

WÄRMEÜBERGANG UND DRUCKVERLUST
BEI ZWEIPHASENSTRÖMUNG

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

Vorgelegt von
Willi Haßdenteufel
aus Steinberg

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. E. Hahne
Mitberichter: Prof. Dr. techn. R. Dolezal
Tag der mündlichen Prüfung: 19. 11. 1982

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik

1983

Kurzfassung

HASSDENTEUFEL, WILLI

WÄRMEÜBERGANG UND DRUCKVERLUST BEI ZWEIPHASENSTRÖMUNG

Eine Zweiphasen-Flüssigkeits-Dampf-Strömung ist durch eine sich örtlich und zeitlich ändernde Phasengrenze gekennzeichnet. Die komplizierten Vorgänge, bedingt durch die Wechselwirkungen zwischen den Phasen, erschweren die analytische Behandlung sehr. Um verlässliche Berechnungsunterlagen für Wärmeübergang und Druckverlust zu schaffen, wurden Vorhersagemethoden entwickelt, die auf physikalischen Modellen beruhen. Am bekanntesten sind das homogene und das heterogene Modell. Das homogene Modell ist die einfachste Lösung. Die Zweiphasenströmung wird dabei wie eine quasihomogene Einphasenströmung behandelt. Die sinnvolle Definition der mittleren Zähigkeit des Zweiphasengemisches bereitet jedoch noch große Schwierigkeiten. Das homogene Modell wird wegen seiner einfachen Handhabung häufig als Bezugsmodell benutzt. In manchen Fällen ist es jedoch ungeeignet. Deshalb wäre es wünschenswert, wenn der Gültigkeitsbereich genauer bekannt wäre.

Dazu wurde eine experimentelle Untersuchung des Wärmeüberganges und des Druckverlustes im Bereich der Blasen- und Schaumströmung im senkrechten Rohr durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, daß im Bereich der Blasenströmung der Wärmeübergang mit Hilfe des homogenen Modelles berechnet werden kann. Die Mittelwertbildung für die Zähigkeit kann dabei umgangen werden. Im Bereich der Schaumströmung ist eine Korrelation der Meßwerte nur mit Hilfe der Chen-Gleichung für erzwungene Konvektion möglich. Die Ergebnisse der Druckverlustmessungen zeigen, daß der berechnete Druckabfall durch Höhenänderung z.T. gleich groß bzw. größer ist als der gemessene Gesamtdruckverlust. Dadurch ergibt sich ein negativer Reibungsdruckverlust. Zur genauen Erklärung dieses Phänomens kann nur durch weitere Untersuchungen beigetragen werden.

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Einheiten	7
1. Einleitung	10
2. Grundlagen der Zweiphasenströmung	12
2.1 Strömungsformen im senkrechten Rohr	12
2.1.1 Strömungsbilderkarten	14
2.2 Größen und Definitionen	16
2.3 Modelle	21
2.3.1 Homogenes Modell	21
2.3.2 Heterogenes Modell	22
2.3.3 Zweifluid-Modell	22
2.4 Wärmeübergang beim homogenen Modell	24
2.5 Druckverlust beim homogenen Modell	28
3. Versuche	31
3.1 Versuchsmedien und Meßbereich	31
3.2 Versuchsaufbau	32
3.2.1 Anlagenbeschreibung	34
3.2.1.1 Vorwärmer	34
3.2.1.2 Verdampfer und Überhitzer	35
3.2.1.3 Kühler und Vorwärmer	35
3.2.1.4 Kondensator	36
3.3 Meßstrecke	37
3.3.1 Aufbau	37
3.3.2 Beheizung	37
3.3.3 Thermoelementeinbau	38
3.3.4 Druck- und Differenzdruck- Meßvorrichtung	39
3.3.5 Isolierung	40
3.3.6 Schaugläser	40
3.3.7 Mischkammer	40
3.3.8 Einlauf und Auslauf	40
3.4 Beschreibung der Meßeinrichtungen	43
3.4.1 Temperaturmessung	43
3.4.2 Druck- und Differenzdruckmessung	44
3.4.3 Mengenummessung	44
3.4.4 Heizleistungsmessung	45
3.5 Versuchsdurchführung	45

4. Versuchsauswertung	47
4.1 Wärmestromdichte	47
4.2 Fluidtemperatur	48
4.3 Wandtemperatur	48
4.4 Gesamtdruckverlust	48
4.5 Massenstrom und Dampfgehalt	50
4.6 Fehlerabschätzung	51
5. Versuchsergebnisse der Wärmeübergangsmessungen	57
5.1 Vorversuche	57
5.2 Wärmeübergangskoeffizient bei Zweiphasen- strömung	58
5.2.1 Einfluß des Dampfgehaltes	58
5.2.2 Einfluß des Systemdruckes	62
5.2.3 Einfluß der Massenstromdichte	63
5.2.4 Einfluß der Strömungsgeschwindigkeit	64
5.2.5 Strömungsformen	66
5.3 Korrelation der Meßwerte mit Hilfe des homogenen Modelles	70
5.4 Korrelation der Meßwerte mit Hilfe der Chen-Gleichung	79
6. Versuchsergebnisse der Druckverlustmessungen	90
6.1 Vorversuche	90
6.2 Druckverlust bei Zweiphasenströmung	92
6.3 Korrelation des gemessenen Gesamtdruckver- lustes mit Hilfe des homogenen Modelles	92
6.3.1 Reibungsdruckverlust bei Zwei- phasenströmung	100
6.3.2 Bereich des negativen Reibungs- druckverlustes	103
7. Zusammenfassung	108
8. Literaturverzeichnis	110