

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

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