



Christoph Spiegel (Autor)  
**Quantifizierung lokaler Foulingphänomene in  
mikrostrukturierten Wärmeübertragern**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/9011>

Copyright:  
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung .....</b>	<b>VII</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand des Wissens .....</b>	<b>5</b>
2.1 Grundlagen der Miniaturisierung .....	5
2.1.1 Theorien zur Strömung im Mikromaßstab.....	6
2.1.2 Gesetzmäßigkeiten der Größenskalierung .....	8
2.2 Mikrostrukturierte Wärmeübertrager .....	9
2.2.1 Fluiddynamik in Mikrokanälen.....	12
2.2.2 Wärmeübertragung in Mikrokanälen .....	17
2.2.3 Konzept der Übertragungseinheiten (NTU-Ansatz) .....	24
2.3 Grundlagen des Foulings.....	26
2.3.1 Mechanismen, Indikatoren und Detektionsverfahren .....	27
2.3.2 Fouling in Mikrostrukturen.....	31
2.4 Proteinfouling.....	36
2.4.1 Aufbau und Struktur von Proteinen .....	36
2.4.2 Milch und Molkenproteine .....	38
2.4.3 Temperaturinduzierte Denaturierung der Molkenproteine .....	39
2.4.4 Modellvorstellung des Ablagerungsmechanismus .....	43
<b>3 Konzeptentwicklung .....</b>	<b>47</b>
3.1 Ausgangssituation .....	47
3.2 Forschungshypothesen .....	48
3.3 Lösungsansatz .....	49
<b>4 Experimentelle Umsetzung .....</b>	<b>51</b>
4.1 Modularer Mikrowärmeübertrager.....	51
4.2 Versuchsanordnung und Instrumentierung .....	54
4.3 Anlagen- und Apparatecharakterisierung.....	59
4.3.1 Kanalgeometrie.....	59
4.3.2 Fluiddynamik .....	65
4.3.3 Wärmebilanzierung.....	70
4.3.4 Wärmeübertragung .....	74

4.3.5 Wärmestromverteilung .....	81
<b>5 Iterative Berechnung lokaler Temperaturen .....</b>	<b>87</b>
5.1 Modellierung .....	87
5.2 Implementierung .....	89
5.3 Verifikation und Parametrierung.....	92
5.3.1 Variation der Startparameter.....	92
5.3.2 Variation der Segmentanzahl .....	93
5.3.3 Variation des Relaxationsfaktors .....	95
5.4 Validierung.....	96
<b>6 Foulinguntersuchungen.....</b>	<b>103</b>
6.1 Stoffsystem.....	103
6.1.1 Herstellung wässriger Proteinlösungen.....	105
6.1.2 Färben proteinhaltiger Ablagerungen .....	106
6.2 Versuchsdurchführung .....	107
6.3 Versuchsauswertung.....	108
6.3.1 Integrale Foulingindikatoren.....	109
6.3.2 Automatisierte Bestimmung des Ablagerungsortes.....	110
6.4 Bestimmung der Ablagerungstemperatur.....	113
6.5 Vorhersage lokaler Foulingphänomene.....	116
6.5.1 Variation der Heizmitteltemperatur .....	116
6.5.2 Variation des Produktmassenstromes .....	119
6.5.3 Bewertung der Ergebnisse .....	120
<b>7 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>123</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>127</b>
<b>Anhang A - Stoffdaten .....</b>	<b>137</b>
<b>Anhang B - Unsicherheitsbetrachtung .....</b>	<b>139</b>
<b>Anhang C - Ergänzende Abbildungen .....</b>	<b>146</b>
<b>Lebenslauf.....</b>	<b>151</b>
<b>Veröffentlichungen.....</b>	<b>152</b>
<b>Studentische Arbeiten .....</b>	<b>154</b>