

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	XII
A	
Wärmeübergang beim Kondensieren	1
1 Grundlagen	3
1.1 Der Vorgang der Kondensation	3
1.2 Die verschiedenen Arten der Kondensation	4
2 Filmkondensation ruhender Dämpfe	6
2.1 Die Nußeltsche Wasserhauttheorie	6
2.2 Abweichungen von der Nußeltschen Wasserhauttheorie	10
2.2.1 Berücksichtigung des Widerstands durch den Kondensatfilm	10
2.2.2 Berücksichtigung des Widerstands an der Phasengrenze zwischen Flüssigkeit und Dampf	13
2.2.3 Einfluß nicht kondensierbarer Gase	13
2.2.4 Wellenbildung auf der Filmoberfläche	17
2.2.5 Temperaturabhängige Stoffwerte	17
2.3 Filmkondensation mit turbulenter Wasserhaut	20
2.4 Gebrauchsformeln	23
2.4.1 Einzelrohre	23
2.4.2 Rohrbündel	25
3 Tropfenkondensation ruhender Dämpfe	27
4 Kondensation strömender Dämpfe	31
4.1 Die laminare Filmkondensation	31
4.2 Die turbulente Filmkondensation in senkrechten Rohren	34
4.2.1 Allgemeine Gleichungen	34
4.2.1.1 Die Mengen- und Impulsbilanz	34

4.2.1.2	Die Energiebilanz	38
4.2.2	Modelle zur Lösung der Gleichungen	40
4.2.3	Gebrauchsformeln	48
4.3	Filmkondensation in waagerechten Rohren	53
4.3.1	Wärmeübergang bei Schichtenströmung	54
4.3.1.1	Zusammenhang zwischen volumetrischem und Strömungs- dampfgehalt bei Schichtenströmung	57
4.3.2	Wärmeübergang bei Film- oder Ringströmung	59
4.3.2.1	Die Mengen- und Impulsbilanz	59
4.3.2.2	Die Energiebilanz	60
4.3.3	Die praktische Berechnung von Wärmeübergangskoeffizienten	61
5	Kondensation von Metalldämpfen	65
6	Kondensation von Dämpfen mischbarer Flüssigkeiten	70
6.1	Grundlagen. Einfluß des Stoffaustauschs	70
6.2	Die verschiedenen Arten der Kondensation von Dampfgemischen	74
6.3	Die Temperatur an der Phasengrenze	79
6.4	Die praktische Berechnung von Wärmeübergangskoeffizienten	83
6.4.1	Das Näherungsverfahren von Silver	83
6.4.2	Zweistoffgemische. Allgemeines Verfahren	87
6.4.3	Zweistoffgemische. Näherung nach Colburn und Hougen	92
6.4.4	Vielstoffgemische	95
7	Kondensation von Dämpfen unmischbarer Flüssigkeiten	102
8	Verbesserung des Wärmeübergangs bei Kondensation	107
8.1	Grundlagen	107
8.2	Erhöhung der Dampfgeschwindigkeit	108
8.3	Aufgerauhte Rohre, Rippenrohre	109
8.4	Gregorig-Rohre	112
8.5	Kondensation in Rohren	115
B	Wärmeübergang beim Sieden	117
9	Die verschiedenen Arten des Wärmeübergangs beim Sieden	119
9.1	Stilles Sieden	119
9.2	Blasensieden	120
9.3	Strömungssieden	121

10	Physikalische Grundlagen der Dampfblasenbildung	124
10.1	Blasenbildung und Flüssigkeitsüberhitzung	124
10.2	Blasenkontur und Grenzvolumen	130
10.3	Gebrauchsformeln für Abreißdurchmesser und -frequenz	133
11	Wärmeübergang beim Sieden reiner Stoffe in freier Strömung	137
11.1	Grundlagen	137
11.2	Stabilität beim Sieden in freier Strömung	139
11.3	Modellvorstellungen zum Wärmeübergang	142
11.3.1	Beurteilung der Modellvorstellungen	146
11.4	Empirische Korrelationen und Gebrauchsformeln	147
11.4.1	Wärmeübergang in der Nähe des Umgebungsdrucks	147
11.4.2	Einfluß von Siededruck und Wärmestromdichte	148
11.4.3	Einfluß der Heizfläche	151
11.5	Wärmeübergang an Rippenrohren	152
11.6	Wärmeübergang an waagerechten Glatt- oder Rippenrohrbündeln	155
11.7	Maximale Wärmestromdichte	157
11.8	Übergangssieden und Filmverdampfung	159
12	Wärmeübergang in Fallfilmverdampfern	165
13	Wärmeübergang beim Sieden reiner Stoffe in erzwungener Strömung	167
13.1	Die verschiedenen Strömungsformen	167
13.1.1	Aufwärts gerichtete Zweiphasenströmung im senkrechten Rohr	167
13.1.2	Zweiphasenströmung im waagerechten Rohr	169
13.2	Strömungskarten	171
13.3	Einige Grundbegriffe und Definitionen	173
13.4	Die verschiedenen Bereiche des Wärmeübergangs	177
13.5	Unterkühltes Sieden	180
13.5.1	Beginn des unterkühlten Siedens	182
13.5.2	Partielles unterkühltes Sieden	188
13.5.3	Voll ausgebildetes unterkühltes Sieden	191
13.6	Blasensieden in gesättigter Flüssigkeit	191
13.7	Strömungssieden	196
13.7.1	Senkrechte Rohre	196
13.7.2	Waagerechte Rohre	203

13.8	Kritische Siedezustände	207
13.8.1	Grenzwerte für die kritische Wärmestromdichte	208
13.8.2	Versuchsergebnisse zur kritischen Wärmestromdichte	210
13.8.2.1	Die Abhängigkeit der kritischen Wärmestromdichte vom Massenstrom und von der Unterkühlung	211
13.8.2.2	Die Abhängigkeit der kritischen Wärmestromdichte von der Unterkühlung und von der Ortskoordinate	212
13.8.2.3	Die Abhängigkeit der kritischen Wärmestromdichte von der Unterkühlung und vom Rohrdurchmesser	213
13.8.2.4	Die Abhängigkeit der kritischen Wärmestromdichte vom Druck und vom Strömungsdampfgehalt	214
13.8.3	Gebrauchsformeln für die kritische Wärmestromdichte	215
13.8.3.1	Senkrechte Rohre	215
13.8.3.2	Waagerechte und geneigte Rohre	219
13.8.3.3	Ungleichförmige Beheizung über den Rohrumfang	221
13.9	Sprühkühlung	222
13.9.1	Sprühkühlung in Kanälen	222
13.9.1.1	Ein Rechenmodell	226
13.9.1.2	Gebrauchsformeln	230
13.9.2	Sprühkühlung heißer Oberflächen	231
13.9.2.1	Ein Rechenmodell	235
13.9.2.2	Gebrauchsformeln	239
14	Wärmeübergang beim Sieden von Gemischen in freier Strömung	241
14.1	Zweistoffgemische. Physikalische Grundlagen	241
14.1.1	Blasenbildung und Wandüberhitzung	243
14.2	Der Wärmeübergang in Zweistoffgemischen	248
14.3	Der Wärmeübergang in Gemischen mit mehr als zwei Komponenten	253
14.4	Empirische Korrelationen und Gebrauchsformeln	254
14.4.1	Zweistoffgemische von Flüssigkeiten	254
14.4.2	Flüssigkeitsgemische mit mehr als zwei Komponenten	257
14.4.3	Lösung von Feststoffen in Flüssigkeiten	258
14.5	Maximale Wärmestromdichte, Übergangs- und Filmsieden	259
14.6	Das Sieden von unmischnbaren Flüssigkeiten	261
15	Wärmeübergang beim Sieden von Gemischen in erzwungener Strömung	264
15.1	Sättigungssieden	265
15.2	Strömungssieden	265
15.3	Die praktische Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten beim Strömungssieden	269

16	Verbesserung des Wärmeübergangs beim Sieden	271
16.1	Allgemeines	271
16.2	Aufrauhen von Heizflächen	272
16.3	Strukturieren oder Beschichten von Oberflächen	272
16.4	Erzeugung künstlicher Keimzellen durch Sintern	274
16.5	Rohre mit gekerbter Oberfläche, Rohre mit T-förmigen Rippen	277
16.6	Zusatz von Gasen oder Flüssigkeiten	278
16.7	Zusatz von Feststoffen	279
Literaturverzeichnis		281
Namenverzeichnis		296
Sachverzeichnis		300