

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 69 (1951)
Heft: 27

Artikel: Berechnung der Wärmeaustauscher
Autor: Bošnjakovi, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-58889>

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: 23.02.2026

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

teilung des Verkehrs der verschiedenen Fahrrichtungen auf die drei Spuren der landseitigen Längsfahrbahnen; Bild 12 veranschaulicht die bessere Ausnutzung der drei Richtungsspuren. Daraus wird ersichtlich, wie der Rückstau des Verkehrs nach dem Alpenquai, der in den kleinen Kreiselplatz am Brückenkopf hineinragt bzw. bis auf die Brücke greift, verkürzt werden könnte. Dadurch lassen sich die heutigen «Verriegelungen» zwischen Längs- und Querverkehr im östlichen Platzteil weitgehend vermeiden. Einen grossen Gewinn daraus zöge vor allem die Strassenbahn, deren vom Bellevue kommende Züge heute infolge der Stockungen an der erwähnten Stelle immer wieder ihre Phase B oder FT nach dem heutigen Phasenzyklus verpassen.

In Bild 16 sei schliesslich dargetan, wie sich die hier vorgeschlagene grundsätzliche Verkehrsordnung auf dem Bürkliplatz noch weiter vervollkommen liesse. Die schon in Bild 13b erörterte Umleitung des Verkehrs von der Fraumünsterstrasse nach der Brücke via Börsen- und Bahnhofstrasse, wie sie dort zu einer partiellen Verbesserung der Verkehrsabwicklung unter dem heutigen Regime zur Diskussion gestellt wurde, wird hier auch in das neue Verkehrsprinzip eingebaut. Sie ermöglicht eine höchst erwünschte und wiederum vor allem den städtischen Verkehrsbetrieben zugutekommende Verlängerung der Mittelinsel des Platzes, wodurch die Haltestelle der Strassenbahn in beiden Fahrtrichtungen je mindestens zwei Dreiwagenzüge aufnehmen könnte.

Berechnung der Wärmeaustauscher

DK 621.565.94

Von Prof. Dr. F. BOŠNJAKOVIĆ, Zagreb

Schluss von S. 334

H. Gekoppelte Apparate

Oft werden mehrere einfache Teile aneinandergeschaltet, und man bekommt einen gekoppelten Wärmeaustauscher. Seine Gesamtscharakteristik Φ setzt sich aus den Einzelcharakteristiken φ_i der n Einzelteile zusammen und kann daraus berechnet werden. Der Zusammenhang hängt von der Art der Schaltung ab. Es genügt somit, Φ -Diagramme für einige Grundformen zu haben, um daraus die Charakteristik der gekoppelten Apparate zu ermitteln. Die beiden wichtigsten Schaltungen sind die Gleichsinnschaltung (Bild 9) und die Gegensinnschaltung (Bild 10), die wir hier besprechen wollen. Unter «Gleichsinn» und «Gegensinn» wird die Art des äusseren Anschlusses des betreffenden Teiles gekennzeichnet, ohne Rücksicht auf die spezifische Art des Austauschers. So kann ein Gegenstromaustauscher sowohl im Gleichsinn als auch im Gegensinn an die andern Einzelteile angeschlossen werden. Deswegen sind die Begriffe «Gegenstromapparat» und «Gegensinnschaltung» wohl zu unterscheiden. Das selbe gilt für «Gleichstromapparat» und «Gleichsinnschaltung».

Die Charakteristiken der Einzelteile in den Bildern 9 und 10 seien φ_a, φ_b usw., die Gesamtcharakteristik des gekoppelten Apparates sei Φ . Als wesentlich setzen wir voraus, dass die Wärmewerte W_1 und W_2 unveränderlich sind, d. h. $W_1/W_2 = \text{konst.}$, und dass jeder Strom beim Eintreten in den nächsten Einzelteil eine genügend gleichmässige Temperatur erlangt hat (gute Durchrührung in den Uebergangsstücken).

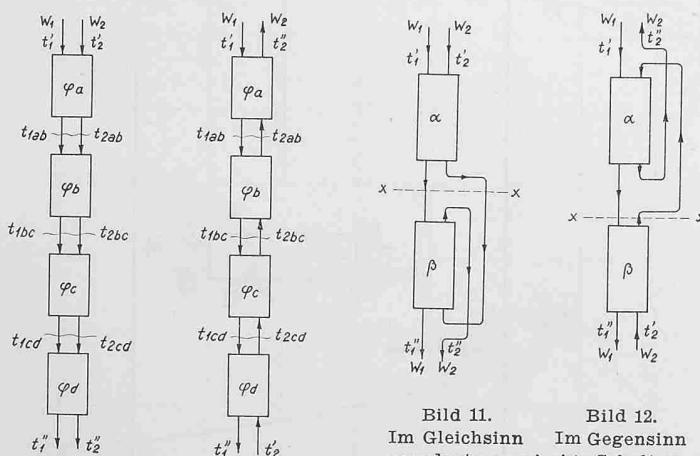
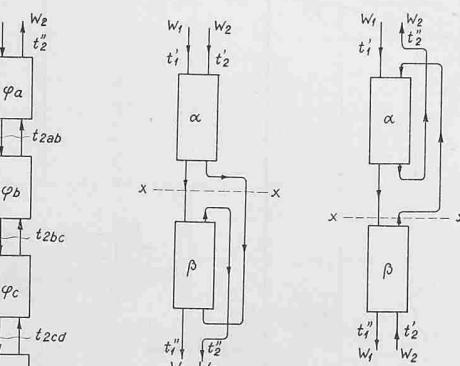
Bild 9.
In Gleichsinn-
schaltung
gekoppelter AustauscherBild 10.
In Gegensinn-
schaltung
gekoppelter Austauscher

Bild 11. Im Gleichsinn geordnete, gemischte Schaltung
 α Gruppe der gleichsinnig geschalteten Teilapparate
 β Gruppe der gegensinnig geschalteten Teilapparate

leitungen). Wir wenden hier die «Schnittmethode» an, indem wir um einzelne Teile geschlossene Schnitte legen (siehe z. B. Teil c in Bild 9) durch die jeweils zwei (und nur zwei!) eintretende und zwei austretende Ströme geschnitten werden.

Gleichsinnschaltung. Für den gesamten Apparat gilt nach Gleichung (8)

$$(29) \quad \frac{t_1'' - t_2''}{t_1' - t_2'} = 1 - \left(1 + \frac{W_1}{W_2}\right) \Phi_{gl}$$

während z. B. für den Teil c analog zu schreiben ist

$$(30) \quad \frac{t_{1cd} - t_{2cd}}{t_{1bc} - t_{2bc}} = 1 - \left(1 + \frac{W_1}{W_2}\right) \varphi_c$$

Schreibt man Gleichung (30) für alle Einzelteile auf und multipliziert die Ausdrücke miteinander, so fallen auf der linken Seite alle Zwischentemperaturen heraus, und man bekommt

$$(31) \quad \frac{t_1'' - t_2''}{t_1' - t_2'} = \prod_{i=1}^n \left[1 - \left(1 + \frac{W_1}{W_2}\right) \varphi_i \right]$$

wo $\prod_{i=1}^n$ das Symbol für die Produktbildung über n Einzelteile bedeutet. Vergleicht man das mit Gleichung (29), so folgt sofort

$$(32) \quad \Phi_{gl} = \frac{1 - \prod_{i=1}^n \left[1 - \left(1 + \frac{W_1}{W_2}\right) \varphi_i \right]}{1 + \frac{W_1}{W_2}}$$

Für den praktisch wichtigen Fall, dass der Austauscher aus n gleichwertigen Einzelteilen zusammengesetzt ist, d. h. wenn

$$(33) \quad \varphi_1 = \varphi_2 = \dots = \varphi$$

folgt

$$(34) \quad \Phi_{gl} = \frac{1 - [1 - (1 + \frac{W_1}{W_2}) \varphi]^n}{1 + \frac{W_1}{W_2}} \quad (\varphi = \text{konst.})$$

Gegensinnschaltung. Durch analoge Betrachtungen wie bei Gleichsinn folgt hier

$$(35) \quad 1 - \Phi_{gn} = \frac{1 - \frac{W_1}{W_2}}{\prod_{i=1}^n \frac{1 - \frac{W_1}{W_2} \varphi_i}{1 - \varphi_i} - \frac{W_1}{W_2}}$$

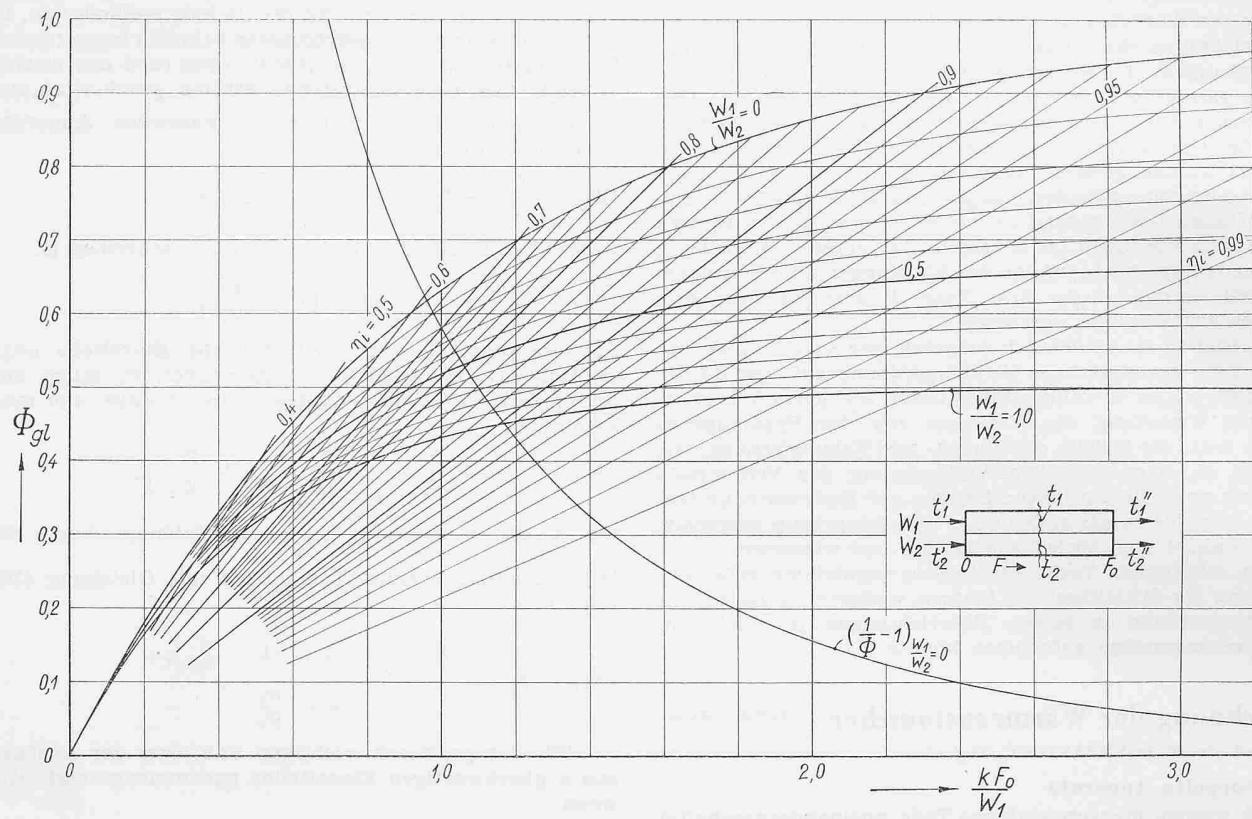
und für gleiche Einzelcharakteristiken

$$(36) \quad 1 - \Phi_{gn} = \frac{1 - \frac{W_1}{W_2}}{\left(\frac{1 - \frac{W_1}{W_2} \varphi}{1 - \varphi} \right)^n - \frac{W_1}{W_2}} \quad (\varphi = \text{konst.})$$

J. Die Kommutationsregel, Gemischte Schaltung

Aus den Gleichungen (32) und (35) ist zu lesen, dass sich Φ_{gl} bzw. Φ_{gn} nicht ändern, wenn man die Faktoren unter dem Produktsymbol π in ihrer Reihenfolge untereinander vertauscht. Daraus folgt die an sich nicht selbstverständliche Kommutationsregel: *Für das Verhalten des gekoppelten Austauschers ist es belanglos, in welcher Reihenfolge die Einzelapparate eingegliedert oder untereinander vertauscht werden, soweit dadurch deren individueller Schaltungssinn erhalten bleibt und keine merkliche Änderung der Wärmedurchgangskoeffizienten k_i der Einzelapparate hervorgerufen wird.* Diese Regel gilt auch für gemischte Schaltungen, in denen sowohl gleichsinnig als auch gegensinnig geschaltete Einzelteile vorkommen. Solche gekoppelte Apparate kann man gemäss Kommutationsregel in Gedanken immer so «ordnen», dass alle gleichsinnig geschalteten Teile in eine Gruppe α , alle gegensinnig geschalteten in eine andere Gruppe β zusammengefügt werden. Es ergibt sich dann je nach dem Schaltungssinn des Gesamtapparates entweder die Gleichsinnschaltung (Bild 11) oder die Gegensinnschaltung (Bild 12). Die Gleichsinnschaltung in Bild 11 kann man nun behandeln nach Gleichung (32), die Gegensinnschaltung in Bild 12 nach Gleichung (35), und man bekommt

$$(37) \quad \Phi_{gl} = \Phi_\alpha + \Phi_\beta - \left(1 + \frac{W_1}{W_2}\right) \Phi_\alpha \Phi_\beta \quad (\text{Bild 11})$$

Bild 15. Φ -Diagramm für Gleichstrom

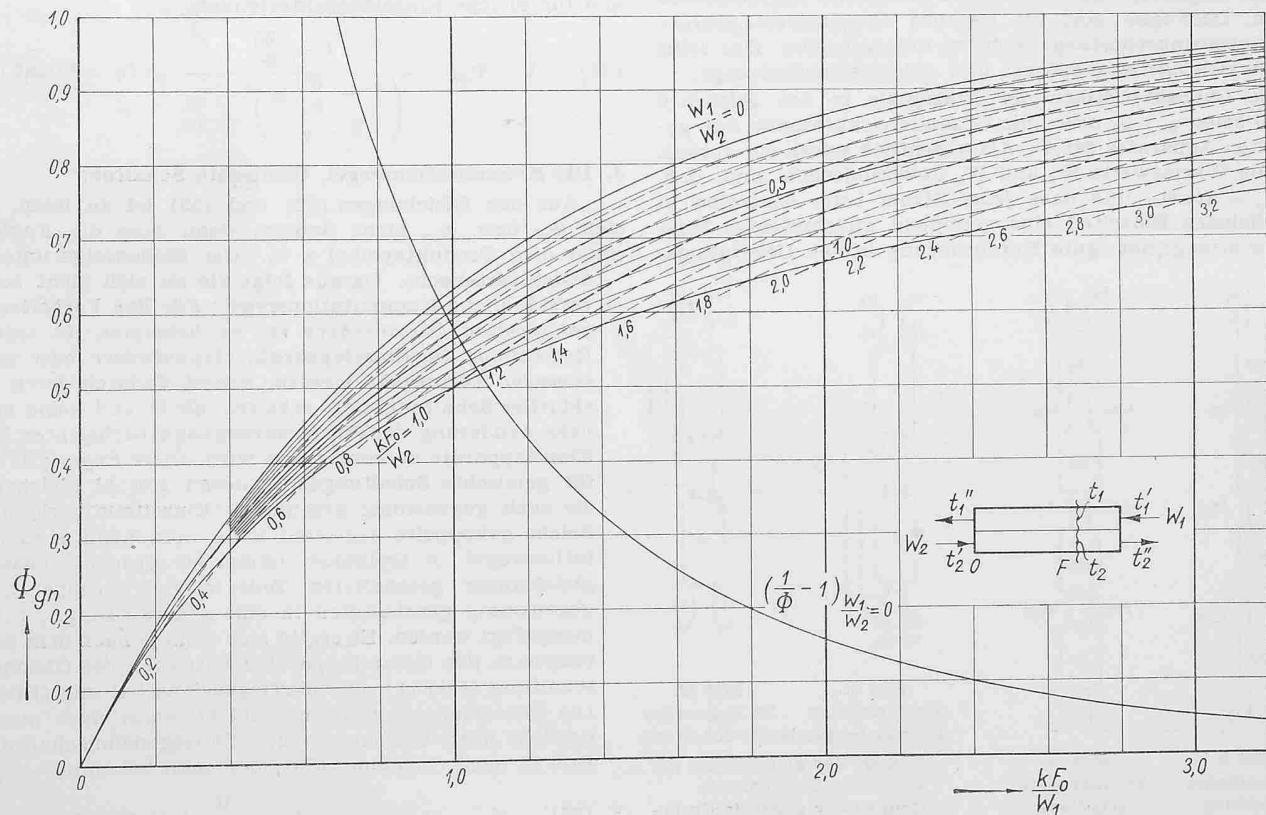
$$(38) \quad \Phi_{gn} = \frac{\Phi_\alpha + \Phi_\beta - \left(1 + \frac{W_1}{W_2}\right) \Phi_\alpha \Phi_\beta}{1 - \frac{W_1}{W_2} \Phi_\alpha \Phi_\beta} = \\ = \frac{\Phi_{gl}}{1 - \frac{W_1}{W_2} \Phi_\alpha \Phi_\beta} \quad (\text{Bild 12})$$

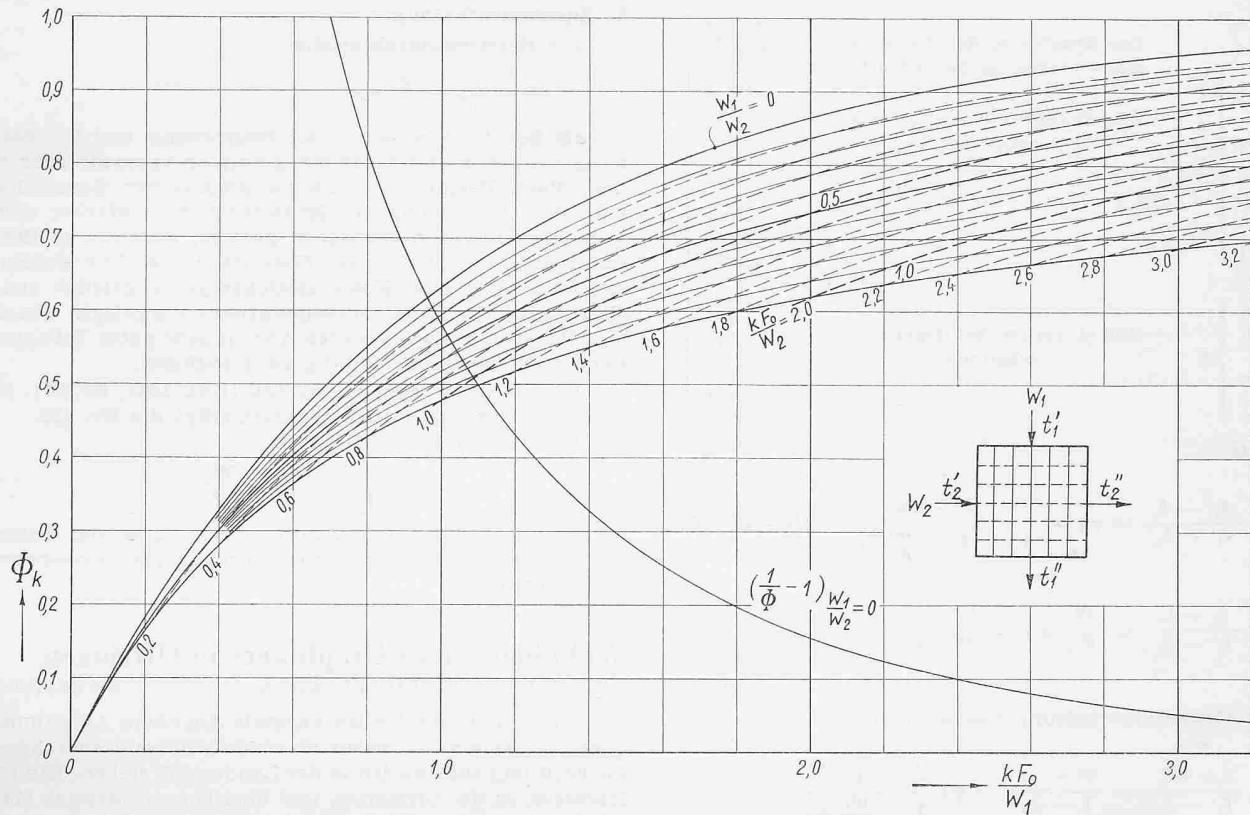
Die Gruppencharakteristik Φ_{gn} umfasst alle gleichsinnig geschalteten Teile und wird für diese nach Gleichung (32) berechnet, ohne Rücksicht darauf, ob sie unmittelbar aneinanderfolgen oder ob sie durch dazwischenliegende gegensinnig geschaltete Teile getrennt sind. Die Gruppencharak-

teristik Φ_β umfasst wiederum alle gegensinnig geschalteten Teile und wird für diese nach Gleichung (35) berechnet, ebenfalls ohne Rücksicht auf die Reihenfolge.

Aus Gleichung (38) folgt unmittelbar, dass eine Gegen- sinnschaltung zweier Apparate α und β immer günstiger ist als ihre Gleichsinnschaltung, denn, da der Nenner in Gleichung (38) immer kleiner als 1 ist, ist $\Phi_{gn} > \Phi_{gl}$. Nur bei $W_1/W_2 = 0$ werden beide Schaltungen gleichwertig.

Die gelegentlich verderbliche Wirkung der Gleichsinn- schaltung wird besonders auffällig bei sehr guten Einzel- apparten. Koppelt man bei $W_1/W_2 = 1$ zwei ($n = 2$) gute

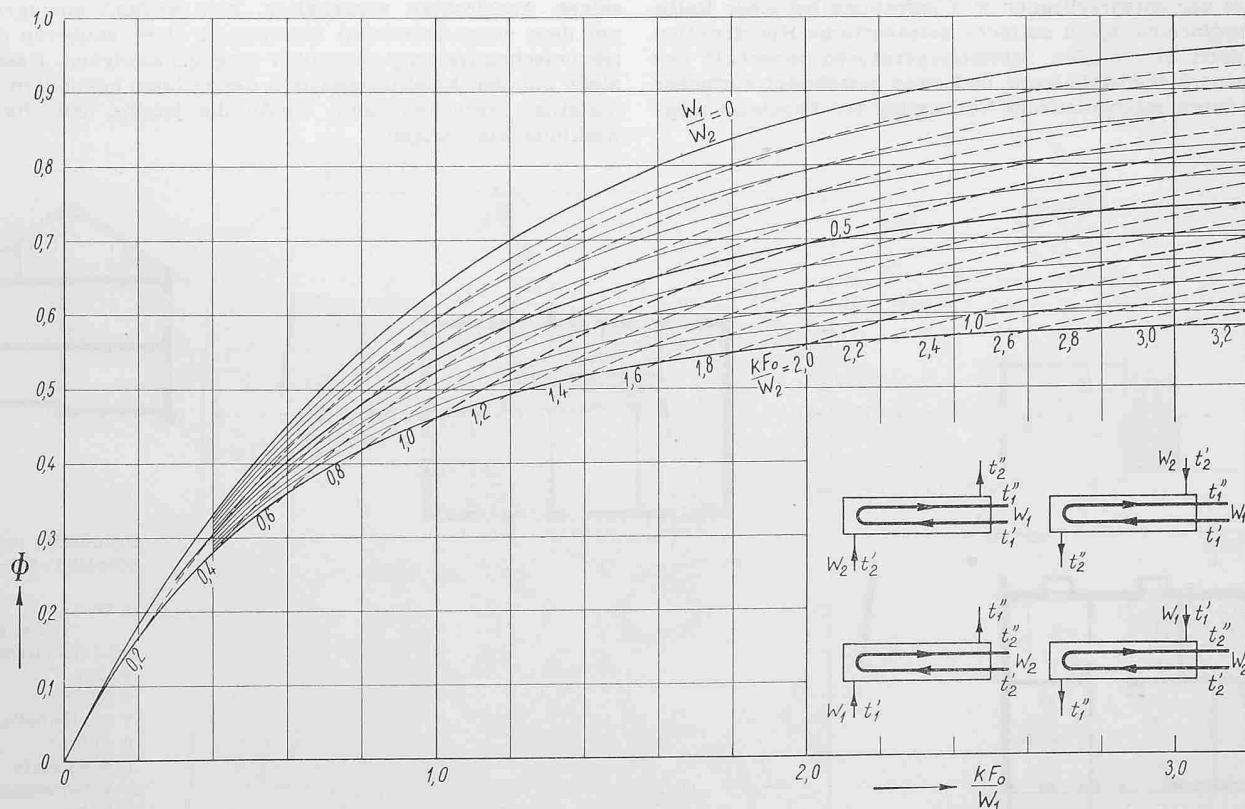
Bild 16. Φ -Funktion für Gegenstrom

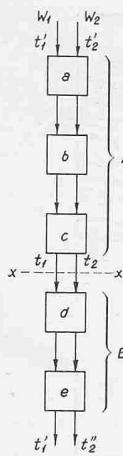
Bild 17. ϕ -Funktion für Kreuzstrom

Einzelapparate mit $\varphi = 0,75$ im Gleichsinn, so bekommt man nach Gleichung (34) den Gesamtapparat mit $\Phi_{gl} = 0,375$, so dass man durch die Gleichsinnsschaltung den Wirkungsgrad auf die Hälfte verringert hat! Noch schlimmer ist es bei sehr guten Teilapparaten ($\varphi \approx 1$), wo $\Phi_{gl} \approx 0$ wird, d. h. die vorzügliche Austauschwirkung der Einzelapparate wird durch die Gleichsinnsschaltung zunicht gemacht! Gleichsinnsschaltung von minderwertigen Teilapparaten ($\varphi < 0,5$) verbessert dagegen deren Wirkung. Demgegenüber verbessert die Gegen- sinnsschaltung immer die Wirkung der Einzelapparate.

K. Ermittlung der Zwischentemperaturen

Oft interessieren bei einem gekoppelten Apparat von der Charakteristik ϕ die Zwischentemperaturen t_1 und t_2 der Ströme an irgendeiner Stelle x (Bilder 13 und 14 auf folgender Seite). Betrachtet man die obere Gruppe (a, b, c) als einen Apparat A, mit der Charakteristik φ_A , so kann diese aus φ_a , φ_b , φ_c nach Gleichung (32) oder Gleichung (35) berechnet werden. Das selbe gilt für φ_B . Es folgt dann mit Rücksicht auf die Gleichungen (6) bis (10) für Gleichsinnsschaltung

Bild 18. ϕ -Funktion für Haarnadeleinsatz (Zweigangeinsatz), Außenstrom quergerührt.
Das Diagramm ist für alle vier dargestellten Varianten streng gültig



Zur Ermittlung der Zwischen-temperaturen im Querschnitt x
Bild 13 (links) bei Gleichsinn-schaltung

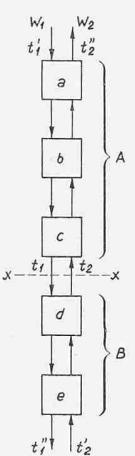


Bild 14 (rechts) bei Gegensinn-schaltung

$$(39) \quad \frac{t_1' - t_1}{t_1' - t_2'} = \varphi_A = \frac{\Phi - \varphi_B}{1 - \left(1 + \frac{W_1}{W_2}\right) \varphi_B} \quad (\text{Gleichsinn})$$

und

$$(40) \quad \frac{t_2 - t_2'}{t_1' - t_2'} = \frac{W_1}{W_2} \varphi_A = \frac{W_1}{W_2} \frac{\Phi - \varphi_B}{1 - \left(1 + \frac{W_1}{W_2}\right) \varphi_B} \quad (\text{Gleichsinn})$$

Für Gegensinnschaltung bekommt man

$$(41) \quad \frac{t_1' - t_1}{t_1' - t_2'} = \frac{\Phi - \varphi_B}{1 - \varphi_B} = \varphi_A \frac{1 - \frac{W_1}{W_2} \Phi}{1 - \frac{W_1}{W_2} \varphi_A} \quad (\text{Gegensinn})$$

und

$$(42) \quad \frac{t_2 - t_2'}{t_1' - t_2'} = \frac{W_1}{W_2} \varphi_B \frac{1 - \Phi}{1 - \varphi_B} = \frac{W_1}{W_2} \frac{\Phi - \varphi_A}{1 - \frac{W_1}{W_2} \varphi_A} \quad (\text{Gegensinn})$$

Damit können die gesuchten Temperaturen t_1 und t_2 , ohne Berechnung anderer ZwischenTemperaturen nur aus den Charakteristiken der Einzelteile und den bekannten Eintritts-Temperaturen t_1' und t_2' ermittelt werden.

Es soll hier nur darauf hingewiesen werden, dass man mit Hilfe der entsprechenden φ -Diagramme bei einer Reihe von Grundformen durch einfache zeichnerische Konstruktion sofort auch die lokalen Stromtemperaturen innerhalb des Austauschers ermitteln kann, und zwar gewöhnlich einfacher als dies durch mathematische Verfolgung des Problems möglich ist.

L. Zusammenfassung

Die Betriebscharakteristik

$$\varphi = \frac{Q}{W_1 (t_1' - t_2')}$$

ist als Schlüsselgröße bei der Beurteilung und der Berechnung einfacher und zusammengesetzter Apparate sehr nützlich. Nach Besprechung einiger allgemeiner Eigenschaften wird ihre Anwendung bei der Berechnung einfacher und zusammengesetzter Austauscher gezeigt, auch unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte. Für gekoppelte Apparate wird eine Kommutationsregel abgeleitet und die Ermittlung der ZwischenTemperaturen dargelegt. Gleichsinnige Schaltung einer geraden Anzahl sehr guter Teilapparate kann ihre Austauschwirkung ganz aufheben.

Bemerkungen zum ersten Teil (SBZ 1951, Nr. 24). Fussnote ¹⁾: Das VDI-Forschungsheft trägt die Nr. 432.

Die Formel 16 sollte lauten:

$$\frac{t_1' - t_1''}{t_2' - t_2'} = \frac{W_2}{W_1}$$

Auf Seite 333, linke Spalte, dritte Zeile von unten ist der Ausdruck «Wärmemenge» durch «Wärmemengenwert» zu ersetzen.

Wohnhaus eines Graphikers in Oftringen

Arch. CHRISTIAN TRIPPEL, Zürich

DK 728.37(494.22)

Wenn man abseits des Aaretals den oberen Aargau durchquert, so ist man entzückt von vielen schönen Bauernhäusern, die breit und entschieden in der Landschaft stehen. Ein klares Rechteck ist der Grundriss, und über eingeschossigen Mauern erhebt sich das steile, gewalmte, in früheren Zeiten mit Stroh gedeckte Dach. Ausladend greift es über die Vorderfront des Hauses, dessen seitliche Mauern noch schützend vorgezogen sind — der Ausdruck eines starken Freiheitswillens und einer vernünftigen und zwingenden Gestaltung. Das Eindringen der Industrie in ländlichen Gegenden hat jedoch die bauliche Entwicklung der Dörfer empfindlich gestört. Das Hinzukommen städtischer Architekturelemente und deren gedankenlose Einfügung in ländliche Gegebenheiten hat das Bild des schönen Dorfes verunstaltet. Nicht nur die Industriebauten, auch kleingewerbliche Bauten und neue Wohnhäuser lassen zum grössten Teil ein Verständnis architektonisch-masstäblicher Fragen vermissen. Es bleibt dem einzelnen Architekten vorbehalten, hier helfend einzutreten, um dem weitverbreiteten Unverständ einer sauberen architektonischen Haltung gegenüber entgegenzuwirken. Dass dies nicht mit den Ausdrucksmiteln des sattsam bekannten «Heimatstils» geschehen kann, dürfte die jetzige bauliche Entwicklung klar zeigen.

