

Wärmeübergang und Druckabfall an
querdurchströmten Glattrohrbündeln

Von der Fakultät Energietechnik der
Universität Stuttgart zur Erlangung
der Würde eines Doktors der
Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von Walter Schellerich
aus Reichenberg

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. E. Hähne
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. J. Wachter
Tag der mündlichen Prüfung: 25. Februar 1983

Institut für Thermodynamik und
Wärmetechnik der Universität Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzfassung	5
Formelzeichen	6
Kennzahlen	8
Indizes	8
1. Einleitung	9
2. Theoretische Grundlagen	
2.1 Wärmeübergang	11
2.2 Druckabfall	15
2.3 Turbulenzgrad und Turbulenzlänge	16
3. Ergebnisse aus der Literatur	18
4. Theoretische Untersuchung	
4.1 Einfluß der Geschwindigkeitsverteilung	21
4.2 Einfluß der Temperaturverteilung	29
5. Experimentelle Untersuchung	
5.1 Versuchsaufbau	
5.1.1 Strömungskanal	31
5.1.2 Kühlkreislauf	33
5.1.3 Kanalkreislauf	34
5.1.4 Heizkreislauf	35
5.1.5 Meßstrecke und Rohrbündel	37
5.1.6 Meßeinrichtungen	
5.1.6.1 Luftmengenmessung	39
5.1.6.2 Druckmeßstellen	42
5.1.6.3 Differenzdruckmessung	42
5.1.6.4 Messung der Lufttemperaturen	45
5.1.6.5 Messung der Wassertemperaturen	46
5.1.6.6 Temperaturmeßtechnik	47
5.1.6.7 Eichung der Thermoelemente	49
5.1.6.8 Durchflußmessung im Heizwasserkreislauf	49

5.2	Vorbereitende Versuche	
5.2.1	Ermittlung der Wärmeverluste der Meßstrecke	50
5.2.2	Druckabfall des leeren Kanales	50
5.2.3	Druckabfall durch Turbulenzgitter	51
5.2.4	Turbulenzgradmessungen	
5.2.4.1	Versuchsanordnung	53
5.2.4.2	Versuchsauswertung	55
5.2.4.3	Ergebnisse der Turbulenzgradmessungen	
5.2.4.3.1	Kanalturbulenz ohne Gitter	58
5.2.4.3.2	Turbulenzgrad stromabwärts von Gittern	59
5.2.4.3.3	Turbulenzlänge L_y	65
5.3	Wärmeübergang und Druckabfall von Rohrreihen und Rohrbündeln bei unterschiedlicher Turbu- lenz in der Zuströmung	
5.3.1	Versuchsdurchführung	66
5.3.2	Versuchsauswertung	
5.3.2.1	Wärmeübergang	70
5.3.2.2	Druckabfall	82
5.3.3	Fehlerbetrachtung	83
6.	Versuchsergebnisse	
6.1	Kontrollversuche	86
6.2	Wärmeübergang an einer Einzelreihe bei unter- schiedlicher Turbulenz in der Anströmung	89
6.3	Druckabfall an einer Einzelreihe bei unter- schiedlicher Turbulenz in der Anströmung	96
6.4	Wärmeübergang an einzelnen Reihen im Rohrbündel und mittlerer Wärmeübergang an Rohrbündeln	
6.4.1	Fluchtende Rohranordnung	99
6.4.2	Versetzte Rohranordnung	108
6.5	Druckabfall an Rohrbündeln	114
6.5.1	Fluchtende Rohranordnung	115
6.5.2	Versetzte Rohranordnung	123

	Seite
6.6 Versuche mit Kulissenrohrreihen in Rohrbündeln	126
6.6.1 Wärmeübergang; fluchtende Rohranordnung	128
6.6.2 Wärmeübergang; versetzte Rohranordnung	137
6.6.3 Druckabfall	139
7. Schlußfolgerungen	141
8. Zusammenfassung	143
9. Literaturverzeichnis	146
10. Anhang: Transport- und Zustandsgrößen	152
Tafeln	155

Kurzfassung

Untersucht wurden der Wärmeübergang und der Druckabfall an drei- und vierreihigen, querdurchströmten Glattrohrbündeln sowie an einer Einzelreihe bei unterschiedlichem Turbulenzgrad ($0,014 \leq Tu_x \leq 0,17$) in der Anströmung im Bereich der Reynolds-Zahl zwischen 12000 und 70000. Den Ergebnissen ist zu entnehmen, daß der Wärmeübergang an der Einzelreihe näherungsweise proportional $(1 + Tu_x)$ ist. Dieser Zusammenhang besteht auch für die erste Reihe des fluchtend angeordneten Bündels gleicher Querteilung. Für die erste Reihe des versetzt angeordneten Bündels ist lediglich feststellbar, daß der Wärmeübergang bei gesteigertem Turbulenzgrad zunimmt. Bei der fluchtenden Rohranordnung wird der Wärmeübergang an der zweiten Reihe im Vergleich zur ersten Reihe in abgeschwächter Form, an den folgenden Reihen innerhalb der Meßgenauigkeit nicht beeinflußt. Bei der versetzten Rohranordnung wirkt sich der Turbulenzgrad von der zweiten Rohrreihe an nicht mehr auf den Wärmeübergang aus.

An den drei- und vierreihigen fluchtenden Rohranordnungen ist eine Zunahme des Druckabfalles bei gesteigertem Turbulenzgrad in der Anströmung nachweisbar. Keinen erkennbaren Einfluß hat dagegen die (mit Gittern) erzeugte Turbulenz auf den Druckabfall am versetzt angeordneten Rohrbündel.

Versuche mit fluchtend angeordneten Rohrbündeln, die beheizte und unbeheizte Rohre enthalten, zeigen, daß an Reihen stromabwärts von unbeheizten Rohrreihen, abhängig von der Reynolds-Zahl und der Längsteilung, höhere Wärmeübergangskoeffizienten ermittelt werden als hinter beheizten Rohrreihen. Beim engsten untersuchten Längsteilungsverhältnis $b = 1,5$ ergeben sich im unteren Versuchsbereich ($Re_d \approx 12000$) um den Faktor 1,12 erhöhte Wärmeübergangskoeffizienten. Entsprechende Versuche mit versetzt angeordnetem Rohrbündel lassen keinen Zusammenhang zwischen den für einzelne Reihen ermittelten Wärmeübergangskoeffizienten und dem Beheizen der jeweils stromaufwärts angeordneten Reihen erkennen.