

# Neuartige Plattenwärmeübertrager

## Teil D: Wirtschaftlichkeitsbewertung von Plattenapparaten anhand von Druckverlust und Wärmeübergang

Josef Schmadl, Jens-Uwe Gerking, Carsten Briesenick, Maik Haß, Ingrid Schult, Joachim Schult

### 1. Einleitung

Gegenstand dieser Arbeit ist die Untersuchung der Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit von Druckverlust und Wärmeübergangs in Plattenwärmeübertragern mit kreisrunden Platten anhand von experimentellen Daten. Zum Vergleich wird die herkömmliche Rechteckplatte herangezogen, wie in Abb. 1a) dargestellt, wobei als Referenzzustand die Plattenseite des Referenzapparates mit vereinfacht idealer Pfopfenströmung angenommen wird.

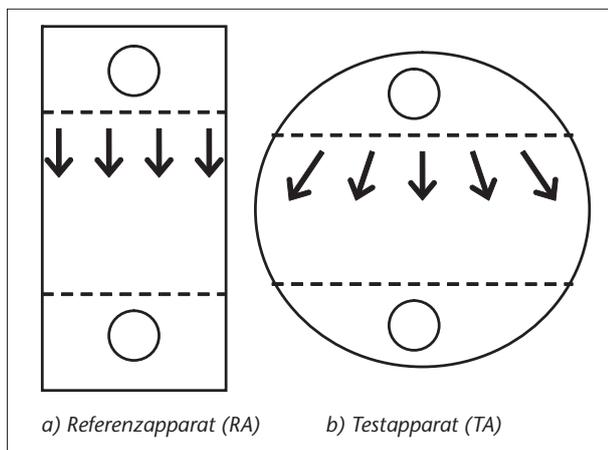


Abb. 1: Schematische Darstellung des Referenzapparates mit Rechteckplatte und des Testapparates mit runder Platte

Eine früher durchgeführte Analyse des plattenseitigen Druckverlustes [1] hatte gezeigt, dass sich die Re-Abhängigkeit des Druckverlustbeiwertes  $\zeta$  ab  $Re = 300$  ähnlich verhält, wie dies für das glatte Rohr im turbulenten Bereich bekannt ist:

$$\zeta = C_{\zeta} \cdot Re^{-m} \quad (1)$$

Darin ist  $m = 0,25$  sowohl für das glatte Rohr wie auch für die untersuchte Platte des RA. In dieser Gleichung ist C der Re-unabhängige Druckverlustbeiwert  $\zeta^* = C_{\zeta} = \zeta \cdot Re^{0,25}$ .

Betrachtet man wieder einen Apparat bei unveränderter Geometrie und unveränderten Stoffwerten, d.h. gleichem Medium und konstanter Temperatur, erhält man mit Gl. (1) und dem bekannten Ansatz für den Druckverlust  $\Delta p$ :

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{l}{d_h} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left( \frac{\dot{V}}{A_{\text{Strömungsquerschnitt}}} \right)^2 = C_{\zeta} \cdot Re^{-0,25} \cdot \frac{l}{d_h} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left( \frac{\dot{V}}{A_{\text{Strömungsquerschnitt}}} \right)^2 \quad (2)$$

Fasst man darin die geschwindigkeitsunabhängigen Konstanten zusammen, ergibt sich:

$$\Delta p = \zeta_v \cdot Re^{-m} \cdot (\dot{V})^2 = \zeta_w \cdot w^{2-m} \quad (3)$$

$\zeta_w$  ist damit analog  $\zeta_v$  unabhängig von der Geschwindigkeit und enthält alle als konstant angenommenen Geometrie- und Stoffwerte. Diese Beziehung wird im Folgenden verwendet.

Für die Beschreibung des einphasigen Wärmeübergangs in Plattenapparaten lassen sich ebenfalls empirische Beziehungen verwenden. Als sehr flexible anpassbar erweisen sich dabei Gleichungen von der Form:

$$Nu = C_{Nu} \cdot Re^a \cdot Pr^b \quad (4)$$

Sie wurden im untersuchten Re-Bereich  $300 < Re < 10000$  und Pr-Bereich  $1 < Pr < 300$  sowohl für verschiedene Testapparate vom Typ des TA in Abb. 1 wie auch für den RA an Messwerte angepasst und werden im Folgenden ebenfalls verwendet.

### 2. Zusammenhang zwischen Druckverlust und Wärmeübergang vergleichsweise für Plattenspalt und Rohr

Erfahrungsgemäß bewirkt eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit bei unveränderter Geometrie und konstanten Stoffwerten eine Erhöhung des Druckverlustes und gleichzeitig eine Verbesserung des Wärmeübergangs wegen der Zunahme des Grades der Turbulenz. Die Abhängigkeiten des Druckverlustbeiwertes und der Nu-Zahl von der Re-Zahl hingegen zeigen den – in Grenzen – geometrieunabhängigen Einfluss der Turbulenz auf den konvektiven Wärmeübergang. Vergleicht man unter diesem Gesichtspunkt Platte und Rohr, so ergibt sich qualitativ folgendes Bild:

#### a) Druckverlust

Für die Plattenseite des Referenzapparates RA, beispielsweise, erhält man durch Anpassung der Gleichung (1) an Messwerte im gesamten untersuchten Bereich  $Re < 18000$ :

$$\zeta = 20,25 \cdot Re^{-0,274} \quad (5a)$$

Passt man den Gleichungstyp (1) aber im hier interessierenden Re-Bereich  $300 < Re < 10000$  an, so ergibt sich eine etwas passgenauere Gleichung für den turbulenten Bereich mit gleichem Re-Exponenten wie für das glatte Rohr:

$$\zeta = 12,8 \cdot Re^{-0,25} \quad (5b)$$

Setzt man den Vorfaktor  $C_{RA-P} = 12,8$  ins Verhältnis zu dem bekannten C-Wert für das turbulent durchströmte Rohr,  $C_{Rohr} = 0,3165$  erhält man:

$$\frac{\zeta_{RA-P}}{\zeta_{Rohr}} \approx 40 \quad (6)$$

Der Frage, wie sich ein so großer Unterschied in den Druckverlustbeiwerten im Verhältnis der entsprechenden Nu-Zahlen widerspiegelt, wird unter b) nachgegangen.

### b) Wärmeübergang

Der Zusammenhang zwischen Nu-Zahl und Widerstandsbeiwert ist für das turbulent durchströmte Rohr in der Gleichung von Petukhov [2] enthalten, der hier folgende Form gegeben wird:

$$Nu = \frac{\zeta_{Rohr}}{8} \cdot Re \cdot \frac{Pr}{1,07 + 1,46 \cdot 8,7 \cdot \sqrt{\frac{\zeta_{Rohr}}{8}} \cdot (Pr^{\frac{1}{3}} - 1)} = \frac{\zeta_{Rohr}}{8} \cdot Re \cdot B \quad (7)$$

Dieser Zusammenhang ist komplex, da der Bruch B nicht-linear von  $\zeta$  und Pr abhängig ist, und für plattenbezogene Abschätzungen nicht ohne weiteres verwendbar. Betrachtet man aber die Herleitung dieser halbempirischen Gleichung, so erkennt man, dass der  $\zeta$ -haltige Term in B mit dem Verhältnis zwischen der Geschwindigkeit am Rand der turbulenten Kernströmung  $u'$  zur mittleren Geschwindigkeit der Kernströmung  $\bar{u}$  zusammenhängt:

$$8,7 \cdot \sqrt{\frac{\zeta}{8}} = \frac{u'}{\bar{u}} \quad (8)$$

Diese Gleichung gilt für das glatte Rohr. Setzt man darin zunächst die wesentlich höheren  $\zeta$ -Werte für Platten dort ein, so erhielte man unsinnige Werte  $>1$ . Die Blasius-Beziehung für das Rohr von der Form der Gleichung (1) ergibt für den Ausdruck (8) bei zwei extremen Re-Zahlen,  $Re = 3000$  und  $100000$ , Rechenwerte von  $0,41$  bzw.  $0,64$ . Mit diesen beiden Extremwerten ist B aus Gleichung (7) in Abb. 2 als Funktion der Pr-Zahl im technisch interessierenden Pr-Bereich  $1 < Pr < 300$  halblogarithmisch dargestellt. Man sieht, dass die beiden Korrelationen sich im Vorfaktor kaum unterscheiden. Für den Exponenten der Prandtl-Zahl ergibt sich eine Variationsbreite von  $0,35$  bis  $0,41$ . Da die eigenen Messungen eher im Bereich niedriger Re-Zahlen durchgeführt wurden ( $300 < Re < 2000$ ), also in der Nähe des laminaren Bereiches, und da andererseits der Pr-Exponent in der Nu-Beziehung für laminare Strömung nach [2]  $0,33$  beträgt, erscheint die Annahme eines Wertes von  $0,35$  für den Pr-Exponenten an der unteren Grenze des betrachteten Re-Intervalls vertretbar.

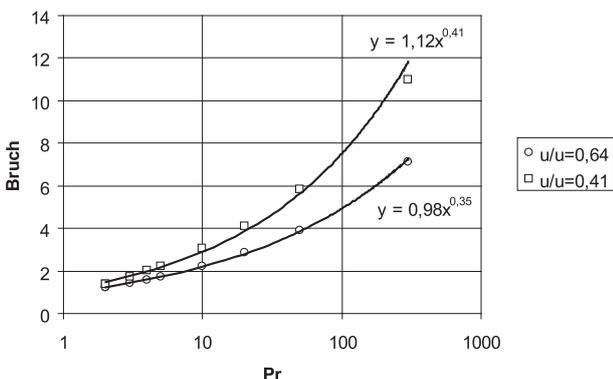


Abb. 2: Bruch B aus der Gleichung (7) in Abhängigkeit von der Pr-Zahl für zwei Werte des Ausdruckes (8) entsprechend den extremen Re-Zahlen  $3000$  und  $10000$ .

Mit diesem Pr-Exponenten vereinfacht sich die Petukhov-Beziehung zu:

$$Nu = c_1 \cdot \zeta \cdot Re \cdot Pr^{0,35} \quad (9)$$

Setzt man darin noch den Re-unabhängigen Druckverlustbeiwert ein, erhält man:

$$Nu = c_1 \cdot \zeta^* \cdot Re^{0,75} \cdot Pr^{0,35} \quad (10)$$

Für den RA wurde aus Messungen folgende empirische Korrelationsgleichung ermittelt:

$$Nu = 0,237 \cdot Re^{0,72} \cdot Pr^{0,32} \quad (11a)$$

Gültig im gesamten untersuchten Messbereich:  $37 < Re < 16100$  und  $1,9 < Pr < 264$ . Bei der Anpassung besteht eine gewisse Freiheit in der Wahl der Anpassungsparameter einerseits und in der Wahl des Anpassungsbereiches für die Re- und Pr-Zahl andererseits. Um einen besseren Vergleich zum Rohr zu erhalten, wurde deshalb hier als Exponent für die Pr-Zahl von  $1/3 = 0,33$  gewählt und im hier betrachteten Re-Bereich  $300 < Re < 10000$  angepasst. Ergebnis war folgende Gleichung:

$$Nu = 0,19 \cdot Re^{0,75} \cdot Pr^{0,33} \quad (11b)$$

Wie man sieht, ergab sich auch hier, wie schon beim Druckverlust derselbe Re-Exponent, wie für das glatte Rohr. Aus dem Vergleich von (10) und (11b) bei Berücksichtigung von  $\zeta^* = 12,8$  für die Platte, wie aus Messwerten für den RA ermittelt, und bei Vernachlässigung des geringfügigen Unterschiedes im Pr-Exponenten der beiden Gleichungen, erhält man ein  $c_1$  von  $0,015$  für die Platte. Beim Rohr betrug dieser Wert  $0,125$  gemäß der Petukhov-Gleichung [1]. Außerdem ist  $\zeta^* = 0,3164$  für das Rohr, aus der Blasius-Gleichung [1]. Setzt man die beiden Seiten von Gl. (11b) und (10) ins Verhältnis und vernachlässigt dabei die geringen Unterschiede der Pr-Exponenten, ergibt sich:

$$\frac{Nu_{RA-P}}{Nu_{Rohr}} \approx \frac{(c_1 \cdot \zeta^*)_{Platte}}{(c_1 \cdot \zeta^*)_{Rohr}} = \frac{0,015 \cdot 12,8}{0,125 \cdot 0,3164} = 4,75 \quad (12)$$

Die Nusselt-Zahlen des RA und des Rohres unterscheiden sich demnach näherungsweise um den Faktor  $4,75$ . Dem ist das analoge Verhältnis der Druckverlustbeiwerte von  $40$  gegenüberzustellen. Man sieht, dass dem vergleichsweise höheren Druckverlust im Plattenapparat auch eine Verbesserung des Wärmeübergangs entspricht, die allerdings weit weniger stark ausfällt. Dies ist bei Apparaten unterschiedlichen Typs, wie es Plattenapparat und Rohr sind, auch nicht anders zu erwarten.

Würde man zwei Rohrapparate R1 und R2 miteinander vergleichen, ergäbe sich aus Ähnlichkeitsgründen bei gleichen Re- und Pr-Zahlen nach Gleichung (12)

$$\frac{Nu_{R1}}{Nu_{R2}} = \frac{\zeta_{R1}}{\zeta_{R2}} \quad (13)$$

da beim Rohr in Gleichung (9) bzw. (10) Proportionalität zwischen Druckverlustbeiwert und Nu-Zahl angenommen werden kann.

Dieser Denkansatz erscheint formal übertragbar, um andere Apparate gleichen Typs, z. B. Plattenwärmeübertrager untereinander zu vergleichen. Werden z. B. Plattenapparate mit unterschiedlicher Geometrie (Plattenform, -durchmesser, -prägung) untersucht, kann es wichtig sein zu entscheiden, welcher Apparat der bessere ist sowohl hinsichtlich Druckverlust, wie auch hinsichtlich Wärmeübergang. Dabei wird zu berücksichtigen sein, dass wirtschaftlich betrachtet, die Betriebskosten mit steigender steigen die Investkosten aber fallen, d.h. Druckverlustbeiwert und Nu-Zahl – wirtschaftlich betrachtet – gegenläufig sind. Angenommen ein modifizierter Testapparat TA soll mit einem Referenzapparat RA verglichen werden, so lautet die dafür angewendete Gleichung (13):

$$\frac{Nu_{TA}}{Nu_{RA}} = \frac{\zeta_{TA}}{\zeta_{RA}} \quad \text{oder} \quad \frac{Nu_{TA}}{\zeta_{TA}} = \frac{Nu_{RA}}{\zeta_{RA}} = 1 \quad (14)$$

Voraussetzung ist auch hier Proportionalität zwischen Druckverlustbeiwert und Nu-Zahl.

### 3. Zur Wirtschaftlichkeit von Plattenapparaten

Der Doppelbruch in Gleichung (14) lässt sich noch folgendermaßen umstellen:

$$\frac{Nu_{TA}}{Nu_{RA}} = \frac{Nu_{TA}/\zeta_{TA}}{Nu_{RA}/\zeta_{RA}} \quad (15)$$

Im Zähler und Nenner stehen nun dimensionslose Brüche, die sich nunmehr jeweils auf einen Apparat beziehen und die eine bessere Interpretation ermöglichen als dies mit Gleichung (14) möglich ist.

Da – erfahrungsgemäß in erster Näherung – der Druckverlust proportional den im Folgenden mit BK bezeichneten Betriebskosten, die Nusseltzahl aber umgekehrt proportional den im Folgenden mit IK bezeichneten Investkosten ist, gemäß

$$BK \sim \Delta p \sim \zeta \quad (16)$$

$$IK \sim 1/Nu \sim 1/\alpha \quad (17)$$

Folgt daraus, dass die Verhältnisse  $Nu/\zeta$  umgekehrt proportional den Gesamtkosten sind und somit ein Maß für die Wirtschaftlichkeit eines Apparates darstellen:

$$W \sim 1/(BK \cdot IK) \sim Nu/\zeta \quad (18)$$

Das Verhältnis  $Nu/\zeta$  kann man auch als eine Art wirtschaftlichen Wirkungsgrad gegeben durch das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand sehen. Wir definieren es im Folgenden als „Gütezahl“  $G$ :

$$G = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{Nu}{\zeta} \quad (19)$$

Damit wird die relative Wirtschaftlichkeit  $w = W_{TA}/W_{RA}$ , hier für TA/RA als Vergleichswert der Wirtschaftlichkeiten zweier unterschiedlicher Plattenapparate durch das Verhältnis der Gütezahlen ausgedrückt:

$$w = \frac{W_{TA}}{W_{RA}} = \frac{Nu_{TA}/\zeta_{TA}}{Nu_{RA}/\zeta_{RA}} = \frac{G_{TA}}{G_{RA}} \quad (20)$$

Für wirtschaftlich gleichwertige Apparate ergibt sich ein  $w = 1$  anderenfalls von 1 verschiedene Werte.

Die experimentellen Druckverlust- und Wärmeübergangsergebnisse als  $\zeta$ -Werte und Nu-Zahlen liegen für die hier beispielhaft betrachteten Apparate TA und RA in der Form von empirischen Korrelationen nach Gleichungen (1) bzw. (4) vor und können somit verwendet werden, um einen Wirtschaftlichkeitsvergleich einzelner Apparatetypen durchzuführen.

### 4. Vergleich Testapparat – Referenzapparat

#### a) Druckverlust

In Abb. 3 sind die aus Messungen ermittelten platten- und mantelseitigen Druckverlustbeiwerte des Referenzapparates  $\zeta_{TA-P}$  und  $\zeta_{TA-M}$  sowie der mantelseitige Druckverlustbeiwert  $\zeta_{RA-M}$  bezogen auf den entsprechenden Referenzwert  $\zeta_{RA-P}$  dargestellt. Betrachtet man den für Plattenwärmeübertrager technisch interessanten Re-Bereich ab  $Re = 300$ , so ergeben die bisherigen Messungen für die Mantelseite des RA etwa 1, 4 mal größere Druckverluste, für die Mantelseite des TA sogar um ca. Faktor 2 höhere Werte als für die Plattenseite des RA.

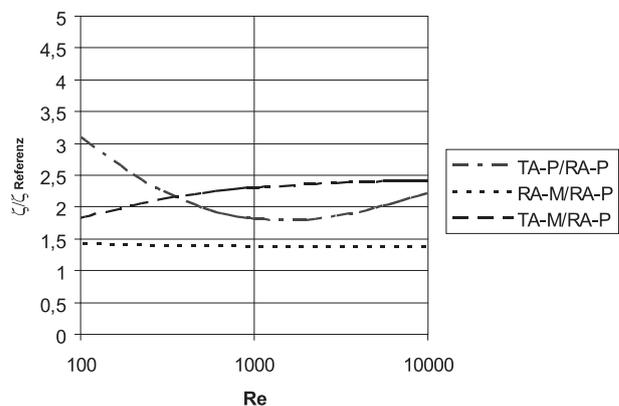


Abb. 3: Druckverlustbeiwerte für Platte und Mantel des Testapparates TA bezogen auf den Referenzwert RA-P in Abhängigkeit von der Re-Zahl

Als Ursache für die höheren Druckverluste im TA kommen schlecht durchströmte Bereiche in Frage, die in Abb. 4 schraffiert dargestellt sind. Diese nicht durchströmten Flächen können plattenseitig an den Rändern und mantelseitig im mittleren Bereich vermutet werden. Durch die erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten in den gut durchströmten, nichtschraffierten Bereichen lassen sich somit die im Vergleich zum RA höheren Druckverluste erklären. Am Wärmeaustausch hingegen sind am stärksten nur die Bereiche beteiligt, die beidseitig gut durchström sind. Die bevorzugten Wärmeübertragungsflächen ergeben

sich demnach aus den Schnittmengen  $a \cap b$  der gut durchströmten Flächenbereiche aus a) und b) in Abb. 4.

Eine gleichmäßigere Durchströmung, wie sie in den gestrichelt abgetrennten Ein- und Auslaufbereichen (27 % der Austauschfläche) erreicht würde, wenn diese mit entsprechend modifizierten Ein- und Auslaufbereichen ausgeführt wären, hätte dann positive Auswirkungen sowohl auf den Druckverlust wie auch auf den Wärmeübergang, da die gesamte Fläche gleichmäßiger an der Wärmeübertragung beteiligt würde.

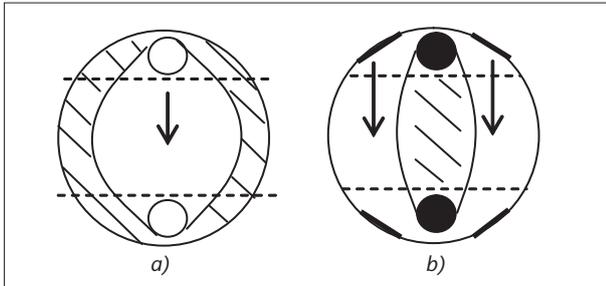


Abb. 4: Platten- (a) und Mantelseite (b) des Testapparates. Die schlecht durchströmten Bereiche sind schraffiert, mantelseitige Ein- und Auslaufbereiche fett.

### b) Wärmeübergang

Zum Vergleich des Wärmeübergangs können die empirischen Gleichungen vom Typ (4) herangezogen werden, die durch Anpassung an Messwerte gewonnen wurden:

$$\text{TA: } Nu = 0,13 \cdot Re^{0,78} \cdot Pr^{0,38}$$

$$\text{RA: } Nu = 0,237 \cdot Re^{0,72} \cdot Pr^{0,32}$$

Mit diesen Gleichungen ergeben sich überschlägig z. B. folgende Nu-Vergleichswerte für

$$\begin{aligned} \text{Re} = 300, Pr = 2: & \quad Nu_{TA} = 14,5 \quad \text{und} \quad Nu_{RA} = 18,0 \\ \text{Re} = 10000, Pr = 2: & \quad Nu_{TA} = 223,0 \quad \text{und} \quad Nu_{RA} = 224,0 \end{aligned}$$

Der Unterschied im untersuchten Re-Bereich ist trotz des Unterschiedes von ca. 20 % im niedrigen Re-Bereich praktisch vernachlässigbar, wenn man bedenkt, dass ist die Qualität der Anpassung zu niedrigen Re-Zahlen hin schlechter wird.

### c) Wirtschaftlichkeitsvergleich zweier Testapparate jeweils mit dem Referenzapparat und untereinander

Im Folgenden werden zwei Testapparate einerseits mit dem in Abb. 1a) schematisch dargestellten Referenzapparat RA und andererseits untereinander verglichen:

TA1: Testapparat mit weicherer Prägung im Vergleich zu TA in Abb. 1b)

TA2: Testapparat mit harter Prägung = TA in Abb. 1b)

Beide Testapparate weisen ansonsten die gleiche Geometrie wie in Abb. 1 b) auf.

Für alle Apparate werden Widerstandsbeiwerte und Nu-Zahlen verwendet, die zwischen Platten- und Mantelseite gemittelt wurden.

Abb. 5 und 6 enthält einen Wirtschaftlichkeitsvergleich der Testapparate 1 und 2 jeweils mit dem Referenzapparat, Abb. 7 einen Wirtschaftlichkeitsvergleich der beiden Test-

apparate TA1 und TA2 untereinander. Abb. 6 bis 8 gelten für eine  $Pr=8$ , die typisch für den Versuchsstoff Wasser ist.

Im Einklang mit Abb. 3 ergeben sich für beide Testapparate höhere Widerstandsbeiwerte als für den RA, wobei der Unterschied mit steigender Re-Zahl noch zunimmt. TA2 mit der härteren Platte weist naturgemäß die größeren Druckverluste auf. Sie sind im untersuchten Re-Bereich 1,8 bis 2,6 mal größer als beim RA. Die Nu-Zahlen sind für den TA1 20-30 % und für TA2 10-20 % geringer als für den Testapparat, wobei der Einfluss der Re-Zahl dabei gering ist und im Rahmen der Messgenauigkeit bleibt. Eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit ergibt das Verhältnis der G-Zahlen, das einen mit der Re-Zahl zunehmenden Vorteil des RA von bis zu 60 % entsprechend Faktor 2,5 anzeigt.

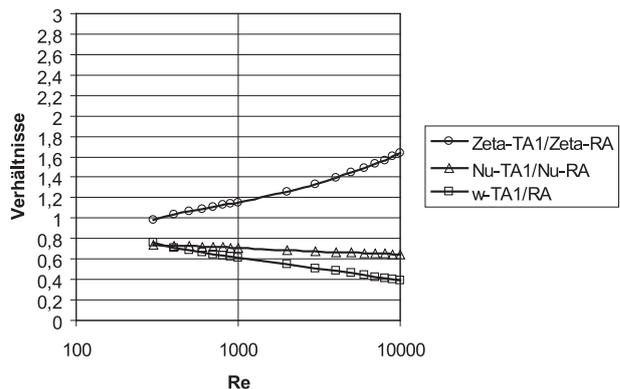


Abb. 5: Verhältnisse der Nu-Zahlen, Widerstandsbeiwerte  $\zeta$  und Gütezahlen  $G$  für TA1/RA in Abhängigkeit von der Re-Zahl bei  $Pr=7$  (Versuchsstoff: Wasser  $20^\circ\text{C}$ )

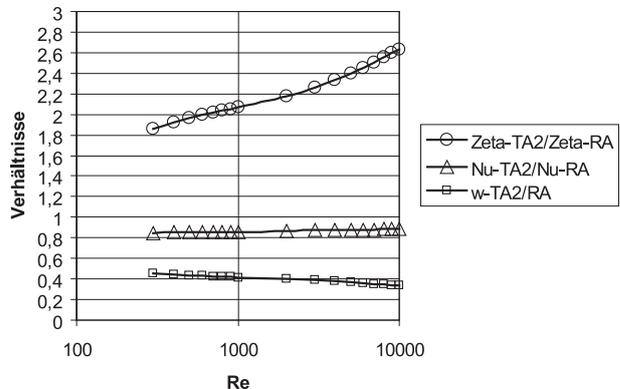


Abb. 6: Verhältnisse der Nu-Zahlen, Widerstandsbeiwerte  $\zeta$  und Gütezahlen  $G$  für TA2/RA in Abhängigkeit von der Re-Zahl bei  $Pr=7$  (Versuchsstoff: Wasser  $20^\circ\text{C}$ )

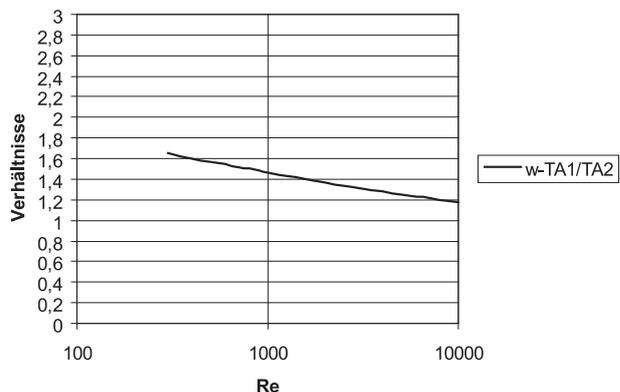


Abb. 7: Relative Wirtschaftlichkeit  $w$  in Abhängigkeit von der Re-Zahl für die Testapparate TA1 und TA2 bei  $Pr=7$  (Versuchsstoff: Wasser  $20^\circ\text{C}$ )

Aufschlussreich für den Vergleich der beiden Testapparate untereinander ist erst eine Betrachtung der relativen Wirtschaftlichkeit  $w = G1/G2$  in Abbildung 7. Man sieht, dass die weiche Platte einen wirtschaftlichen Vorteil von bis zu 60 % entsprechend Faktor 1,6 bei niedrigen Re-Zahlen aufweist, der aber mit steigender Re-Zahl abnimmt auf unter 20 % entsprechend Faktor 1,2 bei  $Re=10000$ .

Man sieht, dass die relative Wirtschaftlichkeit mit steigender Re-Zahl gegen 1 geht, d.h. ein signifikanter wirtschaftlicher Unterschied nur bei mittleren bis kleinen Re-Zahlen besteht.

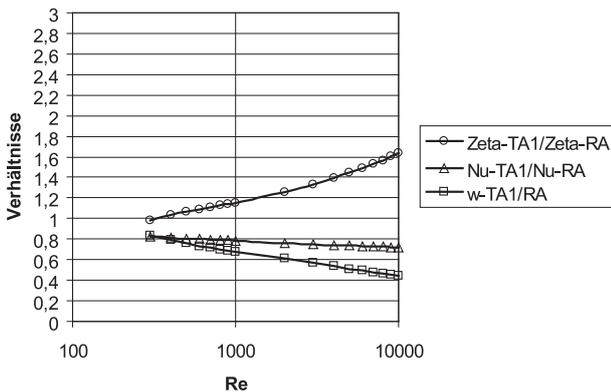


Abb. 8: Verhältnisse der Nu-Zahlen, Widerstandsbeiwerte  $\zeta$  und Gütezahlen  $G$  für TA1/RA in Abhängigkeit von der Re-Zahl bei  $Pr=70$  (Versuchsstoff: Marlotherm SH  $80^{\circ}C$ )

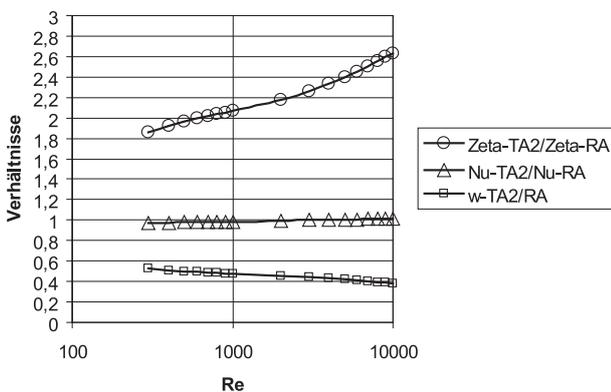


Abb. 9: Verhältnisse der Nu-Zahlen, Widerstandsbeiwerte  $\zeta$  und Gütezahlen  $G$  für TA2/RA in Abhängigkeit von der Re-Zahl bei  $Pr=70$  (Versuchsstoff: Marlotherm SH  $80^{\circ}C$ )

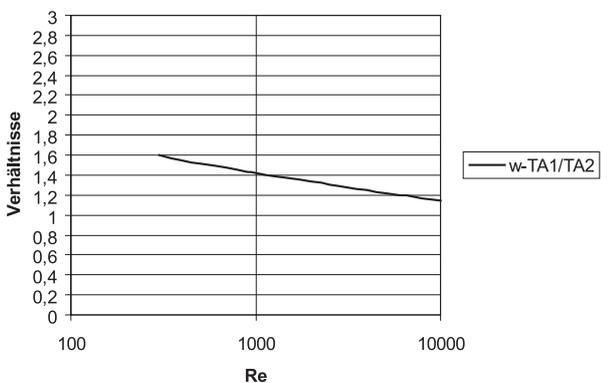


Abb. 10: Relative Wirtschaftlichkeit  $w$  in Abhängigkeit von der Re-Zahl für die Testapparate TA1 und TA2 bei  $Pr=70$  (Versuchsstoff: Marlotherm SH  $80^{\circ}C$ )

Bei einer Pr-Zahl von 70, typisch für den zähflüssigeren Versuchsstoff Wärmeträgeröl, ergibt sich ein qualitativ ähnlicher Sachverhalt gemäß Abb. 8-10: Starker Anstieg der Widerstandsbeiwerte in den beiden TA im Vergleich zu RA mit steigender Re-Zahl, um mehr als Faktor 2 beim TA2, aber fast kein Einfluß der Re-Zahl auf das Verhältnis der Nu-Zahlen, die für TA1 20-30 % geringer und für TA2 kaum merklich geringer als für RA sind. Bezüglich des Unterschieds in den Widerstandsbeiwerten der Testapparate TA1 und TA2 in Relation zu RA besteht Klärungsbedarf in Folgeuntersuchungen.

Der Vergleich zwischen TA1 und TA2 in Abb. 10 zeigt, dass die weiche Platte auch in diesem Pr-Bereich bei kleinen bis mittleren Re-Zahlen um um 50-20 % besser d.h. wirtschaftlicher als die harte Platte ist, wobei der Unterschied zu hohen Re-Zahlen hin auch hier abnimmt.

## Zusammenfassung

Ausgehend von Druckverlust und Wärmeübergang im einphasig turbulent durchströmten, glatten Rohr wurde eine dimensionslose Gütezahl  $G$  als Verhältnis von Nusseltzahl und Widerstandsbeiwert eingeführt, die es ermöglicht die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Plattenapparate vergleichsweise abzuschätzen. Die beispielhafte Anwendung auf zwei Testapparaten mit unterschiedlicher Plattenprägung ergab eine besserer relative Wirtschaftlichkeit der weichen Platte vergleichsweise zur harten Platte im Bereich kleiner und mittlerer Re-Zahlen für einen weiten Bereich der Pr-Zahl, die aber mit zunehmender Re-Zahl abnimmt. Der Druckverlustunterschied zwischen Testapparaten und Referenzapparat sollte in weiterführenden Untersuchungen behandelt werden.

## Literatur

- [1] J.-U. Gerking, M. Haß, J. Schmadl, I. Schult und J. Schult: „Neuartige Plattenwärmeübertrager. Teil B: Zum Einfluss von Bypass-Strömung auf Druckverlust und Wärmeübertragung in Plattenwärmeübertragern“, Wissenschaftliche Beiträge der TFH Wildau, Heft 2005, S. 109.
- [2] VDI-Wärmeatlas, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 1998.

## Danksagung und Hinweis

Für die finanzielle Förderung dieser Arbeit (Teile A bis D) sind wir dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) zu Dank verpflichtet. Das zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des BMBF unter dem Förderkennzeichen 1711Z03 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

## **Autoren**

**Prof. Dr.-Ing. Josef Schmadl**

**Dipl. -Ing. Jens-Uwe Gerking**

Technische Fachhochschule Wildau

Technikum für Thermische Verfahrenstechnik

Tel. +49 3375 508-110

jschmadl@igw.tfh-wildau.de

**Dipl.-Ing. Joachim Schult**

**Dr. Ingrid Schult**

**Dipl.-Ing. (FH) Maik Haß**

**Dipl.-Ing. (FH) Carsten Briesenick**

Caloperm GmbH

Am Möllenberg 40, 15751 Niederlehme

Tel. +49 3375 5185-18