Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109/110 (1937)
Heft: 23

Inhaltsverzeichnis

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: 26.08.2025

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

INHALT: Ueber die Ausnutzung des Druckabfalles beim Wärmeübergang. — Eindrücke von den Auto-Ausstellungen in Paris und London, Oktober 1937. — Der Stand der Zürcher Kantonspitalfrage. — «Diagrost» oder Kreuzeckrost-Bauweise. — Mitteilungen: Von der Diskussionsversammlung der «Elektrowirtschaft» in Solothurn. Vom Superhermit-Zwillingsfenster. Industrielle Möglichkeiten und Notwendigkeiten der Schweiz. Elektr. Schnelltriebwagen der italien. Staatsbahn. Brückeneinbau durch Verschieben der fertigen Fahrbahnplatte. Die Leuchtfontaine der Ausstellung «Schaffendes Volk». Eidg. Techn. Hochschule. Schweiz. Landesausstellung 1939. Holzbeton in USSR. Erfahrungszahlen über städtischen Schmutzwasserabfluss. — Nekrologe: Fritz Schönholzer. Eugen Zbinden. — Wettbewerbe: Gemeindeanlagen in Küsnacht (Zürich). Schulhaus an der Hochstrasse in Zürich. — Mitteilungen der Vereine. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 110 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 23

Ueber die Ausnutzung des Druckabfalles bei Wärmeübergang

Von Dr. Ing. INGVAR JUNG, Baden bei Zürich

1. Einleitung.

Die Wirtschaftlichkeit eines Wärmeaustauschers ist von einer grossen Anzahl technischer und ökonomischer Faktoren abhängig. Die Gesamtkosten setzen sich aus mehreren Teilkosten zusammen, wie Zins, Amortisations- und Bedienungskosten der Anlage, Brennstoff- und Energiekosten. Bei ähnlichen Austauschern kann man in erster Annäherung die Anlagekosten proportional der Heiz- (Kühl-) Fläche F und die Energiekosten proportional der gebrauchten Leistung L annehmen. Werden nur diese zwei Teilkosten berücksichtigt, muss

$$a F + b L = \text{Minimum} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

sein, wo a und b die spezif. Kosten der Heizfläche und der Leistung sind. Die Leistung L, die zum Transport des Heiz- (Kühl-) Mittels verbraucht wird, ist von der Heizflächenform und von der Geschwindigkeit w des Heizmediums abhängig. Die Heizfläche ist bei gegebener zu übertragender Wärmemenge Q und gegebener Temperaturdifferenz $T - T_w$ zwischen Medium und Fläche durch die Gleichung bestimmt

$$F = Q/\alpha\,(T - T_w) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

wo die Wärmeübergangszahl α von Heizflächenform und Geschwindigkeit abhängig ist. Weil L mit $w^{1,7}$ bis w^2 und α mit $w^{0,5}$ bis $w^{0,9}$ zunimmt, ist durch Gl. (1) eine gewisse wirtschaftliche Geschwindigkeit bestimmt. In der Gleichung

$$a \frac{Q}{\alpha\,(T - T_w)} + b L = \text{Minimum} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

sind die Grössen a, b, Q und $T - T_w$ gegeben, und es sind noch die Fragen zu klären:

1. Bei α = konst.: Welche Heizflächenform bietet die kleinste Transportleistung L?
2. Bei bestimmter Heizflächenform: Welche Geschwindigkeit gibt α und L solche Werte, dass Gl. (3) befriedigt wird?

Wäre α und L für jedes Medium und jede Heizflächenform als generelle Funktionen bekannt, sollte es möglich sein, die erste Frage allgemein und die zweite Frage für jeden besonderen Fall zu beantworten. Leider sind dafür unsere Kenntnisse von den Wärmeübergangs- und Strömungsvorgängen noch ungenügend. Wir müssen uns damit begnügen, nur für Gase und die allereinfachsten Flächenformen die Fragen einigermassen klären zu können. Für Flüssigkeiten und kompliziertere Flächenformen können nur Richtlinien angegeben werden.

Die Fragestellung gibt direkt Veranlassung zu folgendem Vorgehen: Erst den Zusammenhang zwischen Wärmeübergang und Strömungswiderstand allgemein zu behandeln, und dann Gleichungen für Wärmeübergang und Strömungswiderstand bei verschiedenen Heizflächenformen auf Grund bekannter Formeln und Untersuchungen aufzustellen, um zuletzt die Heizflächenformen inbezug auf die Transportleistung zu vergleichen.

2. Die Gleichung von Prandtl.

Bei turbulenter Strömung geschehen der Impulsaustausch und der Wärmeaustausch hauptsächlich durch die molare Turbulenz, der Austausch durch Zähigkeit und Wärmeleitung kann im turbulenten Kernstrom vernachlässigt werden; in der laminaren Grenzschicht langen Flüssigkeitsteile an, die einen Anteil ihrer Bewegungsgrösse und ihres Wärmeinhaltes abgeben. Jedes Teilchen hat ein Gewicht dG' in kg, einen Wärmeinhalt I in kcal/kg und eine Geschwindigkeit u in m/sec. Das Teilchen wird beim Kontakt mit dem äussersten Teil der Laminarschicht auf I' und w' abgekühlt und abgebremst. An die Laminarschicht wird eine mechanische Energiemenge in mkg

$$d L = d G' (u - w')\, u/g \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

und eine Wärmemenge in kcal

$$d Q = d G' (I - I') \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

abgegeben.

Jetzt langen eine grosse Anzahl solcher Teilchen pro Zeiteinheit in der laminaren Grenzschicht an, die eine mittlere wirksame Geschwindigkeit u_m und einen mittleren Wärmeinhalt I_m besitzen. Ist G' in kg/sec die Flüssigkeitsmenge, die pro Zeiteinheit an der Grenzschicht ankommt, so wird die übertragene mechanische Leistung

$$L = G' (u_m - w')\, u_m/g \text{ in mkg/sec} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

und die Wärmeleistung

$$Q = G' (I_m - I') \text{ in kcal/sec.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Macht man nach Prandtl die Annahme, dass die in der Laminarschicht dazukommende mechanische Energiemenge gegenüber L vernachlässigt werden kann, so stellt L annähernd die gesamte mechanische Verlust-Energiemenge dar. Der Wärmeinhaltsabfall in der Laminarschicht ist

$$I' - I_w = \frac{\delta_g\, c_{pg}\, Q}{\lambda_g\, F} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

wo δ_g in m die Dicke der laminaren Grenzschicht, c_{pg} in kcal pro kg ° die spezifische Wärme und λ_g in kcal/m ° sec das Wärmeleitvermögen der Flüssigkeit in der Laminarschicht und F die Oberfläche ist. Zwischen der Reibungskraft $W = L/u_m$ in kg und der Schichtdicke δ_g besteht der Zusammenhang:

$$W = \eta_g\, u'\, F/\delta_g \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

wo η_g in kgsec/m² die Zähigkeit in der Laminarschicht ist. Die Gl. (8) ist also zu vereinfachen in

$$I' - I_w = \frac{c_{pg}\, \eta_g\, g}{\lambda_g} \frac{w'\, u_m}{g} \frac{Q}{L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

wo $c_{pg}\, \eta_g\, g/\lambda_g$ die Prandtlsche Zahl Pr_g in der Laminarschicht ist. Aus den Gl. (6) und (7) kann Q/L gelöst werden

$$Q/L = \frac{(I_m - I_w)\, g}{(u_m - w')\, u_m + Pr_g\, w'\, u_m} \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Hier ist es nicht möglich I_m, u_m und w' rechnerisch zu bestimmen. Ist $\overline{w}$ eine scharf definierbare mittlere Geschwindigkeit und $\overline{I}$ ein ebenso scharfer Mittelwert des Wärmeinhaltes, erhalten wir mit den Grössen

$$I_m - I_w = \varkappa\,(\overline{I} - I_w) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

$$u_m = \psi\, \overline{w} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

$$w' = \varphi\, \overline{w} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

die Formulierung

$$Q/L = \frac{(\overline{I} - I_w)\, g}{\overline{w}^2} \cdot \frac{\varkappa}{\psi\,[\psi + \varphi\,(Pr_g - 1)]} \quad . \quad . \quad (15)$$

Weil Prandtl die Wärmeleitung und die Zähigkeit im turbulenten Gebiet und den mechanischen Energieverlust in der Laminarschicht vernachlässigt hat, sollten eigentlich noch drei Korrektionsglieder in Gl. (15) eingefügt werden. Für Strömungen, wo der Widerstand nicht nur als Reibungswiderstand, sondern auch als Druckwiderstand auftritt und Grenzschichtablösungen eintreten, muss noch ein Korrektionsfaktor dazukommen, der das Verhältnis Gesamtwiderstand zum Reibungswiderstand berücksichtigt. Die Grössen $\varkappa$, ψ und φ, sowie die noch dazukommenden unbekannten Korrektionsfaktoren müssen empirisch bestimmt werden. Wir fassen sämtliche dieser Grössen in einer «Ausnutzungszahl» η^* zusammen und schreiben in dimensionsloser Form mit dem mechanischen Wärmeäquivalent $A = 1/427$ in kcal/kg m

$$Q/L = \eta^* \frac{(\overline{I} - I_w)\, g}{A\, \overline{w}^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

3. Strömung in Rohren.

Für den Reibungswiderstand bei Strömung in Rohren verwenden wir die Kenngrösse

$$\zeta^* = -\frac{d P}{d l}\, D / \frac{\overline{w}^2\, \overline{\gamma}}{g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

wo dP der Reibungsanteil des Druckabfalles in kg/m² auf die Rohrlänge dl in m und $\overline{w}$ und $\overline{\gamma}$ die Mittelwerte der Geschwindigkeit in m/sec und des spezifischen Gewichtes in kg/m³ und D der Rohrdurchmesser in m sind.

Für den Wärmeübergang verwenden wir eine ähnliche Kenngrösse

$$\alpha^* = -\frac{d \overline{I}}{d l}\, D / (\overline{I} - I_w) = \frac{4\, Nu}{Re\, Pr} = \frac{4\, \alpha}{\overline{w}\, \overline{\gamma}\, c_p} \quad . \quad . \quad (18)$$