

Dipl.-Ing. Ralf Guder, Bremen

# **Fluiddynamik von Dreiphasenströmungen in Treibstrahl- Schlaufenreaktoren**

Reihe **3**: Verfahrenstechnik

Nr. **461**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand des Wissens</b>	<b>5</b>
2.1	Impulstransport in turbulenten Einphasenströmungen . . . . .	8
2.1.1	Turbulente Rohrströmung . . . . .	13
2.1.2	Mischungsweg und turbulenter Transportstrom . . . . .	14
2.1.3	Turbulente Ausgleichskoeffizienten . . . . .	15
2.2	Schlaufenströmung in Mehrphasensystemen . . . . .	17
2.2.1	Dispersionsmodell nach <i>Danckwerts</i> . . . . .	17
2.2.2	Modell nach <i>Miyauchi</i> . . . . .	19
2.2.3	Modell nach <i>Joshi</i> und <i>Sharma</i> . . . . .	21
2.2.4	Modell nach <i>Menzel</i> . . . . .	23
2.2.5	Modell nach <i>Sternad</i> . . . . .	25
2.2.6	Modell nach <i>Zehner</i> . . . . .	27
2.2.6.1	Minimale Treibstrahlgeschwindigkeit . . . . .	28
2.2.7	Hysterese-Effekte nach <i>Heck</i> . . . . .	29
2.2.8	Modell nach <i>Lohrengel</i> . . . . .	30
2.2.9	Modell nach <i>Genenger</i> . . . . .	31
2.3	Wechselwirkungsprozesse in Zwei- und Dreiphasenströmungen . . . . .	32
2.3.1	Direkte Einwirkung von Feststoff auf die Dispergierung . . . . .	33
2.3.2	Indirekte Einwirkung von Feststoff auf die Dispergierung . . . . .	35
2.3.3	Wirbelschleppen-Phänomene . . . . .	38
<b>3</b>	<b>Versuchsaufbau und -durchführung</b>	<b>43</b>
3.1	Aufbau der Versuchsanlagen . . . . .	43
3.1.1	Reaktor- und Düsengeometrie . . . . .	46
3.1.2	Absetzbeckengeometrie . . . . .	52
3.2	Versuchsbedingungen . . . . .	56
3.3	Versuchsdurchführung . . . . .	57
<b>4</b>	<b>Prinzipien der eingesetzten Meßverfahren</b>	<b>61</b>
4.1	Integrale Meßverfahren . . . . .	61
4.1.1	Die Abschaltmethode . . . . .	61
4.1.2	Differenzdruckmessung zur Ermittlung der minimalen Treibstrahlgeschwindigkeit . . . . .	62
4.2	Lokale Meßverfahren . . . . .	65
4.2.1	Das Ultraschallreflexionsverfahren . . . . .	65
4.2.1.1	Meßtechnik des eingesetzten UBA-Gerätes . . . . .	65

---

4.2.2	Das Heißfilmanemometer mit Zweifilm-Sonde . . . . .	66
4.2.2.1	Meßtechnik des eingesetzten HFA-Gerätes . . . . .	67
4.2.2.2	Kalibrierung der eingesetzten Zweifilm-Sonde . . . . .	68
4.2.3	Die Elektrodifusionsmeßtechnik . . . . .	70
4.2.3.1	Meßtechnik des eingesetzten EDM-Gerätes . . . . .	71
4.2.3.2	Kalibrierung der eingesetzten Dreifilm-Sonde . . . . .	74
4.2.4	Die Feststoffabsaugsonde . . . . .	77
4.2.4.1	Meßtechnik der eingesetzten Feststoffabsaugsonde . . .	77
<b>5</b>	<b>Experimentelle Arbeiten</b>	<b>80</b>
5.1	Ermittlung integraler Parameter der Gas- und Flüssigkeitsphase . . . . .	80
5.1.1	Integraler Gasgehalt . . . . .	81
5.1.2	Minimale Treibstrahlgeschwindigkeit . . . . .	84
5.2	Ermittlung der örtlich ausgebildeten Hydrodynamik . . . . .	90
5.2.1	Schwarmbewegung der Gasphase . . . . .	91
5.2.2	Untersuchungen der lokalen Flüssigkeitsströmung . . . . .	96
5.2.2.1	Ebene Strömungsstrukturen (2-D) . . . . .	96
5.2.2.2	Räumliche Strömungsstrukturen (3-D) . . . . .	99
5.2.3	Untersuchungen der lokalen Feststoffbewegung . . . . .	102
<b>6</b>	<b>Modellbildung</b>	<b>105</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>113</b>
	<b>Anhang A: Minimale Treibstrahlgeschwindigkeit</b>	<b>115</b>
	<b>Anhang B: Lokale Gasphasenparameter</b>	<b>120</b>
	<b>Anhang C: Untersuchung der lokalen Flüssigkeitsströmung</b>	<b>123</b>
	<b>Anhang D: Untersuchung der lokalen Feststoffströmung</b>	<b>133</b>
	<b>Anhang E: Herleitung der <i>Reynolds</i>'schen Schubspannung</b>	<b>137</b>
	<b>Anhang F: Auslegung des Absetzbeckens</b>	<b>140</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>143</b>