

Dipl.-Ing. Markus Hadley,
Rheda-Wiedenbrück

**Kondensation binärer
Dampfgemische unter dem
Einfluß der vollturbulenten
Gasströmung bei Drücken
bis 13 bar**

Reihe **3**: Verfahrenstechnik

Nr. **468**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Versuchsanlage Kondensation	6
2.1	Verfahrensfließbild	6
2.1.1	Bereitstellung der gasförmigen Phase	6
2.1.2	Kondensatmassenstrom	6
2.1.3	Restdampf und Entrainment	7
2.1.4	Kühlung	8
2.2	Meßstrecke	8
2.2.1	Meßstreckenoberteil	9
2.2.2	Verschiebbare Sonde	10
2.2.3	Unterteil	12
2.2.4	Abscheider	12
2.3	Meßverfahren	12
2.3.1	Druck	13
2.3.2	Dampfmassenstrom im Eintritt	13
2.3.3	Zusammensetzung des eintretenden Dampfgemisches	14
2.3.4	Temperaturmessung	14
2.3.5	Kühllänge	15
2.3.6	Kondensat-, Entrainment- und Restdampfmassenstrom	16
2.3.7	Konzentrationsbestimmung	16
2.4	Meßwertverarbeitung	16
2.5	Versuchsdurchführung	18
2.6	Wahl des Versuchsgemisches	18
2.6.1	Stoffwerte	19
2.6.2	Filmbildung und MARANGONI-Effekt	20
3	Meßergebnisse Kondensation	21
3.1	Übersicht	21
3.2	Ergebnisse	23
4	Theoretische Auswertung der Kondensationsversuche	25
4.1	Stoffübergang im gasförmigen Gemisch	26
4.2	Wärmestromdichten	27
4.3	Beschreibung des Phasengleichgewichtes an der Oberfläche des Kondensatfilmes	31
4.4	Vorstellungen über das filmseitige Konzentrationsprofil	32
4.4.1	An der Oberfläche undurchmischter Kondensatfilm	32
4.4.2	Vollkommen vermischter Kondensatfilm	32
4.4.3	Neues Modell unter Annahme eines an der Oberfläche teilweise gemischten Kondensatfilms	33
4.5	Übergangskoeffizienten	35

4.5.1	Wärmedurchgang durch den Kondensatfilm	35
4.5.2	Stofftransport im oberflächennahen Bereich des Kondensatfilmes	37
4.5.3	Gasseitiger Wärme- und Stoffübergang	38
4.5.4	Impulsaustausch	40
4.6	Berechnung	41
4.7	Simulationsergebnisse	42
4.8	Resümee	46
5	Hydrodynamik der Zweiphasenringströmung	47
5.1	Versuchsanlage und Verfahrensfießbild	47
5.1.1	Bereitstellung der gasförmigen Phase	47
5.1.2	Flüssigkeitskreislauf	49
5.1.3	Trennung des Gas/Dampf-Gemisches und Entrainment	49
5.1.4	Temperierung der Meßstrecke	49
5.2	Meßstrecke	50
5.2.1	Meßstreckenoberteil	52
5.2.2	Meßrohr mit Meßkammern	53
5.2.3	Unterteil	54
5.3	Meßverfahren und Versuchsdurchführung	55
5.3.1	Absolutdruck	56
5.3.2	Differenzdruck	56
5.3.3	Massenstrom des Gases, des Dampfes und der Aufgabeflüssigkeit	57
5.3.4	Temperaturmessung	57
5.3.5	Entrainment	57
5.3.6	Messung des Überlaufes und des kondensierten Dampfes . . .	58
5.3.7	Reinheit des Isopropylalkohols	58
5.3.8	Meßwertverarbeitung	59
5.3.9	Versuchsdurchführung	59
5.3.10	Wahl der Versuchsgemische	61
5.4	Meßergebnisse	62
5.4.1	Reibungsdruckverlust	64
5.4.2	Entrainment	67
5.5	Auswertung	68
5.5.1	Schubspannungen im Flüssigkeitsfilm und an dessen Oberfläche	68
5.5.2	Vereinbarungen für den Vergleich Experiment und Theorie . .	71
5.5.3	Reibungsdruckverlust der einphasigen Strömung	74
5.5.4	Struktur und mittlere Dicke des Flüssigkeitsfilmes	75
5.5.5	Reibungsdruckverlust der Zweiphasenströmung - Stand des Wissens	79
5.5.6	Reibungsdruckverlust der Zweiphasenströmung - Modifiziertes Verfahren	84
5.5.7	Entrainment	88
5.6	Resümee	91

6	Kondensation unter dem Einfluß signifikanter Schubspannungen	92
6.1	Erweiterung der Kennzahlenbeziehungen für den filmseitigen Wärmedurchgang	95
6.1.1	Turbulente Filmströmung	95
6.1.2	Laminare Filmströmung	97
6.1.3	Kalorisch mittlere Filmtemperatur	98
6.2	Vergleich zwischen Theorie und Experiment	99
6.3	Absicherung der von der Prandtl-Zahl Pr_K abhängigen Korrekturfunktion anhand von Meßergebnissen anderer Autoren	101
6.4	Resümee	104
7	Zusammenfassung	106
8	Summary	110
9	Formelzeichen	114
10	Anhang	119
10.1	Filmdickenmessung	119
10.2	Betrachtungen zum Strömungsparameter F	121
10.3	Meßwerte Kondensation	124
10.4	Einphasiger Druckverlust	131
10.4.1	Übersicht	131
10.4.2	Meßwerte	133
10.5	Zweiphasiger Druckverlust	137
10.5.1	Übersicht	137
10.5.2	Meßergebnisse	141
10.6	Stoffwerte	150
10.6.1	Reine Gase	150
10.6.2	Gasgemische	153
10.6.3	Reine Flüssigkeiten	156
10.6.4	Flüssige Gemische	157
10.6.5	Stoffspezifische Konstanten von Isopropylalkohol	159
10.6.6	Stoffspezifische Konstanten von n-Butylalkohol	160
10.6.7	Stoffspezifische Konstanten von Wasser	161
10.6.8	Stoffspezifische Konstanten von Luft	162
10.6.9	Stoffspezifische Konstanten von CO_2	163
11	Literaturverzeichnis	164