

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Forschung und Entwicklung</b>	<b>3</b>
2.1	Latente thermische Energiespeicher . . . . .	3
2.2	Numerische Lösungsmethoden für Fest-flüssig-Phasenübergänge . . . . .	5
2.2.1	Front-Tracking- und Front-Fixing-Methoden . . . . .	6
2.2.2	Fixed-Domain-Methoden . . . . .	6
2.3	Aufschmelzexperimente . . . . .	9
2.4	Untersuchungen zur Unsicherheit bei der Simulation von Schmelzprozessen . . .	11
<b>3</b>	<b>Zielsetzung und Aufbau der Arbeit</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>17</b>
4.1	Finite-Volumen-Methode . . . . .	17
4.1.1	Räumliche Diskretisierung . . . . .	18
4.1.2	Zeitliche Diskretisierung . . . . .	22
4.1.3	Anfangs- und Randbedingungen . . . . .	23
4.1.4	OpenFOAM . . . . .	25
4.2	Particle Image Velocimetry (PIV) . . . . .	26
4.2.1	Partikel . . . . .	27
4.2.2	Kreuzkorrelation . . . . .	28
4.2.3	Einfluss eines variablen Brechungsindexfelds . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Numerische Simulation von Fest-flüssig-Phasenübergängen</b>	<b>33</b>
5.1	Erstellung eines mathematischen Modells zur Simulation von Fest-flüssig-Phasen- übergängen . . . . .	33
5.1.1	Mischungsansatz . . . . .	33
5.1.2	Erhaltungsgleichungen . . . . .	35
5.2	Beschreibung und Optimierung des numerischen Lösungsprozesses . . . . .	38
5.2.1	Druck-Geschwindigkeits-Kopplung . . . . .	38
5.2.2	Temperatur-Enthalpie-Kopplung . . . . .	41

5.3	Testfall . . . . .	46
<b>6</b>	<b>Konzeption und Durchführung von Validierungsexperimenten</b>	<b>51</b>
6.1	Versuchsaufbau . . . . .	51
6.1.1	Versuchskapsel . . . . .	52
6.1.2	Optischer Aufbau . . . . .	54
6.2	Versuche . . . . .	55
6.2.1	Versuchsvorbereitung . . . . .	55
6.2.2	Versuchsdurchführung . . . . .	56
6.2.3	PIV-Auswertung . . . . .	57
6.3	Fehlerrechnung . . . . .	57
6.3.1	Systematische Abweichungen . . . . .	58
6.3.2	Zufällige Abweichungen . . . . .	59
<b>7</b>	<b>Kombinierte Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse</b>	<b>61</b>
7.1	Grundlegende Prinzipien von Sensitivitätsanalysen . . . . .	61
7.2	Methode der Elementary-Effects . . . . .	63
7.3	Eingangsparameter . . . . .	65
7.3.1	Stoffdaten . . . . .	66
7.3.2	Anfangs- und Wandtemperaturen des Validierungsexperiments . . . . .	67
7.3.3	Auswahl der Minimal- und Maximalwerte der Eingangsparameter . . . . .	69
<b>8</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>71</b>
8.1	Einfluss des Netzes und der Darcy-Konstanten . . . . .	71
8.2	Detaillierte Validierung . . . . .	73
8.2.1	Flüssigphasenanteil und Position der Phasengrenze . . . . .	74
8.2.2	Temperatur im Inneren der Versuchskapsel . . . . .	76
8.2.3	Wärmestromverlauf . . . . .	78
8.2.4	Geschwindigkeitsfeld . . . . .	80
8.3	Kombinierte Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse . . . . .	85
8.3.1	Spannweite der Parameter als Eingangsgrößen . . . . .	85
8.3.2	Konfidenzintervalle der Parameter als Eingangsgrößen . . . . .	91
8.3.3	Einfluss von temperaturabhängigen Stoffdaten . . . . .	99
8.4	Empfehlungen für die Validierung numerischer Modelle zur Simulation von Fest- flüssig-Phasenwechseln . . . . .	100
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>103</b>
<b>10</b>	<b>Summary</b>	<b>107</b>