

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand des Wissens.....	4
2.1	Mehrphasenströmungen in Blasensäulenreaktoren.....	4
2.1.1	Strömungszustände.....	4
2.1.2	Einfluss des Feststoffs auf eine Blasenströmung.....	6
2.2	Modellierung	8
2.2.1	Empirische Modelle.....	9
2.2.2	Numerische Strömungssimulation.....	11
2.2.3	Erhaltungsgleichungen	12
2.3	Turbulenz.....	15
2.3.1	Viskositätsturbulenzmodelle	17
2.3.1.1	Null-Gleichungsmodell.....	18
2.3.1.2	k- ϵ Turbulenzmodell.....	18
2.3.2	Reynoldsspannungsmodelle	20
2.3.3	Weitere Turbulenzmodelle	21
2.3.4	Beeinflussung der Turbulenz durch disperse Phasen.....	21
2.3.4.1	Blaseninduzierte Turbulenz	22
2.3.4.2	Partikelinduzierte Turbulenz.....	23
2.4	Impulsaustausch.....	24
2.4.1	Implementierung in die numerische Strömungssimulation	24
2.4.2	Bewegung von Feststoffpartikeln in Flüssigkeiten.....	26
2.4.3	Bewegung von Blasen in Flüssigkeiten.....	28
2.4.3.1	Ishii-Zuber-Modell.....	30
2.4.3.2	Grace-Modell	30
2.4.4	Blasenschwärme	33
2.4.5	Wechselwirkungen zwischen den dispersen Phasen.....	34
2.4.6	Zwei-Blasenklassenmodell.....	36

v

3 Modellentwicklung.....	38
3.1 Räumliche Diskretisierung.....	38
3.2 Numerische Aspekte	40
3.3 Physikalische Eigenschaften der Phasen.....	41
3.4 Rand- und Anfangsbedingungen.....	42
3.5 Modellierung der Turbulenz	44
3.6 Impulsaustausch.....	45
3.6.1 Impulsaustausch zwischen Blasen und Flüssigkeit.....	45
3.6.2 Schwarmverhalten von Blasen.....	47
3.6.3 Impulsaustausch zwischen Feststoff und Flüssigkeit.....	49
3.7 Direkter Impulsaustausch zwischen Blasen und Feststoff	49
4 Ergebnisse und Diskussion.....	51
4.1 Turbulenzmodellierung.....	51
4.1.1 Flüssigkeitgeschwindigkeit	52
4.1.2 Turbulente Viskosität.....	55
4.1.3 Turbulente kinetische Energie und Energiedissipationsrate	57
4.2 Zweiphasige Strömungen.....	59
4.2.1 Axiale Flüssigkeitgeschwindigkeit.....	59
4.2.2 Integraler Gasgehalt	64
4.2.3 Lokaler Gasgehalt	68
4.3 Dreiphasige Strömungen.....	71
4.3.1 Axiale Flüssigkeitgeschwindigkeit.....	71
4.3.2 Integraler Gasgehalt	72
4.3.3 Lokaler Gasgehalt	74
4.3.4 Lokaler Feststoffgehalt	76
5 Zusammenfassung und Ausblick.....	82
6 Symbolverzeichnis	85
7 Literaturverzeichnis	89