

# Inhaltsverzeichnis

<b>Teil 1</b>	<b>Motivation, Ziel und Lösungsansätze</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Mikrostrukturierte Apparatekonzepte</b>	<b>7</b>
2.1	Mikromischer . . . . .	11
2.2	Mikroreaktoren . . . . .	16
2.3	Mikrostrukturierte Wärmeübertrager . . . . .	20
2.4	Mikrostrukturierte Trennapparate . . . . .	22
2.5	Konzepte zur Maßstabsvergrößerung . . . . .	25
<b>3</b>	<b>Herausforderungen bei der Maßstabsvergrößerung mikrostrukturiert</b>	<b>29</b>
3.1	Herausforderungen im Bereich einphasiger Reaktionen . . . . .	31
3.1.1	Mischungssensitive Reaktionen . . . . .	31
3.1.2	Temperatursensitive Reaktionen . . . . .	32
3.2	Herausforderungen im Bereich Mehrphasenreaktionen . . . . .	34
3.2.1	Grenzflächensensitive Reaktionen . . . . .	34
3.2.2	Grenzflächenlimitierte temperatursensitive Reaktionen . . . . .	35
<b>4</b>	<b>Beispiele für skalierbare mikrostrukturierte Apparatekonzepte</b>	<b>37</b>
4.1	Anwendungsbeispiele für einphasige Reaktionen . . . . .	37

---

Dipl.-Chem. Kathrin D. Rodermund  
Untersuchungen zur Skalierbarkeit mikrostrukturierter Mischer für chemische Synthesen

i

4.1.1	Mikromischer als Einphasenkontakoren für mischungs- sensitive Reaktionen . . . . .	37
4.1.2	Mikrostrukturierte Wärmetauscher für stark exotherme Reaktionen . . . . .	40
4.2	Lösungsansätze für Mehrphasenreaktionen . . . . .	43
4.2.1	Mikromischer als Dispergierapparate für grenzflächen- sensitive Mehrphasenreaktionen . . . . .	43
4.2.2	Mixer-Settler-Konzepte . . . . .	48
4.2.3	Mehrkanalreaktor mit vorgeschaltetem Mikromischer als Konzept zur Durchführung grenzflächensensitiver Reaktionen . . . . .	52
4.2.4	Mikrowärmetauscher als Verweilzeitmodule für tempe- raturesensitive Mehrphasenreaktionen . . . . .	54
<b>Teil 2 Mikromischer als untersuchter Beispielapparat</b>		<b>55</b>
<b>5</b>	<b>Einphasige Mischercharakterisierung</b>	<b>57</b>
5.1	Makro- und Mikrovermischung . . . . .	57
5.2	Zur Beschreibung von Mikromischern nötige strömungsmecha- nische Größen . . . . .	59
5.2.1	Strömungsform . . . . .	59
5.2.2	Druckverlust . . . . .	61
5.3	Bestimmung der Energiedissipationsrate . . . . .	63
5.4	Charakterisierungsmethoden . . . . .	64
5.4.1	Physikalische Methoden . . . . .	65
5.4.2	Chemische Methoden . . . . .	65
5.5	Ansätze zur Bestimmung der Mischzeit . . . . .	70
5.5.1	Direkte experimentelle Bestimmung der Mischzeit . . . . .	74

<b>6</b>	<b>Numerische Simulationsstudien zur Strömung in einem Multilaminiationsmischer</b>	<b>79</b>
6.1	Geometrie und Mischprinzip . . . . .	79
6.2	Strömungssimulation . . . . .	83
6.2.1	Zugrunde gelegte Geometrien . . . . .	85
6.2.2	Randbedingungen . . . . .	89
6.3	Ergebnisse der Strömungssimulationen . . . . .	92
<b>7</b>	<b>Experimentelles Vorgehen und Ergebnisse</b>	<b>101</b>
7.1	Versuchsaufbau und Entwicklung der Methode . . . . .	102
7.2	Ergebnisse . . . . .	110
7.2.1	Druckverlustmessungen . . . . .	110
7.2.2	Ergebnisse zur Mischzeitbestimmung . . . . .	117
7.2.3	Vergleichende Betrachtung der Effizienz von LH2 und T-Mischern . . . . .	127
7.2.4	Einordnung der Ergebnisse in den Stand der Forschung	132
<b>8</b>	<b>Weiteres Forschungspotential</b>	<b>139</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>143</b>
<b>Teil 3</b>	<b>Verzeichnisse und Anhänge</b>	<b>147</b>
<b>Literatur</b>		<b>149</b>
	Zitierte Literaturstellen . . . . .	149
	Eigene Vorveröffentlichungen . . . . .	166
	In diese Dissertation eingegangene studentische Arbeiten . . . . .	168
<b>Abbildungsverzeichnis</b>		<b>176</b>

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>178</b>
<b>A Symbole und Abkürzungen</b>	<b>179</b>
<b>B Chemikalien und Geräte</b>	<b>183</b>
<b>C Parameter für die Strömungssimulation</b>	<b>185</b>
<b>D Curriculum Vitae</b>	<b>187</b>