

1	Einleitung	1
2	Stand der Forschung und Entwicklung	3
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
3	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	15
4	Grundlagen	17
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
5	Numerische Simulation von Fest-flüssig-Phasenübergängen	33
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
6	Konzeption und Durchführung von Validierungsexperimenten	51
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
7	Kombinierte Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse	61
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
8	Ergebnisse	71
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
9	Zusammenfassung	103
10	Summary	107