

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	III
Abstract	IV
Symbolverzeichnis	V
1. Einleitung	1
2 Stand des Wissens	3
2.1 Grundlagen des Kristallisationsfoulings	4
2.1.1 Foulingwiderstand und Foulingkurven	6
2.1.2 Keimbildung und Keimbildungsprozesse	10
2.1.3 Kristallwachstum	13
2.2 Kristallisationsfouling bei Flüssigkeitsströmung	14
2.2.1 Belagbildung an einer wärmeübertragenden Fläche	14
2.2.2 Beschreibung des Wärmeübergangs in Rohren mit rauen Oberflächen	18
2.3 Apparative Maßnahmen zur Foulingminderung	23
2.3.1 Topographische Modifikation der Oberfläche	23
2.3.2 Energetische Modifikation der Oberfläche	24
3 Anlagenbeschreibung und Versuchsdurchführung	28
3.1 Diskontinuierlicher Kristallisor	28
3.1.1 Versuchsaufbau und Messstrecke	28
3.1.2 Versuchsauswertung	30
3.2 Strömungskanal	31
3.2.1 Versuchsaufbau und Messstrecke	31
3.2.2 Versuchsauswertung	33
3.3 Doppelrohrwärmeübertrager	34
3.3.1 Versuchsanlage	34
3.3.2 Messstrecken	36
3.3.3 Messtechnik und Regelung	37
3.3.4 Versuchsauswertung	38
3.4 Verwendete Materialien	39
3.5 Charakterisierung der Wärmeübertragungsfläche	40

3.5.1	Bestimmung der Oberflächenenergie.....	40
3.5.2	Bestimmung der Oberflächenrauheit	44
3.6	Verwendetes Versuchsstoffsystem	47
4	Experimentelle Untersuchungen	49
4.1	Untersuchungen im diskontinuierlichen Kristallisator	49
4.2	Untersuchungen im Strömungskanal	53
4.2.1	Einfluss von Oberflächenmodifikationen	53
4.2.2	Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit.....	61
4.3	Untersuchungen im Doppelrohrwärmeübertrager	63
4.3.1	Einlauflänge und Wärmebilanz.....	63
4.3.2	Auftrennung der einzelnen Wärmedurchgangswiderstände, Wilson-Plot	65
4.3.3	Einfluss von Oberflächenmodifikationen	68
4.3.4	Einfluss der Übersättigung und Strömung	82
4.3.5	Lokale Foulingwiderstände.....	86
4.4	Vergleich der Untersuchungen	96
5	Modellierung geometrischer Effekte des Kristallisationsfoulings auf den Wärmeübergang	98
5.1	Modellierung des Foulingwiderstandes als Funktion initialer Rauheiten.....	98
5.1.1	Bestimmung des Widerstandskoeffizienten.....	98
5.1.2	Berücksichtigung von Rauheitseinflüssen auf den Wärmeübergang.....	103
5.2	Modellierung der Querschnittsverengung.....	110
5.2.1	Volumetrische Bestimmung des freien Strömungsquerschnitts	110
5.2.2	Optische Bestimmung des freien Strömungsquerschnitts.....	112
5.2.3	Berücksichtigung von Rauheits- und Beschleunigungseinflüssen auf den Wärmeübergang	113
5.3	Modellierung der Belagschichtverteilung.....	118
5.3.1	Berechnung der lokalen Schichtdicke $x_f(z)$	118
5.3.2	Ansatz zur Berechnung lokaler Druckverluste $\Delta p_f(z)$	121
6.	Zusammenfassung	122
7.	Literaturverzeichnis	124
A	Anhang.....	131