Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 77 (1959)
Heft: 29

Artikel: Grundsätzliches zu Modellversuchen an hydraulischen Maschinen
Autor: Rütschi, K.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-84285

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: 13.07.2025

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

Jakobshavngletscher (Bild 5) die Grösse eines km³ erreichen kann, auf die Seite, indem er gegen den Gletscher zu kippt. Das Meer gerät dabei derart in Aufruhr, dass die gefährlichen Kalbungswellen, die den ganzen, ca. 40 km langen Fjord durcheilen, eine Anfangshöhe bis rd. 30 m aufweisen.

Man kann sich die Mechanik einer solchen Kalbung etwa so erklären, dass der auf einer schiefen Ebene (Felssohle) ins Meer gleitende Gletscher von z. B. 800 bis 900 m Eismächtigkeit in der Nähe der Front einen Auftrieb erfährt, der schliesslich grösser wird als das Eigengewicht der betreffenden Eismasse. Durch die nach oben wirkende Resultierende wird die Gletscherzunge, die den Kontakt mit dem Felsuntergrund verliert, auf Biegung beansprucht. Beim Bruch stürzt das Wasser von unter her in die an der Gletschersohle sich öffnende, nach oben verjüngende Spalte. Die lebendige Kraft der in die Spalte mit grosser Beschleunigung einströmenden Wassermassen erzeugt unter der drosselnden Wirkung der als Düse wirksamen Spaltenöffnung die oben erwähnte Fontäne — ein Vorgang, der einem «coup de Belier» vergleichbar ist.

IV. Schlussbemerkung

Die Idee einer gemeinsamen Expedition darf sich nicht mit dem Ziel einer internationalen Zusammenarbeit auf lange Sicht und auf breiter Basis begnügen. Wichtiger noch als die Entwicklung in der Horizontalen ist die in der Vertikalen. Hier geht es um jene Vertiefung der Naturbetrachtung, die im Erlebnis der in der Natur offenbarten Schöpfungsgedanken wurzelt, und welche uns immer von neuem dazu auffordert, die von den Fachwissenschaften beleuchteten Teilaspekte des zu erforschenden Objektes im Rahmen einer übergeordneten organischen Ganzheit zu sehen. Diese Teilaspekte sind etwa den sieben Spektralfarben, die Goethe als die «Taten und Leiden des Lichtes» bezeichnet hat, zu vergleichen.

Ein offenkundiger Mangel des wissenschaftlichen Programmes der E.G.I.G. besteht zweifellos darin, dass gerade die Geologie, in der doch die Glaziologie beheimatet ist, zu kurz kommt, indem auf die so wichtige Mitarbeit des Glazialgeologen und auf die Erforschung des Periglazials verzichtet werden musste, weil sich Dänemark aus begreiflichen Gründen diese Aufgabe vorbehält.

Abschliessend darf gesagt werden, dass bei denjenigen Stellen, welche durch die Beschaffung der Kredite die Verwirklichung der Expedition ermöglichten und denen wir an dieser Stelle unsern Dank aussprechen möchten, die Sorge um den glaziologischen Nachwuchs im Vordergrund stand, wobei es sich sowohl um Naturwissenschafter, wie um junge, in die Schneekunde und die Glaziologie einzuführende Ingenieure handelt.

Die sehr enge Verbindung zwischen Naturbeobachtung, Experiment in situ, Laborversuch und Theorie, die in der modernen Glaziologie (ähnlich wie in der Schnee-, Boden- und Felsmechanik) immer mehr an «Boden» gewinnt, erstrebt eine Schulung, welche das Vorstellungsvermögen und das vielfach noch in allzu starren Bahnen gefangene Denken des jungen Technikers durch das Erleben des Begriffes «Metamorphose» plastischer, lebendiger und damit wirklichkeitsnäher zu gestalten versucht. Auch der von Prof. P. Niggli gegebene lapidare Hinweis, dass die Verformung des polykristalinen Eises (bei den im Gletscher vorherrschenden Temperaturen in der Nähe des Schmelzpunktes) der Warmverformung der Metalle zu vergleichen sei, birgt Entwicklungsmöglichkeiten in sich, die nicht nur den Glaziologen, sondern ebensosehr den Metallurgen wie auch den Geologen, Mineralogen und Tektoniker interessieren.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *R. Haefeli*, Ing., Susenbergstrasse 193, Zürich 44.

Literatur

[1] Expédition glaciologique Internationale au Groenland. «Bulletin d'Information de l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique (A. I. H. S.)» No. 2, 1956. Organisation de l'E. G. I. G. «Bulletin de l'A. I. H. S.» No. 6, 1957.

[2] *R. Haefeli:* Internationale glaziologische Grönlandexpedition. Wissenschaftliche Ziele. «Bulletin d'Information A. I. H. S.» No. 2, 1956.

[3] *R. Finsterwalder:* Polarforschung und Int. Glaziologische Grönlandexpedition 1957—60. Bayrische Akademie der Wissenschaften, Sonderdruck 5 (1958).

[4] *W. Hofmann:* Die Internationale Glaziologische Grönlandexpedition 1959/60. Vorbereitung und Erkundungen. «Naturwissenschaftliche Rundschau», Mai 1958.

[5] *W. Hofmann:* Bestimmung der Gletschergeschwindigkeiten aus Luftbildern. «Bildmessung und Luftbildwesen» H. 9, 1958.

[6] *R. Finsterwalder:* Measurement of Ice Velocity by Air Photogrammetry. Int. Association of Scientific Hydrology, Symposium of Chamonix. 16—24 Sept. 1958.

[7] *H. Lichte:* Geodätische Messungen auf dem grönländischen Inlandeis. «Zeitschrift für Vermessungswesen» 1957, S. 46.

[8] *W. Hofmann:* Lagemessungen bei der Int. Grönlandexpedition 1959. «Z. f. Vermessungswesen», S. 216, 1958.
Derselbe: Die freie Diagonalen-Viereckkette mit direkt gemessenen Strecken. «Z. f. Vermessungswesen» H. 9, 1958.

[9] *R. Haefeli* und *F. Brentani:* Observations in a cold ice cap. Journal of Glaciology», Vol. 2. No. 18 and 19 (1955/56). (VAWE-Mitt. No. 37).

[10] *R. Haefeli:* Le projet de la participation de la Suisse à l'Expédition glaciologique Int. au Groenland. «La Suisse Horlogère» No. 20 (1957).

[11] *A. Renaud:* La participation de la Suisse à l'Expédition glaciologique internationale (E. G. I. G.) 1957—61.

[12] *J. W. Glen:* Experiments on the deformation of Ice. Journal of Glaciology Vol. 2, 1952, No. 12, p. 111—114.

[13] *S. Steinemann:* Experimentelle Untersuchungen zur Plastizität von Eis. Promotionsarbeit ETH Zürich 1958.

[14] *B. Philbert:* Beseitigung radioaktiver Abfallsubstanzen. «Atomkern-Energie», H. 11/12, 1956.

[15] *H. Schlichtung,* Grenzschichttheorie (Auflage 1958).

[16] *H. S. Hele-Shaw:* Investigation of the nature of the surface resistance of water and of stream-line motion. Transaction of the Institution of Naval Engineers. 1898, p. 21.

[17] *R. Haefeli:* Creep Problems in Sools, Snow and Ice. Proceedings of the Third Int. Coeference on soil mechanics and foundation Enginearing 1953. Vol. III (VAWE-Mitt. No. 31).

[18] *P. Kasser:* Programm für Ablationsmessungen in Grönland anlässlich der E. G. I. G. «Bulletin d'Information de l'Association Int. d'Hydrologie Scientifique» No. 2, 1956.

[19] *G. de Q. Robin:* Ice movement and temperature distribution in glaciers and ice sheets. «Journal of Glaciology» Vol. 2, No. 18, 1955, p. 523—32.

[20] *R. Haefeli:* Gletscherschwankung und Gletscherbewegung. SBZ No. 42 (1955) und No. 44 (1956), (VAWE-Mitt. No. 40).

[21] *J. Georgi:* Im Eis vergraben. Erlebnisse auf Station «Eismitte» der letzten Grönlandexpedition Alfred Wegeners (1957).

[22] *E. Sorge:* Mit Flugzeug, Faltboot usw. in den Eisfjorden Grönlands. 1933.

[23] *A. Weidick:* Glacial variations in West Greenland in historical time. Part I, Southwest Greenland Meddelser om Gronland Bd. 144, No. 4, 1959.

[24] *H. Bader:* Sorge's Law of densification of snow on high Polar glaciers. «The journal of Glaciology», 1954, No. 15, p. 319—323.

Grundsätzliches zu Modellversuchen an hydraulischen Maschinen

DK 621.242.0015

Von Dr. h. c. **K. Rütschi**, Brugg

Anlässlich der Diskussionsversammlung vom 13. Febr. 1959 an der ETH in Zürich über Modellversuche an hydraulischen Maschinen zeigte sich erneut, dass die Meinungen über die Frage nach einer geeigneten Aufwertungsformel noch stark auseinandergehen. Je nach Grösse der verwendeten Modellräder benützen die Turbinenbauer z. T. eigene Formeln, die zur Hauptsache zwischen der von *Ackeret*

$$\frac{1-\eta}{1-\eta_v} = 0{,}5 + 0{,}5\left(\frac{Re_v}{Re}\right)^{0{,}2} \quad ^{1)}$$

und der von *Moody*

[1]) Zu fast gleichen Ergebnissen kommt man mit der früheren *Pfleiderer*-Formel $\frac{1-\eta}{1-\eta_v} = \left(\frac{Re_v}{Re}\right)^{0{,}1}$

$$\frac{1-\eta}{1-\eta_v} = \left(\frac{D_v}{D}\right)^{0,25} \quad ^{2)}$$

liegen. (Der Index v bezieht sich auf das Versuchsmodell.) Welche Abweichungen sich bei diesen Aufwertungsformeln ergeben können, sei am Beispiel der Turbinen-Abnahmeversuche am Innkraftwerk Simbach-Braunau [3]) erwähnt. Der Wirkungsgrad der Modellturbine betrug 90,1 %, derjenige der Grossausführung 92,3 %, wogegen die Aufwertung nach *Ackeret* sich zu 91,7, diejenige nach *Moody* zu 94,6 % berechnet.

Man strebt nun im Turbinenbau an, für die Modellmaschinen einheitliche Abmessungen zu wählen und diese bei begrenzten Gefällen zu prüfen. Hiebei ist es im Wettbewerb fast gleichgültig, welche Aufwertungsformel hernach für die Umrechnung auf die Grossausführung vorgeschrieben wird, es muss nur für alle Bewerber die gleiche sein. Man hat sich denn auch in den Gesprächen in Zürich gefragt, ob es nicht besser sei, problematische Aufwertungen überhaupt beiseite zu lassen und bei Grossturbinenausschreibungen für sämtliche Bewerber ganz einfach eine einheitliche Modellturbinengrösse und Gefällshöhe (u. U. auch die Rauhigkeit des Modells) vorzuschreiben, wobei dann am Modell die Wirkungsgradgarantien nachzuweisen wären. Wer die besten Modellwirkungsgrade erreicht, bietet am sichersten Gewähr dafür, auch entsprechend bessere Grossausführungs-Wirkungsgrade zu erhalten.

Obschon diese Lösung in der Praxis absolut vertretbar ist und wirklich einwandfreie Vergleichsmöglichkeiten über die Wirkungsgradhöhe eines Fabrikates ergibt, geht sie doch am Wesen der Wirkungsgradaufwertung vorbei. Es wäre deshalb wertvoll, wenn die Turbinenkonstrukteure auch die Untersuchungen verwandter Arbeitsgebiete, z. B. des Pumpenbaues, berücksichtigen würden, um so mehr als der Turbinenbau bezüglich der für Aufwertungsformeln notwendigen Reihenuntersuchungen benachteiligt ist.

Im Gegensatz zum Pumpenbau, wo auf dem Werkprüfstand [4]) jede beliebige Maschine bis zu Grössen von 500 bis 1000 PS mit den tatsächlichen Betriebsdaten geprüft werden kann, ist dies im Turbinenbau in gleichem Masse nicht möglich, weil ja für jedes Volumen und jedes Gefälle zuerst eine besondere Pumpe zur Erzeugung der verlangten Betriebsverhältnisse notwendig wäre. Man ist deshalb bei den Turbinenprüfständen gezwungen, sich auf bestimmte Modellgrössen einzurichten, für welche dann die Förderpumpen und Wassermesseinrichtungen ausgelegt werden müssen [5]). Man arbeitet auf diese Weise praktisch stets mit einer oder bestenfalls mit zwei Modellgrössen, verfügt damit aber nicht über die Möglichkeit, die Aufwertungsgesetze über einen grösseren Gesamtbereich nachprüfen zu können.

In Bild 1 ist der auf Grund von Reihenuntersuchungen an geometrisch ähnlichen Spiralgehäusepumpen festgestellte Wirkungsgradverlauf f über dem für hydraulische Maschinen massgeblichen Saugmund-Durchmesser D_s aufgetragen [6]). Für die Umrechnung irgend einer Grössenausführung auf eine andere muss lediglich der hydraulische Wirkungsgrad η_h um das vom Durchmesser D_s abhängige Verhältnis f/f_v verändert werden, wobei

$$\eta_h = \frac{f}{f_v}\,\eta_{hv}$$

wird. Hiebei kann f für die verschiedenen Saugmund-Durchmesser D_s ziemlich genau durch die Beziehung

$$f = 1 - \frac{2,21}{\sqrt{D_s^3}}$$

mit D_s in cm, ausgedrückt werden.

2) Nach neuesten Vorschlägen wird als Exponent 0,2 genannt.

3) Dr. ing. habil. *H. Eschler:* Turbinenabnahmeversuche am Innkraftwerk Simbach-Braunau. SBZ 1955, Nr. 31.

4) «Revue Technique Sulzer» No. 1/1942.

5) «Escher Wyss Mitteilungen» 1956, Heft 2.

6) *K. Rütschi:* Untersuchungen an Spiralgehäusepumpen verschiedener Schnelläufigkeit. «Schweizer Archiv», 17. Jahrg., 1951.

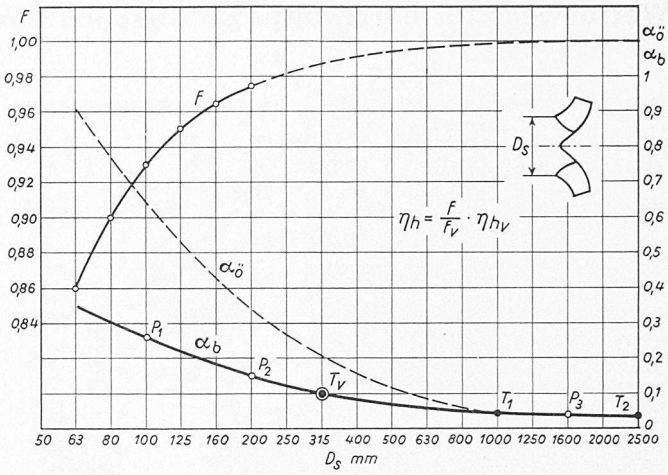

Bild 1. Wirkungsgradaufwertung in Abhängigkeit des Saugmunddurchmessers D_s

f = Aufwertungsfaktor für beliebige Saugmunddurchmesser mit Optimalwert $D_s = 2500$ mm

α_b = Aufwertungsexponent bezogen auf $D_s = 2500$ mm.

$\alpha_ö$ = örtlicher Aufwertungsexponent

T_v Modellturbine bestimmter Abmessung (z. B. $D_s = 315$ mm. T_1 und T_2 Grossturbinen beliebiger Abmessung. Bei einer stets gleichbleibenden Versuchsturbine T_v, jedoch veränderlicher Grossausführung T_1 und T_2 bedeutet ein fester Aufwertungsexponent keine grosse Fehlerquelle.

P_1, P_2, P_3 Pumpen beliebiger Abmessungen. P_1 kann Modellpumpe für P_2 oder P_3 sein, ferner kann P_2 für P_1 oder P_3 Modell sein, so dass hier der *veränderliche* Aufwertungsexponent berücksichtigt werden muss.

Wenn man für diesen auf Grund mehrerer Versuchsreihen experimentell gefundenen Verlauf des Wirkungsgrades den Exponenten der Aufwertungsformel

$$\frac{1-\eta_h}{1-\eta_{hv}} = \left(\frac{D_{sv}}{D_s}\right)^{\alpha}$$

zurückberechnet, so ergeben sich zwei verschiedene Exponenten, und zwar einen Wert α_b mit dem grössten Durchmesser $D_s = 2500$ mm als Bezugspunkt und einen Wert α_o als örtlichen Wert aus dem Anstieg von f.

In die Kurve α_b, welche für die Umrechnung auf Grossmaschinen in Frage kommt, sind die Punkte T_v für eine Versuchsturbine bestimmter Grösse und zwei beliebige Grossturbinen T_1 und T_2 eingetragen. Wird im Turbinenbau das angestrebte Ziel erreicht, wonach die Modellturbinen einheitlich oder nur schwach abweichende Abmessungen erhalten und bei wenig veränderlichem Gefälle geprüft werden sollen, so wird dadurch der Fehler einer Aufwertungsformel, welche nicht einen veränderlichen Exponenten aufweist, natürlich weitgehend korrigiert. Aus Bild 1 ist ersichtlich, dass mit einem Turbinen-Modellrad T_v von z. B. $D_s = 315$ mm, der Umrechnungsfehler bei einem unveränderlichen Exponenten vernachlässigbar klein wird, auch wenn die Grossausführungen zwischen $D_s = 1000$ bis 7000 mm schwanken, weil über den Wert 1000 mm hinaus fast keine Aufwertung mehr erfolgt.

Aehnliche Verhältnisse wie bei den Grossturbinen liegen im Pumpenbau jedoch nur bei Speicherpumpen vor. Neben diesen verhältnismässig seltenen Fällen ist aber der grosse Bereich kleinerer und mittlerer Pumpen (auch Lüfter) von so grosser Bedeutung, dass für die weitaus zahlreicheren Fälle, bei denen vorhandene Typen immer wieder als Modelle für geometrisch ähnliche Neukonstruktionen benützt werden, nur eine Aufwertungsformel verwendbar ist, welche für die Pumpen P_1, P_2 und P_3 den veränderlichen Exponenten berücksichtigt.

Man könnte nun dieser einfachen, in Bild 1 dargestellten Wirkungsgradaufwertung vorwerfen, sie berücksichtige den Einfluss der Reynoldszahl (Gefälle und kinematische Zähigkeit) nicht. Bei Turbinen und Pumpen, deren Betriebsflüssigkeit kaltes Wasser ist, kann die Veränderung der

Fortsetzung auf S. 473