

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	IX
Kurzfassung	XIII
1 Einleitung und Problemstellung	1
1.1 Allgemeines zur Kondensation von Dampf mit nichtkondensierendem Gas.....	1
1.1.1 Anwendungsfälle.....	1
1.1.2 Prozessverlauf	1
1.2 Problemstellung	4
2 Stand der Forschung	8
3 Physikalische Modellierung	13
3.1 Abweichungen zwischen Theorie und Experiment	13
3.2 Gültigkeitsgrenze der Grenzschichttheorie.....	14
3.2.1 Gültigkeitsgrenze im Fall der freien Konvektion.....	15
3.2.2 Gültigkeitsgrenze im Fall der Kondensation ruhenden Dampfes	16
3.2.2.1 Kondensatfilm	16
3.2.2.2 Dampfraum	17
3.3 Stofftransportmechanismen bei der Kondensation ruhenden Dampfes.....	21
3.4 Verbesserung der physikalischen Modellierung.....	25
3.5 Die „modifizierte Grenzschichttheorie“	26
3.5.1 Berücksichtigung der Krümmung	26
3.5.2 Annahmen und Vereinfachungen.....	29
3.5.2.1 Zweidimensionales Problem.....	29
3.5.2.2 Laminare, wellenfreie Strömung	30
3.5.2.3 Inkompressible Fluide	30
3.5.2.4 Gemischzusammensetzung.....	30
3.5.2.5 Ideale Mischung	31
3.5.2.6 Boussinesq-Approximation	31
3.5.2.7 Vereinfachter Auftriebsterm.....	31
3.5.2.8 Sättigungszustand des Dampfes	32
3.5.2.9 Vernachlässigung der "sensiblen" Wärme.....	33

3.5.2.10 Vernachlässigung von Diffusionsthermik und Thermodiffusion.....	33
3.5.3 Zusammenstellung der Gleichungen.....	34
3.5.3.1 „Modifizierte Grenzschichtgleichungen“.....	34
3.5.3.2 Kopplungsbedingungen.....	34
3.5.3.3 Randbedingungen.....	35
3.6 Repräsentative Stoffwerte.....	37
3.6.1 Repräsentative Stoffwerte für den Kondensatfilm.....	37
3.6.2 Repräsentative Stoffwerte für den Dampfraum.....	38
3.6.3 Bestimmung der Stoffwerte.....	39
4 Mathematische Modellierung.....	40
4.1 Die NuBELtsche Lösung für das waagrechte Rohr.....	40
4.2 Die Hermannsche Ähnlichkeitstransformation.....	42
4.2.1 Transformationsansatz.....	42
4.2.2 Das Hermannsche Ähnlichkeitsproblem.....	45
4.2.3 Transformierte Gleichungen.....	48
4.2.4 Transformierte Rand- und Kopplungsbedingungen.....	49
4.2.5 Diskussion der Hermannschen Ähnlichkeitstransformation.....	50
4.3 Die neue Ähnlichkeitstransformation für die „modifizierten Grenzschichtgleichungen“.....	51
4.3.1 Transformationsansatz.....	51
4.3.2 Das Ähnlichkeitsproblem.....	53
4.3.3 Transformierte Gleichungen.....	54
4.3.4 Transformierte Rand- und Kopplungsbedingungen.....	55
4.3.5 Diskussion der neuen Ähnlichkeitstransformation.....	56
4.3.6 Lokale Ähnlichkeit und Pseudoähnlichkeit.....	57
4.4 Lösung der gewöhnlichen Differentialgleichungen.....	59
5 Lösungen für die Kondensation am waagrechten Rohr.....	64
5.1 Berechnung des Wärmeübergangs.....	64
5.2 Lösungen für die Kondensation reinen Dampfes am waagrechten Rohr.....	65
5.2.1 Lösungsparameter.....	65
5.2.2 Lokaler Wärmeübergang.....	66
5.2.3 Mittlerer Wärmeübergang.....	68
5.2.4 Vergleich mit der NuBELtschen Lösung.....	69
5.2.5 Vergleich mit Lösungen nach der Grenzschichttheorie.....	74
5.2.6 Vergleich mit Messwerten.....	79

5.3	Lösungen für die Kondensation von Dampf mit nichtkondensierendem Gas am waagrecht Rohr	84
5.3.1	Lösungsparameter	84
5.3.2	Lokaler Wärmeübergang	85
5.3.3	Lokale Inertgaskonzentration an der Filmoberfläche	87
5.3.4	Mittlerer Wärmeübergang	89
5.3.5	Vergleich mit Lösungen nach der Grenzschichttheorie	91
5.3.6	Vergleich mit Messwerten	97
5.3.6.1	Vergleich mit den Messwerten von Othmer	98
5.3.6.2	Vergleich mit den Messergebnissen von Langen	100
5.3.6.3	Vergleich mit eigenen Messergebnissen	103
6	Übertragung der Lösungen auf die senkrechte Wand	105
6.1	Ansatz für die Übertragung	105
6.2	Geometrie der Viertelellipse	106
6.3	Lösung für die Kondensation reinen Dampfes an der Viertelellipse unter Anwendung der Nußeltschen Wasserhauttheorie	107
6.4	Lösung für die Kondensation von Dampf/Gas-Gemischen an der Viertelellipse unter Anwendung der „modifizierte Grenzschichttheorie“	109
6.5	Übertragene Lösungen für die Kondensation von Dampf mit nichtkondensierendem Gas an der senkrechten Wand	110
6.5.1	Vergleich mit Messwerten	110
6.5.1.1	Vergleich mit den Messwerten von Al-Diwany und Rose	111
6.5.1.2	Vergleich mit den Messwerten von Slegers und Seban	112
6.5.2	Lokale Inertgaskonzentration im Bereich der Oberkante der Kühlfläche	113
7	Experimentelle Untersuchung	115
7.1	Aufbau der Versuchseinrichtung	115
7.1.1	Die Versuchsanlage	115
7.1.1.1	Der Dampfkreislauf	116
7.1.1.2	Der Kühlwasserkreislauf	117
7.1.2	Der Versuchskondensator	118
7.1.3	Die Messeinrichtungen	120
7.1.3.1	Messung des Kühlwasser-Massenstroms	121
7.1.3.2	Messung des Kondensatmassenstroms	122
7.1.3.3	Messung der Temperaturen	122
7.1.3.4	Messung des Drucks	122

7.1.3.5	Messung der Zusammensetzung des Dampf/Luft-Gemisches	122
7.1.4	Messgenauigkeit	125
7.2	Versuchsdurchführung und Auswertung	126
7.2.1	Versuchsablauf	126
7.2.1.1	Einstellung eines Betriebszustandes	126
7.2.1.2	AbleSEN der Messgeräte	127
7.2.1.3	Aufnehmen der zeitveränderlichen Werte	127
7.2.2	Kontrolle der Messwerte	127
7.2.2.1	Kontrolle der Temperaturmessungen	127
7.2.2.2	Kontrolle des übertragenen Wärmestroms	128
7.2.3	Versuchsauswertung	129
7.2.3.1	Zusammensetzung des Dampf/Luft-Gemisches	129
7.2.3.2	Die mittlere Temperaturdifferenz	130
7.2.3.3	Wärme- und Stofftransport	131
7.2.4	Versuchsergebnisse	134
8	Zusammenfassung	137
9	Anhang	139
9.1	Bestimmung der Stoffwerte	139
9.1.1	Dichte	139
9.1.2	Isobare spezifische Wärmekapazität	140
9.1.3	Wärmeleitfähigkeit	140
9.1.4	Dynamische Viskosität	141
9.1.5	Verdampfungsenthalpie	142
9.1.6	Sättigungszustand	142
9.1.7	Diffusionskoeffizient in der Gasphase	143
9.1.8	Mischungsregeln für die Gasphase	143
9.2	Messergebnisse	144
10	Literaturverzeichnis	147