



Doctoral Thesis

Die Ueberlagerung von erzwungener und natürlicher Konvektion bei niedrigen Durchsätzen in einem lotrechten Rohr

Author(s):

Brown, William Greenwood

Publication Date:

1960

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000099904> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

**Die Überlagerung von erzwungener
und natürlicher Konvektion bei niedrigen Durchsätzen
in einem lotrechten Rohr**

Von der
**EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE IN ZÜRICH**

zur Erlangung
der Würde eines Doktors der
technischen Wissenschaften
genehmigte
PROMOTIONSARBEIT

Vorgelegt von
William Greenwood Brown
Kanadischer Staatsangehöriger

Referent: Herr Prof. Dr. phil. *P. Grassmann*
Korreferent: Herr Prof. Dr. *W. Traupel*

VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf

1 9 6 0

Tafel 7. Versuchsdaten für die turbulente Abwärtsströmung mit Heizung bei Fall II mit dem Dichtegradienten $\partial q/\partial x > 0$.

Versuch Nr.	Nr. der Meßstelle im Rohr	Wandtemperatur T_w °C	Wassertemperatur in der Rohrachse T_0 °C	Temperaturgradient ∂T grd/m	mittlere Geschwindigkeit w mm/s	Nußeltzahl Nu_0	Parameter Z	Reynoldszahl Re	Prandtlzahl Pr	Grashofzahl $10^{-4} Gr_0$	Verhältnis $Nu_0/Pr^{1/4}$	Potenz $Gr_0^{1/3}$
41	1	22,6	18,2	9,0	3,91	3,5	4,6	60	6,8	3,0	2,2	630
	2	24,0	20,4	7,4	3,91	3,2	4,5	63	6,5	3,1	2,0	640
	3	25,4	22,0	7,3	3,91	3,1	4,5	65	6,2	3,5	3,5	692
	4	27,1	23,4	5,7	3,91	2,2	4,4	67	6,0	4,3	1,4	795
	5	28,5	24,4									
42	1	25,1	17,4	6,6	8,90	3,0	4,3	139	6,6	6,2	1,9	990
	2	26,5	18,7	7,9	8,90	3,6	4,6	144	6,4	6,8	2,3	1050
	3	27,9	20,7	7,3	8,90	3,5	4,6	150	6,1	7,4	2,2	1110
	4	29,5	22,4	8,5	8,90	4,2	5,0	156	5,9	8,9	2,7	1220
	5	31,2	24,3									
43	1	29,1	21,3	8,90	8,94	3,8	4,9	154	5,9	9,3	2,4	1270
	2	31,3	23,1	10,9	8,94	4,6	5,3	162	5,6	11,1	3,0	1410
	3	33,6	25,6	13,6	8,94	6,0	5,7	171	5,2	12,9	4,0	1550
	4	36,2	28,8	13,0	8,94	6,0	5,9	182	4,9	14,5	4,1	1680
	5	38,9	31,7									
44	1	26,4	21,5	12,3	4,03	3,9	5,2	68	6,1	5,3	2,5	891
	2	29,0	24,0	13,8	4,03	4,3	5,6	72	5,6	6,6	2,7	1035
	3	31,8	26,9	15,7	4,03	5,0	6,0	77	5,2	8,1	3,3	1175
	4	34,9	30,1	17,5	4,03	5,7	6,4	82	4,9	9,7	3,8	1320
	5	38,3	33,7									
45	1	33,6	23,5	18,3	10,3	7,5	6,2	195	5,3	15	4,9	1740
	2	37,0	27,8	16,9	10,3	7,0	6,3	211	4,9	19	4,7	2000
	3	40,8	31,2	23,6	10,3	9,7	7,1	228	4,4	24	6,7	2340
	4	45,5	36,3	23,7	10,3	9,6	7,5	249	4,0	33	6,8	2820
	5	50,5	40,9									
46	1	38,6	25,3	18,2	17,0	9,2	6,4	342	4,9	25	6,1	2400
	2	41,7	29,6	18,1	17,0	9,6	6,6	369	4,5	30	6,6	2630
	3	45,2	33,6	19,6	17,0	11,0	7,0	395	4,2	35	7,7	2880
	4	48,8	38,0	19,5	17,0	11,5	7,2	425	3,9	40	8,2	3160
	5	52,6	42,1									
47	1	41,7	25,5	19,2	22,3	10,0	6,6	465	4,7	36,6	6,7	3020
	2	45,7	29,7	21,7	22,3	11,4	7,1	507	4,3	45,9	7,9	3470
	3	50,0	34,3	23,8	22,3	12,8	7,6	548	3,9	57,4	9,1	3980
	4	54,5	39,5	26,0	22,3	14,0	8,0	602	3,6	72,2	10,2	4570
	5	60,0	44,7									

6. Zusammenfassung

Die Theorie des Zusammenwirkens von freier und erzwungener laminarer Konvektion in einem lotrechten Rohr wurde auf den Fall der gleichzeitig vorhandenen konstanten Wärme- und Stoffstromdichte erweitert. Für diese erweiterte Theorie müssen der Parameter Z (bzw. die Rayleighzahl) und die Grashofzahl Gr mit dem Dichteunterschied statt mit dem Temperaturunterschied gebildet werden. Die Theorie schließt auch die Bestimmung des Temperaturverlaufs und des Wärmeübergangs für den Sonderfall ein, daß die Konzentration allein die Dichte beeinflusst. In diesem Fall bleiben die Konzentrationsverteilung und die Sherwoodzahl längs des Rohres konstant, während die Temperaturverteilung und die Nußeltzahl vom Abstand längs des Rohres abhängen. Ein Näherungsverfahren erlaubt das Abschätzen des Einflusses einer Viskositätsänderung in der radialen Richtung.

Die grundlegende Theorie wurde für den Fall konstanter Wärmestromdichte mit dem axialen Dichtegradienten $\partial q/\partial x < 0$ sowohl für die Aufwärtsströmung mit Heizung wie auch für die Abwärtsströmung mit Kühlung experimentell gut bestätigt: die gemessenen Temperaturverteilungen und die Nußeltzahlen stimmten bei genügend kleinen Reynoldszahlen Re mit der Theorie überein. Ein besonderes Merkmal der Theorie, nämlich eine Rück-

strömung für $Z > 5,01$, konnte eindeutig durch die Inversion der Wärmestromrichtung in der Rohrmitte festgestellt werden. Es gelang ferner, die Abhängigkeit der kritischen Reynoldszahl vom Parameter Z (oder von Gr/Re) zu bestimmen. Unter den meist gewählten Versuchsbedingungen hatte die kritische Reynoldszahl den überraschend kleinen Wert von etwa 30. Der Übergang von der laminaren in die turbulente Strömung, der erst nach dem Durchlaufen einer Länge von einigen Rohrdurchmessern beginnt, deutete sich durch kleine Temperaturschwingungen an. Für Werte der Reynoldszahl über etwa 100 blieben die Temperaturunterschiede zwischen dem Wasser und der Rohrwand während der Turbulenz immer kleiner als nach der laminaren Theorie.

Der Gültigkeitsbereich der laminaren Theorie für den Fall $\partial q/\partial x > 0$ erwies sich als auf Z -Werte unter etwa 3,6 beschränkt. Für größere Werte von Z ist die Strömung sowieso instabil und bleibt für alle Reynoldszahlen turbulent. Für Z -Werte über etwa 4 blieb der Wärmeübergang innerhalb des untersuchten Meßbereichs unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit. Dabei ließ sich die Nußeltzahl als eine Funktion der Grashofzahl und der Prandtlzahl darstellen. Diese Darstellung konnte auch theoretisch begründet werden.