

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 109/110 (1937)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Ueber Druckverluste in Hochdruck-Wasserkraftanlagen  
**Autor:** G.M. / Jegher, Ch.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-48975>

### **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:** 05.04.2026

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

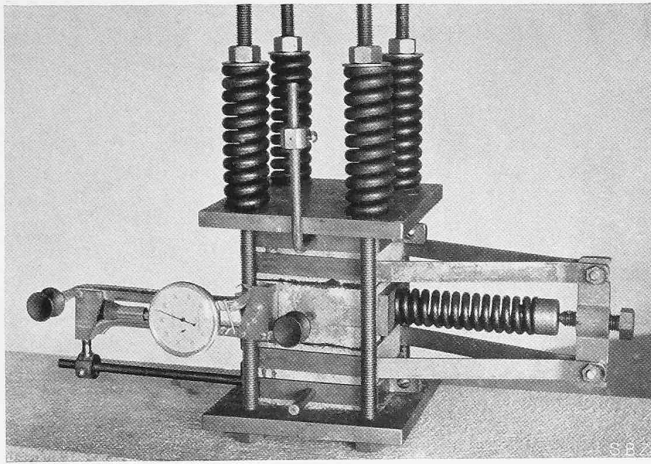


Abb. 4. Ansicht der Versuchs-Einrichtung.

bereiches der Gleitgeschwindigkeit durch folgenden Ansatz formulieren lässt:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\tau}{\sigma} = \alpha + \beta \cdot \ln \lambda \quad \dots \dots \dots (3)$$

Darin bedeuten:

$\tau, \sigma$  = Scher-, bzw. Normalspannung in der Gleitfläche,  
 $\alpha, \beta$  = Konstante (abhängig von Material, Normalspannung, Temperatur),

$$\lambda = \frac{v}{v_1} + e^{-\frac{\alpha}{\beta}} = \text{Geschwindigkeitsmass}$$

$v$  = effekt. Gleitgeschwindigkeit in  $10^{-3}$  mm/min  
 $v_1$  = Vergleichsgeschwindigkeit =  $1 \cdot 10^{-3}$  mm/min

Gl. 3 erfüllt die Bedingung, dass für  $v = 0$  auch  $\operatorname{tg} \varphi = 0$  sein wird.

Trägt man gemäss Abb. 8 das Geschwindigkeitsmass  $\lambda$  im logarithmischen Masstab auf, so lässt sich Gl. 3 durch eine Gerade vom Ordinatenabschnitt  $\alpha$  und dem Neigungsmass  $\beta$  darstellen.

Wesentlich für die praktische Anwendung ist, dass der Reibungswiderstand für gegebene Fugenausbildung, Normalspannung und Temperatur mit wachsender Gleitgeschwindigkeit nach einem bestimmten Gesetz zunimmt, für die tatsächlich vorkommenden kleinen Gleitgeschwindigkeiten jedoch stets in sehr mässigen Grenzen bleibt.

Die Ergebnisse der Versuche über die Abhängigkeit der innern Reibung von der Normalspannung bei gegebener konstanter Gleitgeschwindigkeit ( $v = 5$  mm in 24 Std.) und Temperatur sind in Abb. 9 dargestellt. Es zeigt sich, dass in diesem speziellen Fall das Coulomb'sche Reibungsgesetz zu Recht besteht, d. h. dass gilt:

$$\tau = c + \mu \cdot \sigma \quad \dots \dots \dots (4)$$

worin bedeuten:

$c$  = Kohäsion (spez. Scherwiderstand für  $\sigma = 0$ )  
 $\mu$  = Neigungsmass der Coulomb'schen Geraden.

Für ein und dieselbe Fugenausbildung und eine gegebene Temperatur sind  $c$  und  $\mu$  als Parameter, die den Einfluss der Gleitgeschwindigkeit zum Ausdruck bringen, zu betrachten.

Aus Gleichung 4 folgt:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\tau}{\sigma} = \frac{c}{\sigma} + \mu \quad \dots \dots \dots (5)$$

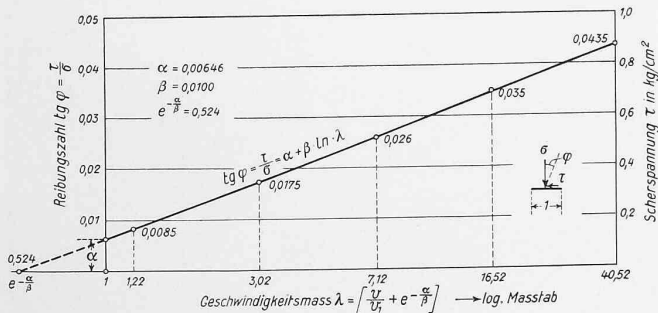


Abb. 8. Beziehungen zwischen Reibungszahl  $\operatorname{tg} \varphi$  und Gleitgeschwindigkeit  $v$  für  $\sigma = 20$  kg/cm<sup>2</sup> und Temperatur  $t = 18^\circ$  C.

Aus Gleichung 5 ist ersichtlich, dass die Reibungszahl  $\operatorname{tg} \varphi$  mit zunehmender Normalspannung  $\sigma$  rasch abnimmt, um sich einem unteren Grenzwert ( $\mu$ ) zu nähern.

Im Verlauf der Versuche wurde festgestellt, dass mehrmaliges und entgegengesetzt gerichtetes Verschieben der Prüfkörper auf die Reibungsverhältnisse ohne Einfluss war. Am Gleitvorgang ist die Asbesteinlage nicht beteiligt; dieser geht zwischen der Einlage und der Betonfläche vor sich.

Ueber den Einfluss tiefer Temperaturen, die sich im Sinne einer Erhöhung des Reibungswiderstandes im Fugenmaterial auswirken, orientiert Abb. 7. Die Versuche ergaben bei einer Temperatur von rd.  $0^\circ$  (gleichbleibende Normalspannung  $\sigma = 20$  kg/cm<sup>2</sup> vorausgesetzt) etwa doppelt so grosse Reibungswerte wie bei einer Temperatur von  $18^\circ$ .

Die Möglichkeit einer Anpassung der physikalischen Eigenschaften des Fugenmaterials an die jeweils vorliegenden Beanspruchungen gestattet, den verschiedenartigen Anforderungen der Praxis weitgehend zu entsprechen.

**Schlussfolgerungen**

Die oben beschriebenen Resultate zeigen, dass der Versuch zur Herstellung von druckbeanspruchten Gleitfugen als gelungen zu betrachten ist. Das untersuchte Fugenmaterial vereint die geforderte Eigenschaft einer geringen Zusammendrückbarkeit mit der Bedingung eines sehr kleinen Gleitwiderstandes für kleine Geschwindigkeiten.

Die festgestellte Abhängigkeit der innern Reibung des Fugenmaterials von der Gleitgeschwindigkeit bei konstanter Normalspannung einerseits und von der Normalspannung bei gleichbleibender Gleitgeschwindigkeit andererseits ist von allgemeiner Bedeutung.

Die Anordnung von auf Druck beanspruchbaren Gleitfugen, die bei Verwendung einer ihrem Zweck angepassten Gleitmasse grundsätzlich möglich ist, ergibt neue und technisch interessante Richtlinien für die Lösung verschiedener konstruktiver Probleme des Beton- und Eisenbetonbaues.

**Ueber Druckverluste in Hochdruck-Wasserkraftanlagen**

Ing. G. Mathys, Basel, hat im «Bulletin technique de la Suisse romande» vom 25. April und 9. Mai 1936 einen Aufsatz veröffentlicht, dem wir folgendes entnehmen. Beim Projektieren eines Hochdruckkraftwerkes wird dem Wirkungsgrad der Wasserzu- und Ableitungsorgane meist bedeutend weniger Gewicht beigemessen als dem Wirkungsgrad der Maschinen. Es hat dies seinen Grund darin, dass der Bauingenieur selten in die Lage kommt, eine ununterbrochene Reihe von Wasserkraftanlagen bis in alle Einzelheiten zu bearbeiten und auszuführen, wie dies etwa beim Turbinenbauer der Fall ist. Dann sind die Zuleitungsorgane der Wasserkraftanlagen viel mannigfaltiger zusammengestellt als die Teile einer Maschine, und die Wirkungsgrade, bzw. die Reibungsverluste ihrer einzelnen Teile sind noch wenig bekannt. Doch schon allein der Umstand, dass für die modernen schweizerischen Anlagen dieser Wirkungsgrad etwa zwischen 80 und 95 % schwankt, lässt Fortschritte möglich erscheinen. Der Druckverlust der Hauptzuleitungsorgane kann schon allein durch Beachtung folgender Punkte vermindert werden:

**Druckleitung.** 1. Möglichst geradlinige Führung der Druckleitung gegen das Maschinenhaus zu. Zwar befürworten noch viele Ingenieure eine seitliche Anordnung der Druckleitung, aber mehrere Rohrbrüche der letzten Jahre haben bewiesen, dass die Terraingestaltung, die Lage der Bruchstelle und die Art, wie das Wasser aus der Druckleitung austritt, die Richtung des abfliessenden Wassers viel eher bestimmen, als die Lage der Druck-

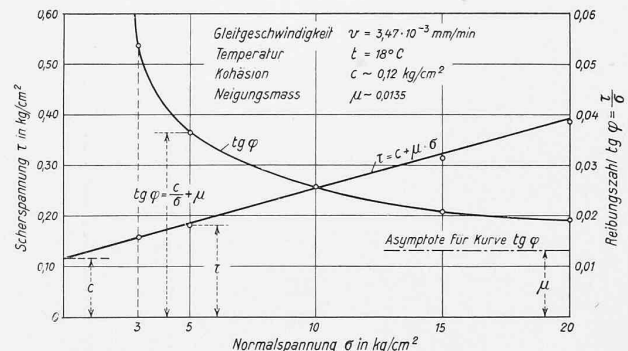


Abb. 9. Beziehungen zwischen Scherspannung  $\tau$ , bzw. Reibungszahl  $\operatorname{tg} \varphi$  u. Normalspannung  $\sigma$  für  $t$  konst. u. gegebene Gleitgeschwindigkeit.

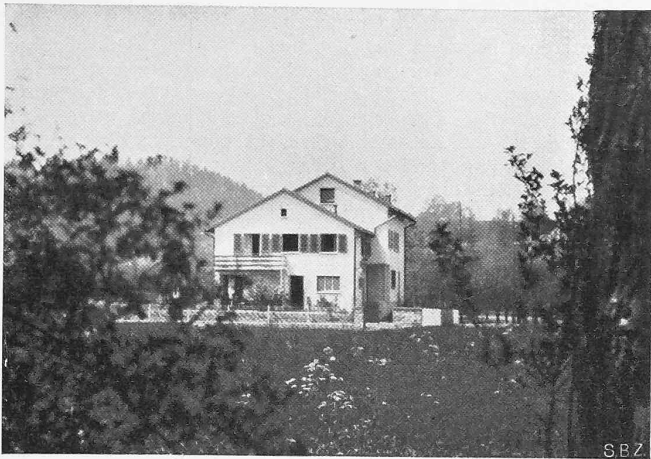


Abb. 1. Doppelwohnhaus in Burgdorf, aus Osten.



Abb. 2. Aus Südwest; rechts im Hintergrund das Schloss.

leitung selbst. 2. Möglichst geringe Anzahl Druckleitungen, da bei gleichem Gesamtleitungsgewicht der Druckverlust von  $n$  Leitungen sich gegenüber demjenigen einer einzigen Leitung wie  $n^{2/3} : 1$  verhält. Es soll in Deutschland möglichst sein, glatte Druckleitungen mit 70 mm starken Wandungen herzustellen, deren Preis rd. 50 % niedriger steht als der von entsprechenden bandagierten Leitungen. 3. Verwendung ganz geschweisster anstatt genieteteter Leitungen. Trotz der hier wiederholt erwähnten grosszügig angelegten Messungen an italienischen Druckleitungen<sup>1)</sup> sind die Abflusszahlen solcher Leitungen zwar noch wenig bekannt, aber es besteht kein Zweifel darüber, dass sie bedeutend günstiger sind als die genieteteter Leitungen. 4. Verwendung von Röhren aus Spezialstahl mit besonders günstigem Abflusskoeffizienten, der durch das Altern nicht verschlechtert würde.

**Zuleitungsstollen.** 1. Möglichst geradlinige Stollenführung in genügender Tiefe. 2. Anlage eines Druckstollens anstatt eines Freilaufstollens überall, wo dies möglich ist. Beim Druckstollen läuft das Profil stets voll, der Gesamtdruckverlust  $J = l v^2 k^2 R^{4/3}$  ist bei schwacher Wasserführung äusserst gering. 3. Anwendung kreisrunder Profile, die vom hydraulischen Standpunkt aus bedeutend vorteilhafter sind als anders geformte. 4. Ausbildung möglichst glatter Stollenwände. Man kennt die Abflusskoeffizienten der Stollen noch ungenügend, vor allem weiss man nicht genau, welches die Eigenschaften eines Zementverputzes sein müssen, um die günstigste Abflusszahl zu erzielen. Es wurde dies im «Bulletin technique» an Hand von zwei Tabellen, eine aus Messungen an älteren Schweizerstollen und eine aus den Ergebnissen der erwähnten italienischen Messungen, gezeigt. Unter einer grösseren Anzahl kreisrunder Stollen von 2,50 m bis 3,60 m Durchmesser mit Betonverkleidung und Glattnstrich sind für das  $k$  der Strickler'schen Formel mittlere Werte von 72 bis 109 gemessen worden, während der unverputzte Piottinostollen 76,8 aufweist.

Eine viel bessere Kenntnis der Abflusszahlen, als wir sie zur Zeit besitzen, zu gewinnen, dürfte eine der Hauptaufgaben der kürzlich auf die Initiative des S.I.A. hin ins Leben gerufenen *Druckstoss- und Druckverlust-Untersuchungskommission* sein.

<sup>1)</sup> Vergl. «SBZ» Bd. 108, S. 150; Bd. 105, S. 163.

G. M.

Ing. L. Du Bois bringt in der gleichen Zeitschrift vom 1. August einige Bemerkungen, die als Ergänzungen des Aufsatzes von Mathys betrachtet werden können. Du Bois hatte Gelegenheit, die Druckverluste in der Usine du Day zu messen. Es ergaben sich für den Beiwert der Formel von Strickler für  $v = 1$  m/sec  $K = 70$ , für  $v = 4$  m/sec  $K = 90$ . Weiter erwähnt Dubois die Versuche von Aug. Bouchayer und jene von Prof. Thoma über Verluste in Rohrabzweigungen. Eine leicht durchführbare Berechnung zeigt, dass die Leistung einer Zentrale dann am grössten ist, wenn die Summe aller Verluste in der Druckleitung ein Drittel des gesamten Bruttogefälles ausmacht (gleichgültig welche Formel für die Verluste gebraucht wird). Jedoch wäre dann die Turbinenregulierung unstabil; die Gefällsverluste müssen dementsprechend weniger als 20 % des Bruttogefälles ausmachen. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung ergibt meistens, dass kleinere Verluste zu wählen sind. In einem von Du Bois angegebenen Berechnungsbeispiel (Usine de Sembrancher) zeigte sich, dass für 6 m<sup>3</sup>/sec Wasserdurchfluss Gefällsverluste von 6,88 % des Bruttogefälles wirtschaftlich waren. Dieser Wert liegt demjenigen von Mathys sehr nahe. Du Bois ist weiter der Ansicht, dass in allen Fällen die Leitungen so anzuordnen sind, dass die Bruchgefahr ein Minimum wird.

Ch. Jg.

## Ein Doppelwohnhaus in Burgdorf

Arch. PETER SALCHLI, Burgdorf

**Programm.** Die Bauherrin wünschte für sich und ihre Tochter ein Zweifamilienhaus mit 4 Zimmern für die Mutter und 8 Zimmern für die verheiratete Tochter. Der Garten war für gemeinsame Benützung anzulegen, ebenso die Heizung und die Waschküche. Grundbedingung war die Möglichkeit einer späteren vollständigen Trennung der beiden Wohnungen und Gärten ohne wesentliche bauliche Veränderung.

Aus der Bauaufgabe mit den ungleichen Ansprüchen hat sich ergeben, dass eine Anordnung der beiden Wohnungen nebeneinander zur befriedigendsten Lösung führte, was sowohl im Grundriss, wie auch in der äusseren Gestaltung zum Ausdruck kommt.



Abb. 3. Westliche Sitznische des Tochterhauses.



Abb. 4. Halbüberdeckter Sitzplatz am Haus der Mutter.