Ende des voll aufgestauten Sihlsees gegen Nordwesten, rechts das Dorf Eutal

$\eta_s$  und  $\lambda$  können nun in unserm Falle bei axialem Laufradaustritt aus den Druckmessungen am Luftturbinenstand direkt berechnet werden zu

$$\eta_s = \frac{p_3 - \bar{p}_2}{\frac{\rho}{2} (c_2^2 - c_3^2)}, \quad \lambda = \frac{p_{\min} - \bar{p}_2}{\frac{\rho}{2} w_2^2} \quad . \quad (28)$$

( $\bar{p}_2$  = mittlerer statischer Druck am Saugrohereintritt,  $p_3$  = statischer Druck im Ausgleichbehälter,  $p_{\min}$  = tiefster statischer Druck auf Schaufeloberfläche,  $w_2$  = relative Austrittsgeschwindigkeit aus Laufrad).

Greifen wir beispielsweise die der Abb. 11 zu Grunde liegenden Messungen bei einer Leitradstellung  $\beta_0 = 55^\circ$  und  $K_u = 1,75$  heraus. Das totale Gefälle war  $H = 57$  mm WS,  $\bar{p}_2 = -64,4$  mm WS. Aus dem gemessenen Durchflussvolumen  $Q$  ergab sich  $c_m = 12,2$  m/sec. Daraus folgt nach Gleichung (17)  $K_{cm} = 0,4$ . Der Saugrohrwirkungsgrad wurde gemessen zu  $\eta_s = 0,82$ . Mit der mittels Staurohr nach Grösse und Richtung gemessenen Austrittsgeschwindigkeit  $C_2$  lässt sich aus dem Geschwindigkeitsdreieck  $w_2$  berechnen zu  $w_2 = 42,4$  m/sec.  $K_{w_2} = 1,38$ ,  $\frac{\rho}{2} w_2^2 = 108$  mm WS.  $p_{\min}$  nach Abb. 11 war  $-83$  mm WS, damit  $\lambda = \frac{83 - 64,4}{108} = 0,122$ . Aus diesen Daten ergibt sich  $\sigma^*$  nach Gleichung (27) zu  $\sigma^* = 0,82 \cdot 0,16 + 0,172 \cdot 1,90 = 0,131 + 0,327 = 0,458$ .

Bei diesem  $\sigma^*$  ist also in dem untersuchten Mittelschnitt der Beginn der Kavitation zu erwarten. Man sieht, dass der zweite Summand, also der örtlich grösste Unterdruck, den  $\sigma^*$ -Wert in diesem Falle entscheidend beeinflusst. Durch Verkleinerung von  $\lambda$ , d. h. durch Vermeidung aller Unterdruckspitzen, kann man kavitationssicherere Schaufeln erhalten. Der Luftversuch ermöglicht es, den Einfluss von Formänderungen der Schaufel auf jene schädlichen Unterdrücke direkt zu messen und so im voraus ohne eigentliche Kavitationsversuche günstige Profile zu entwickeln.

Für den Turbinenentwurf ist neben der Druckverteilung auf dem Laufrad auch die Kenntnis der genauen Ein- und Austritts-

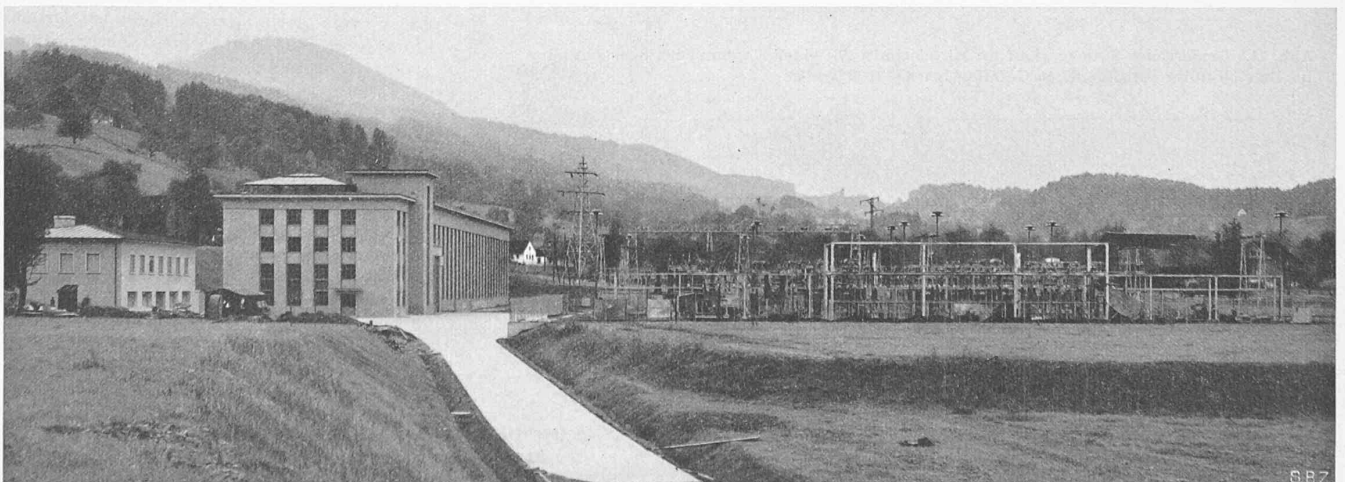


Abb. 4. Maschinenhaus mit Freiluft-Transformatoranlage von 10 kV auf 16 u. 66 (SBB) und 150 kV (NOK)

Photos von W. Marthaler, Einsiedeln