

# DIE WÄRMETECHNISCHE UNTERSUCHUNG GLASEMAILLIERTER RÜHRAPPARATE

Von

L. VIMMER—M. PARTI—K. MOLNÁR

Lehrstuhl für chemisches Maschinenwesen und landwirtschaftliche Industrie,  
Technische Universität Budapest

Vorgelegt von Prof. Dr. S. SZENTGYÖRGYI

(Eingegangen am 26. April, 1973)

## Einleitung

Auf zahlreichen Gebieten der chemischen Industrie werden glasemaillierte Rührapparate verwendet, in denen die durchzuführenden Verfahren durch eingesetzte Röhrelemente intensiviert werden. Der Emaillierbarkeit wegen weichen diese von allen anderen angewendeten Röhrelemententypen ab. Daher können hier die in der Fachliteratur angeführten Kriteriale Gleichungen zur Bestimmung der Transportkoeffizienten (Wärmeübertragungs- und Stoffaustauschkoeffizient) nicht angewendet werden.

Emaillierte Rührapparate wurden in Ungarn von der Fabrikseinheit LAMPART der Emailindustriewerke entwickelt. Die angewendeten Spezialröhrelemente sind in *Abb. 1* dargestellt.

Im Auftrage des Betriebs LAMPART wurden von uns die sich in Rührapparaten abspielenden Transportvorgänge untersucht und die Transportkoeffizienten an Hand von Versuchen bestimmt. In diesem Beitrag sind die für den Wärmeübergang erhaltenen Ergebnisse zusammengefaßt dargeboten.

## I. Theoretische Grundlagen

### 1. Berechnung der Anheizzeit [1]

Wird der Füllinhalt des Apparats durch das in den Duplikatorteil eingeführte Heizmittel geheizt, so verläuft die Temperaturänderung der Medien — bei konstanter Heizmitteltemperatur — in der in *Abb. 2* angeführten Weise.

Wird die differentiale Wärmebilanz

$$dQ = G \cdot c \cdot dt$$

des Vorgangs aufgeschrieben und ferner die Grundgleichung der Wärmeübertragung

$$dQ = k \cdot F \cdot (T - t) \cdot d\tau$$

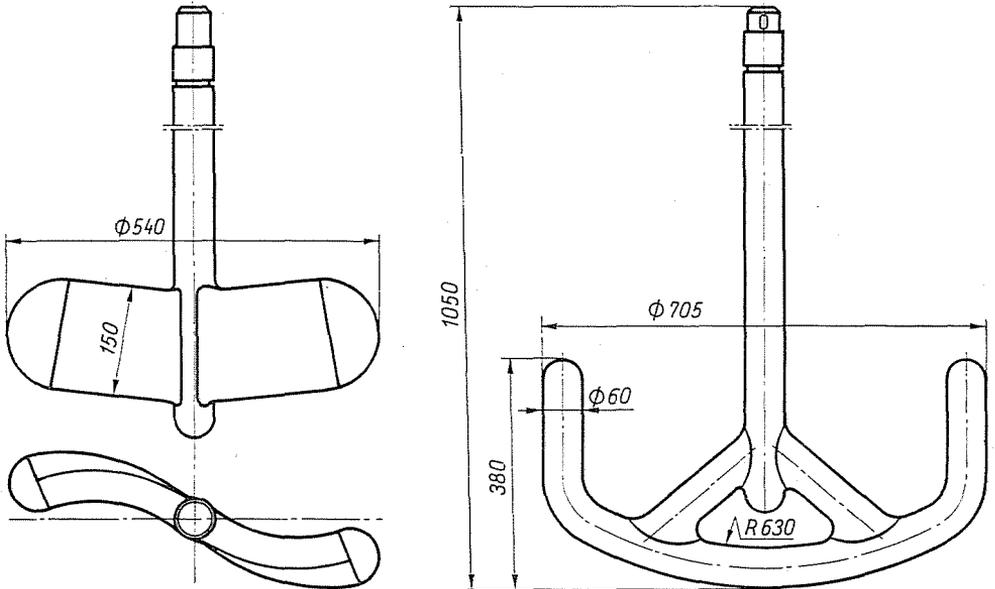


Abb. 1. Emaillierte Anker- und Impeller- (Doppelflügel)- Rührerlemente

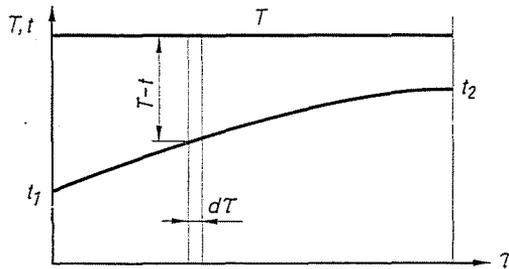


Abb. 2. Stofftemperaturänderungen beim Anheizen, als Funktion der Zeit

angewendet, so ergibt sich folgende Beziehung:

$$\frac{dt}{T-t} = \frac{k}{c} \cdot \frac{F}{G} \cdot d\tau. \quad (1)$$

Vorausgesetzt, daß der aus der Wärmeübergangszahl und der spezifischen Wärme gebildete Quotient während des Anheizens (im gegebenen Temperaturintervall) konstant bleibt, gilt

$$\int_{t_1}^t \frac{dt}{T-t} = \frac{k \cdot F}{G \cdot c} \int_0^\tau d\tau,$$

und nach dem Integrieren ergibt sich die Beziehung

$$\ln \frac{T - t_1}{T - t} = \frac{k \cdot F}{G \cdot c} \tau, \quad (2)$$

aus der die Anheizzeit:

$$\tau = \frac{G \cdot c}{k \cdot F} \cdot \frac{t - t_1}{\Delta t_{\log}} \quad (3)$$

ausgedrückt werden kann, wobei

$$\Delta t_{\log} = \frac{(T - t_1) - (T - t)}{\ln \frac{T - t_1}{T - t}} \quad (4)$$

ist und somit die übertragene Wärmemenge während des Anheizens errechnet werden kann, und zwar lautet dann

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{\log} \cdot \tau. \quad (5)$$

Also ist für Rührapparate — obwohl sich der Vorgang in der Zeit ändert — die Grundgleichung (5) für Wärmeaustauscher mit dem mittleren Temperaturunterschied aus Gleichung (4), zur Ermittlung der übertragenen Wärmemenge geeignet.

## 2. Berechnung der Abkühlzeit [1]

Wird der Füllinhalt des Rührapparats mit Hilfe eines Mediums von konstanter Eintrittstemperatur gekühlt, so erfolgt eine, an der Kühlmittelseite wahrnehmbare (sich entlang der Oberfläche ändernde Temperatur) oder latente (konstante Temperatur entlang der Oberfläche) Wärmeübertragung. Für den Fall, daß eine, auch an der Kühlmittelseite wahrnehmbare Wärmeübertragung stattfindet, ist die Temperaturänderung entlang der Oberflächenkoordinate in irgendeinem kurzen Zeitintervall in Abb. 3 dargestellt, — ange-

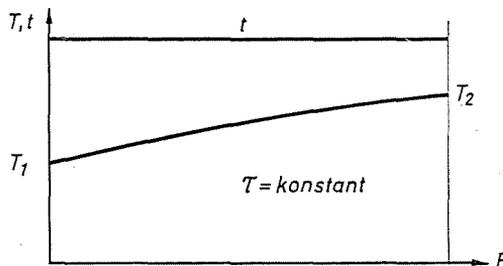


Abb. 3. Verlauf der Momentantemperaturen beim Abkühlen, als Funktion der Oberflächenkoordinate

nommen, daß die Temperatur des zu kühlenden Stoffs für den Augenblick konstant ist.

Schreiben wir die differentiale Wärmebilanz des Vorgangs und die Grundgleichung der Wärmeübertragung auf, ergeben sich folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned} dQ &= -G \cdot c \cdot dt, \\ -G \cdot c \, dt &= W \cdot c' \cdot (T - T_1) \cdot d\tau, \\ W \cdot c'(T - T_1)d\tau &= k \cdot F \cdot \Delta t_{\log} d\tau, \end{aligned}$$

wobei  $\Delta t_{\log}$  die zu dem Augenblick  $\tau$  gehörige logarithmische mittlere Temperaturdifferenz bedeutet, und zwar gilt

$$\Delta t_{\log}(\tau) = \frac{(t - T_1) - (t - T)}{\ln \frac{t - T_1}{t - T}}. \quad (6)$$

Wird der Ausdruck (6) für die logarithmische mittlere Temperaturdifferenz in die Grundgleichung eingesetzt, integriert und die Vereinfachungen durchgeführt, erhält man

$$T = t - (t - T_1)e^{-\frac{k \cdot F}{W \cdot c'}}, \quad (7)$$

und diesen Wert in die differentiale Wärmebilanz wieder eingesetzt und integriert, ergibt

$$\tau = \frac{G \cdot c(t_1 - t)}{W \cdot c' \left(1 - e^{-\frac{k \cdot F}{W \cdot c'}}\right) \Delta t_m}. \quad (8)$$

wobei die zum Abkühlen erforderliche Zeit

$$\Delta t_m = \frac{t_1 - t}{\ln \frac{t_1 - T_1}{t - T_1}} \quad (9)$$

bestimmt werden kann.

Erfolgt die Abkühlung durch das Vorhandensein latenter Wärme, so kann die in Kapitel 1 geschilderte Rechenmethode und im Fall wahrnehmbarer Wärme die in Kapitel 2 abgeleitete Formel zur Erzielung günstiger Ergebnisse angewendet werden.

### 3. Anwendung der Ähnlichkeitstheorie

Aus der Fachliteratur [2] geht hervor, daß der Strömungswärmeaustausch durch die *Navier - Stokes*sche Differentialgleichung, die *Kontinuität*, das Gesetz von der Erhaltung der Energie und das *Newtonsche* Kühlgesetz (Wärmeübertragungsgleichung) gekennzeichnet wird.

Diese mathematische Analyse beschränkt sich meistens bloß auf die Aufgabestellung, die analytische Lösung ist nur in einigen, besonders einfachen Fällen möglich. — Von *Nusselt* wird darauf hingewiesen, daß man auch ohne die Gleichungen zu integrieren, für das experimentelle Studium des Vorgangs wertvolle Folgerungen ziehen kann, wenn dieser geometrisch, hydraulisch und thermisch einem als Grundvorgang gewählten Vorgang ähnlich ist.

Das mathematische Modell des Prozesses wird durch die den physikalischen Prozeß beschreibenden Gleichungen, mit ihren Eindeutigkeitsbedingungen geliefert, die mit Hilfe der Formelanalyse auf eine dimensionslose Form transformiert werden können. Als Ergebnis der Formelanalyse werden Invarianten, geometrische Simplexe sowie Viskositätskennziffern erhalten. Unter den Invarianten werden sich auch diejenigen Ähnlichkeitskriterien befinden, die beim Einführen der Eindeutigkeitsbedingungen einen Wert erhalten. Die Ähnlichkeitskriterien sind die unabhängigen Veränderlichen. Der dimensionslose Ausdruck, der beim Einführen der Eindeutigkeitsbedingungen keinen Wert erhält, ist die abhängige Variable. Die Lösung der dimensionslosen Gleichungen führt zu funktionellen Beziehungen, wobei die abhängige Variable durch das Potenzfunktionsprodukt der Ähnlichkeitskriterien, Simplexe, Kennziffern ausgedrückt wird [3]. Solche funktionelle Beziehungen werden Kriteriale Gleichungen genannt.

Für die Wärmeübertragung bei Rührapparaten lautet die Kriteriale Gleichung:

$$Nu = f \left( Re, Pr, \frac{\mu}{\mu_{fal}}, \frac{D}{d}, \frac{w}{d}, \frac{H}{d}, \frac{h}{d}, \dots \right), \quad (10)$$

bzw. für geometrisch ähnliche Apparate gilt:

$$Nu = f \left( Re, Pr, \frac{\mu}{\mu_{fal}} \right),$$

und in Form einer Potenzfunktion ist:

$$Nu = C Re^a Pr^b \left( \frac{\mu}{\mu_{fal}} \right)^e. \quad (11)$$

An Hand der durchgeführten Versuche trachteten wir, die Konstanten in Gl. (11) zu bestimmen.

## II. Bestimmung der Kriterialgleichung der Wärmeübertragung

### 1. Wärmedurchgangszahl an der Innenseite

Der gesamte Wärmewiderstand des Rührvorgangs bei Wärmeübertragung ist

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_b} + \frac{1}{\alpha_k} + R_{sz},$$

bzw.

$$\frac{1}{\alpha_b} = \frac{1}{k} - \frac{1}{\alpha_k} - R_{sz}, \quad (12)$$

also müssen die an der rechten Seite der Gleichung angeführten Ausdrücke bekannt sein, um daraus die Wärmedurchgangszahl berechnen zu können. An Hand dieser Berechnung kann die abhängige Variable der Kriterialgleichung, die *Nusselt* zahl bestimmt werden. Der zugehörige Wärmewiderstand in Gl. (12) setzt sich aus dem Widerstand der Emailschiicht und dem der wärmeübertragenden Apparatwand (bzw. der etwaigen Ablagerungen) zusammen. Bei Heizung kann die Wärmedurchgangszahl an der Außenseite aus der *Nusseltschen* Beziehung ermittelt werden, da hier gesättigter Dampf kondensiert wurde.

Da dieses Verfahren zahlreiche Fehlermöglichkeiten enthält, wurde statt dessen die mittlere Wandtemperatur gemessen und aus dieser die Wärmedurchgangszahl an der Innenseite errechnet.

Die Rechenmethode wird an Hand der *Abbildungen 4 und 5* erläutert. Auf Grund der *Abbildungen* gilt für den Wärmedurchfluß:

$$\begin{aligned} \text{beim Heizen:} \quad q &= k(T - t) = k'(t^* - t), \\ \text{beim Kühlen:} \quad q &= k(t - \bar{T}) = k''(t - t^*). \end{aligned} \quad (13)$$

Somit wird die übertragene Wärmemenge beim Heizen:

$$Q^* = k' F_b \Delta t' = \frac{2\lambda_{fal}}{\delta} F_{k\ddot{o}z} (t^* - t_{fb}) = \alpha_b F_b (t_{fb} - t),$$

wobei

$$\Delta t' = t^* - t = (t^* - t_{fb}) + (t_{fb} - t),$$

beim Kühlen:

$$Q^* = k'' F_b \Delta t'' = \frac{2\lambda_{fal}}{\delta} F_{k\ddot{o}z} (t_{fb} - t^*) = \alpha F_b (t - t_{fb}),$$

wobei

$$\Delta t'' = t - t^* = (t - t_{fb}) + (t_{fb} - t^*),$$

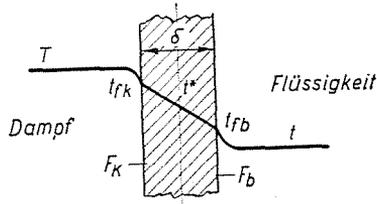


Abb. 4. Temperaturverteilung beim Anheizen

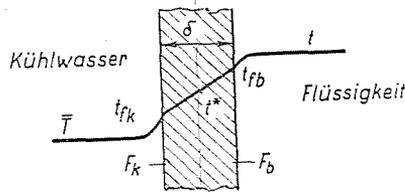


Abb. 5. Temperaturverteilung beim Abkühlen

ist. Aus diesen Beziehungen können ferner

$$\frac{1}{k'} = \frac{\delta}{2\lambda_{fal}} \frac{F_b}{F_{k\ddot{o}z}} + \frac{1}{\alpha_b}, \quad (14)$$

$$\frac{1}{k''} = \frac{\delta}{2\lambda_{fal}} \frac{F_b}{F_{k\ddot{o}z}} + \frac{1}{\alpha_b}$$

abgeleitet und  $k'$  bzw.  $k''$  an Hand von Gl. (13) in Kenntnis der Wärmedurchgangszahl bestimmt werden.

## 2. Bestimmung der Wärmedurchgangszahl

Werden die Ergebnisse der Versuchsmessungen in die Beziehungen (2) und (8) eingesetzt, so ergibt sich beim Heizen:

$$\frac{T - t}{T - t_1} = \exp\left(-\frac{k \cdot F}{G \cdot c} \cdot \tau\right),$$

beim Kühlen:

$$\frac{t - T_1}{t_1 - T_1} = \exp\left[\left(1 - e^{-\frac{k \cdot F}{G \cdot c}}\right) \frac{W \cdot C}{G \cdot c} \cdot \tau\right].$$

Hieraus folgt, daß man — wenn die „momentanen“ Triebkräfte im Zähler im Laufe des Prozesses auf einen Nenner von konstantem Wert bezogen werden und dies in einem logarithmisch-linearen Koordinatensystem als Funktion der Zeit aufgetragen wird — eine Gerade erhält, aus deren Steilheit die Wärmedurchgangszahl ermittelt werden kann.

### 3. Bestimmung der Konstanten der Kriterialgleichung

Schreibt man das Potenzfunktionsprodukt der Kriterialgleichung auf, ergibt sich

$$Nu = C Re^a Pr^b \left( \frac{\mu}{\mu_{fal}} \right)^e, \quad (11)$$

und nach Umordnung entsteht

$$Y = \frac{Nu}{Pr^b \left( \frac{\mu}{\mu_{fal}} \right)^e} = C Re^a. \quad (15)$$

Die Werte der Konstanten  $b$  und  $e$  wurden an Hand der Daten aus der Fachliteratur sowie durch Probieren erhalten. Es wurde angestrebt, die beim Kühlen und Heizen erhaltenen Ergebnisse durch dieselbe Kriterialgleichung auszudrücken. Der häufigste Zähigkeitsindex beträgt 0,14, doch sind auch andere Werte üblich. Als Exponenten der *Prandilzahl* und des Viskositätsquotienten ist es zweckmäßig, folgende Werte anzusetzen:

$$b = \frac{1}{3},$$

$$e = 0,24.$$

## III. Versuchsmessungen

### 1. Der Versuchsapparat

Die Versuchsmessungen wurden mit einem von dem Betrieb LAMPART hergestellten, noch unemaillierten Rührautoklav von 250 l Inhalt vorgenommen, wodurch es möglich war, die Wandtemperatur zu messen. Die Meßeinrichtung ist in *Abb. 6* dargestellt. Der Apparat ist doppelwandig, von außen durch eine Asbestschicht isoliert.

Während des Heizversuchs wurde Heißdampf — unter konstantem Druck — aus zwei, einander gegenüber angeordneten Leitrohren in den Heizraum eingeführt. Das entstehende Kondensat wurde nachher durch einen

thermodynamischen Kondensatabscheider in einen wassergekühlten Nachkühler geleitet. Die aus dem Nachkühler austretende Kondensatmenge wurde während des Heizens mehrmals gemessen.

Das Kühlmittel (Kühlwasser) gelangte während des Kühlvorgangs durch das, am doppelwandigen Apparateil mit Kreisringquerschnitt befindliche,

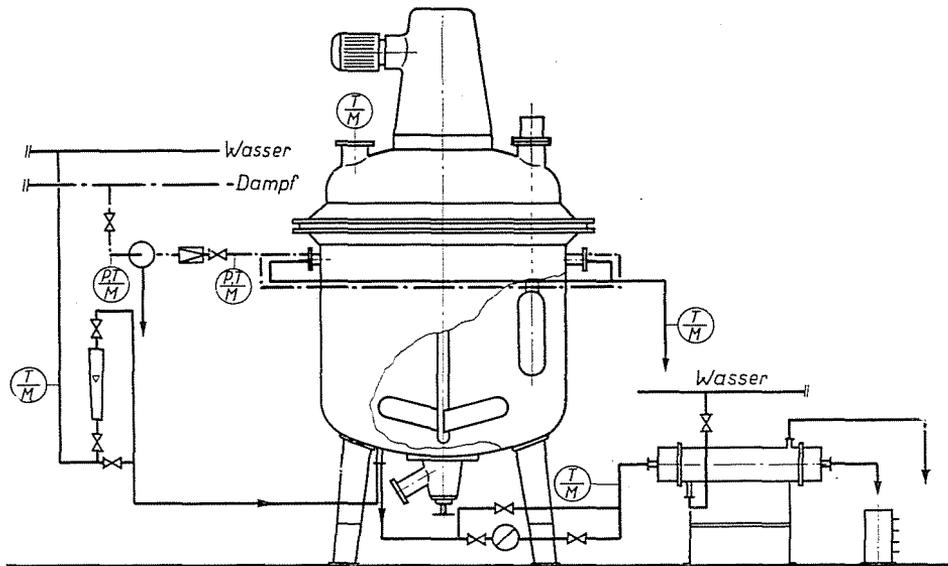


Abb. 6. Schaltbild der Meßeinrichtung

untere Speiserohr in den Kühlraum und wurde durch das obere Dampfeinleitrohr abgeführt. Die Menge des Kühlmittels wurde während des Kühlvorgangs konstant gehalten und die Stetigkeit der Menge mit einem Rotameter kontrolliert.

Das Rührelement der Versuchseinrichtung wurde durch einen stufenlosen Gleichstrommotor angetrieben, wodurch die Drehzahlen während des Versuchs beliebig gewechselt werden konnten. Als Rührgut wurde eine wäßrige Glycerinlösung gewählt, deren Viskosität von der Temperatur stark abhängig ist. Dies ermöglichte einen breiten Bereich für die Reynoldszahl zu erfassen.

## 2. Die Versuchsmeßmethode

Durch kontinuierliches Messen wurden folgende Größen ermittelt:  
 Drehzahl des Rührelements,  
 Temperatur des inneren (gerührten) Mediums,  
 mittlere Wandtemperatur,

Eintrittstemperatur des Heizmittels,  
 Druck des Heizmittels,  
 Menge des Heizmittels,  
 Ein- und Austrittstemperatur des Kühlmittels,  
 Menge des Kühlmittels.

Die Temperatur der gerührten Flüssigkeit wurde mit Hilfe von zwei Thermoelementen gemessen. Die Meßfühler wurden in der Hauptmasse der Flüssigkeit, an verschiedenen Stellen, radial eingeführt. Die Meßwerte zeigten keine bedeutenden Abweichungen.

Zwecks Messung der Wandtemperatur wurden Meßzapfen in die Apparatwand eingebaut, in die zuerst Thermoelemente eingelötet wurden. Die Meßfühler der Thermoelemente wurden entlang der Mittellinie der Apparatwand, d.h. entlang der beiden Erzeugenden des Apparats, in fünf verschiedenen Tiefen unter dem Flüssigkeitsspiegel eingeführt.

Einige wesentliche, geometrische Kennwerte der Apparatur — für die von uns angewendeten beiden Rührelementtypen — sind in *Tabelle I* zusammengefaßt.

Tabelle I

Nützlicher Apparatinhalt	250 Liter	250 Liter
Rührelement-Typ	Anker (Abb. 1)	Impeller (Abb. 1).
Innendurchmesser des Behälters	D = 776 mm	D = 776 mm
Durchmesser des Rührelements	d = 705 mm	d = 540 mm
Dicke des Rührelements	w = 60 mm	
Flüssigkeitsspiegel des Kühl- bzw. Heizstoffs	H = 700 mm	H = 700 mm
Heiz- bzw. Kühlfläche	1,87 m <sup>2</sup>	1,87 m <sup>2</sup>
Wandstärke des Apparats	12 mm	12 mm
Abstand des Rührelements vom Apparatboden	75 mm	75 mm
Abstand des Rührelements von der Apparatwand	h <sub>0</sub> = 30,5 mm	
Innendurchmesser der Duplikatur	838 mm	838 mm
Drehzahlbereich	20—120 U/min	20—120 U/min
Viskositätsbereich	2—22 cP	2—22 cP
Temperaturbereich	20—100 °C	20—100 °C

### 3. Arbeitsverlauf der Auswertung

Auf Grund der Meßwerte wurden zuerst die Wärmeübertragungskoeffizienten aus den Gleichungen (2) und (8) erfaßt, nachfolgend konnten in Kenntnis derselben die Wärmedurchgangszahlen an der Innenseite, unter Anwendung der Gl. (14) errechnet werden.

Auf Grund der bekannten geometrischen Abmessungen und Stoffkennwerte läßt sich  $Y$  nach Gl. (15) als Funktion der *Reynoldszahl* in einem doppel-

logarithmischen Koordinatensystem graphisch darstellen. Aus der Steilheit und dem Achsenabschnitt der Geraden können die Konstanten der Kriterialgleichung ermittelt werden.

#### 4. Meßergebnisse

Unsere Meßergebnisse sind in den *Abbildungen 7, 8 und 9* zusammengefaßt.

Impeller-Rührer ohne Stauplatte (Abb. 7):

$$Nu = 0,343 Re^{2/3} Pr^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_{fal}} \right)^{0,24}$$

Impeller-Rührer mit Stauplatte (Abb. 8):

$$Nu = 0,39 Re^{2/3} Pr^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_{fal}} \right)^{0,24}$$

Ankerrührer ohne Stauplatte (Abb. 9):

$$Nu = 0,46 Re^{0,62} Pr^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_{fal}} \right)^{0,24}$$

Die umfassende Bearbeitung aller Meßergebnisse ist in unseren Versuchsberichten zu finden [4, 5].

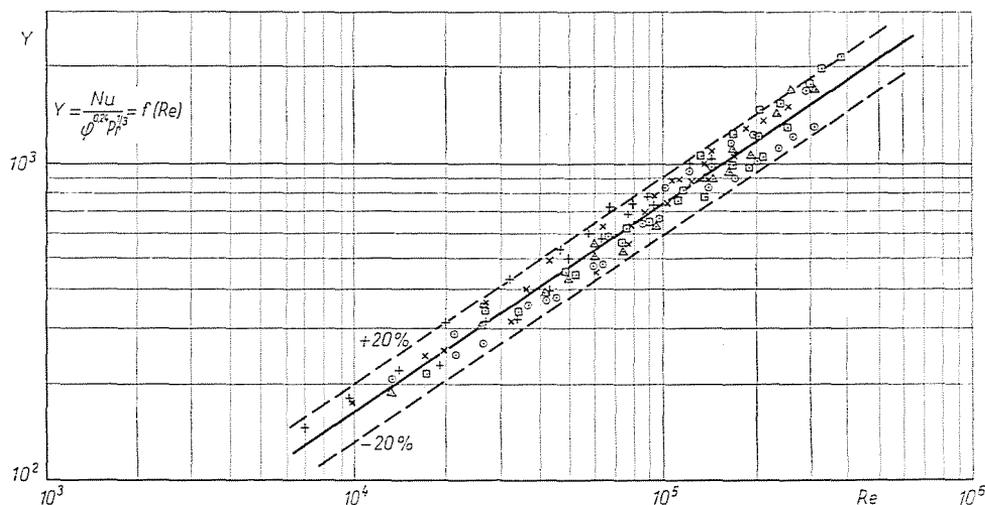


Abb. 7. Bestimmung der Konstanten der Kriterialgleichung im Falle von ImpellerRührelementen

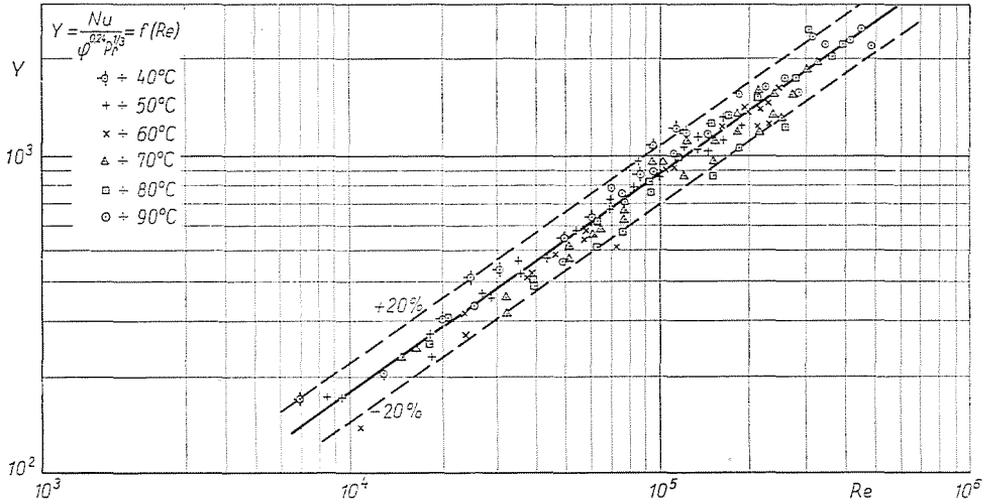


Abb. 8. Bestimmung der Konstanten der Kriterialgleichung für Apparate mit Stauplatten, im Falle von Impeller-Rührelementen

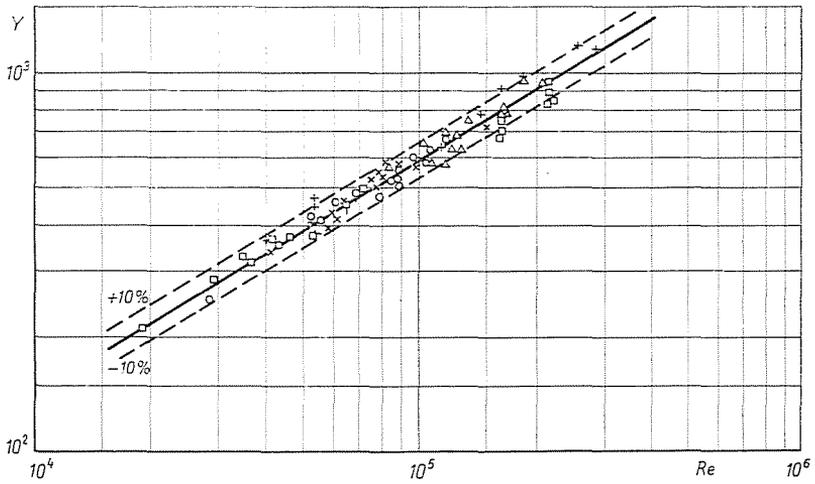


Abb. 9. Bestimmung der Konstanten der Kriterialgleichung im Falle von Anker-Rührelementen

### Nomenklatur

- a                    Konstante
- b                    Konstante
- c, c'             $\left[ \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$  spez. Wärme
- C                    Konstante
- d [m]              Durchmesser des Rührelements

d		Differenzierungszeichen
D	[m]	Apparatdurchmesser
e		Konstante
F	[m <sup>2</sup> ]	Wärmeübertragungsfläche
G	[kg]	Stoffmenge
h	[m]	Abstand des Rührlements vom Apparatboden
H	[m]	Höhe des Flüssigkeitsspiegels
k, k', k''	$\left[ \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2, \text{h}, \text{°C}} \right]$	Wärmedurchgangszahlen
n	$\left[ \frac{1}{\text{sec}} \right]$	Drehzahl
R <sub>sz</sub>	$\left[ \frac{\text{m}^2, \text{h}, \text{°C}}{\text{kcal}} \right]$	zugehöriger Wärmewiderstand
q	$\left[ \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2, \text{h}} \right]$	Dichte des Wärmestroms, Wärmebelastung
Q	[kcal]	Wärmemenge
Q*	$\left[ \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right]$	Wärmemenge in der Zeiteinheit
t, t*	[°C]	Temperatur
T	[°C]	Temperatur
T	[°C]	arithmetisches Mittel der Eingangs- und Ausgangstemperatur des Kühlstoffs
Δt	[°C]	Temperaturunterschied
w	[m]	Breiteabmessung des Rührlements
W	$\left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$	Durchflußmenge in der Zeiteinheit
Y		der in Gl. (15) definierte Wert
α	$\left[ \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2, \text{h}, \text{°C}} \right]$	Wärmeübertragungskoeffizient
δ	[m]	Wandstärke
λ	$\left[ \frac{\text{kcal}}{\text{m}, \text{h}, \text{°C}} \right]$	Wärmeleitzahl
μ	$\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}, \text{h}} \right]$	dynamische Viskosität
ρ	$\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$	Dichte
τ	[h]	Zeit

Die Indizes beziehen sich auf:

1	Eintritt,
2	Austritt,
b	Innenseite (innere),
fb	innere Wandseite,
fa	Wand,
k	Außenseite (äußere),
köz	mittlere,
log	logarithmische,
m	mittlere Werte.

*Dimensionslose Zahlen*

$$\text{Nu} = \frac{\alpha_b \cdot D_b}{\lambda} \text{ Nusseltzahl}$$

$$\text{Pr} = \frac{\mu \cdot c}{\lambda} \text{ Prandtlzahl}$$

$$\text{Re} = \frac{d^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu} \text{ Reynoldszahl}$$

**Zusammenfassung**

In diesem Beitrag werden die Erkenntnisse über die Wärmeübertragung bei emaillierten Autoklaven beschrieben, auf die die Versuche der Verfasser aufgebaut sind.

Auf Grund der erhaltenen Ergebnisse wird eine Vorausabschätzung der Wärmeübertragungseigenschaften ermöglicht. Die Versuche wurden zwecks Meßbarkeit der Temperatur im Zustand vor dem Emaillieren vorgenommen und nachfolgend im emaillierten Zustand wiederholt. Es konnte jedoch kein wesentlicher Unterschied festgestellt werden.

**Literatur**

1. Technische Universität Budapest, Lehrstuhl für chemisches Maschinenwesen und landwirtschaftliche Industrie. Versuchs-Schlußbericht Nr. 17/1970.
2. МИХЕЈЕВ, М. А.: А hőátadás gyakorlati számításának alapjai. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 1972. (Grundlagen der praktischen Berechnung der Wärmeübertragung)
3. Szűcs, E.: Hasonlóság és modell. Műszaki Könyvkiadó Vállalat, Budapest, 1972. (Ähnlichkeit und Modell).
4. Technische Universität Budapest, Lehrstuhl für chemisches Maschinenwesen und landwirtschaftliche Industrie. Versuchs-Schlußbericht Nr. 1/1972.
5. Technische Universität Budapest, Lehrstuhl für chemisches Maschinenwesen und landwirtschaftliche Industrie. Versuchs-Schlußbericht Nr. 16/1972.

Dr. László VIMMER Dr. Mihály PARTI Dr. Károly MOLNÁR	} H-1521. Budapest
--	--------------------