

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 Kristallisator | 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 Doppelrohrwärmübertrager | 63 |
| 4.3.1 | Einlauflänge und Wärmebilanz..... | 63 |
| 4.3.2 | Auf trennung 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 $\Delta p_i(z)$ | 121 |
| 6. | Zusammenfassung | 122 |
| 7. | Literaturverzeichnis | 124 |
| A | Anhang | 131 |