

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis

v

1 Einleitung	1
2 Wissenschaftlicher Kenntnisstand	5
2.1 Verfahren für Randbedingungen an festen Wänden	9
2.2 Verfahren für Randbedingungen an offenen Rändern	14
2.3 Verfahren für gekoppelte Randbedingungen	22
2.4 Zielsetzung	36
3 Mathematische Beschreibung der Strömung	39
3.1 Allgemeine Transportgleichung	40
3.2 Kontinuitätsgleichung	42
3.3 Impulsgleichung	43
3.4 Zustandsgleichung und Schallgeschwindigkeit	44
4 Smoothed Particle Hydrodynamics	47
4.1 Kernel-Approximation	48
4.2 Glättungsfunktion (Kernel)	50
4.3 Partikel-Approximation	51
4.4 Numerische Unzulänglichkeiten der SPH-Methode	53
4.4.1 Korrektur des Kernel-Gradienten	55
4.4.2 Dichteberechnung über die diskrete Approximation	56
4.4.3 Diffusive Terme in der Kontinuitätsgleichung	59
4.4.4 Partikelverschiebung	63
4.5 Erhaltungsgleichungen der Partikel-Approximation	67
4.6 Räumliche Diskretisierung der Erhaltungsgleichungen	74
4.7 Zeitliche Diskretisierung der Erhaltungsgleichungen	76
5 Entwicklung eines neuen Verfahrens für offene und gekoppelte Randbedingungen	79
5.1 Diskussion des Kopplungsansatzes	80
5.2 Zustandsbeschreibung der Randsegmente	84
5.2.1 Geometrische Beschreibung des Randsegments	85
5.2.2 Abgrenzung zwischen offenen und gekoppelten Rändern	86
5.2.3 Die NSCBC-Methode	88
5.2.4 Definition von Randbedingungen an offenen Rändern	90
5.2.5 Übertragung auf gekoppelte Ränder	92
5.2.6 Anwendung der NSCBC-Methode in der SPH-Methode	92
5.3 Zustandsbeschreibung der Geisterpartikel	94
5.3.1 Zustandsbeschreibung für offene Ränder	95
5.3.2 Übertragung auf gekoppelte Ränder	98

5.4	Massenänderung randnaher Partikel	100
5.4.1	Vorbereitungsschritt	102
5.4.2	Prädiktor-Schritt	103
5.4.3	Korrektor-Schritt	107
5.4.4	Nachbereitungsschritt	110
5.4.5	Beschreibung grundlegender Partikel-Rand-Interaktionen	111
5.4.6	Sonderfälle der Partikel-Rand-Interaktion und Identifizierungsschritt . .	114
5.5	Zwischenfazit und Anmerkungen zur Implementierung sowie zum Programmablauf	118
6	Analyse und Optimierung des SPH-Verfahrens mit offenen Rändern	123
6.1	Beschreibung der Testfälle und Bewertung der Referenzkonfiguration	125
6.1.1	Testfall mit Impulsquellterm (Testfall A)	127
6.1.2	Testfall ohne Impulsquellterm (Testfall B)	138
6.2	Zusammenfassung der Analyse verschiedener Variationen des SPH-Verfahrens .	141
6.3	Auswahl und Bewertung der optimierten Konfiguration	143
7	Anwendung des SPH-Verfahrens auf zweidimensionale Testfälle	147
7.1	Poiseuille-Strömung	147
7.1.1	Beschreibung des Testfalls	148
7.1.2	Auswertung	151
7.2	Kavitätenströmung	164
7.2.1	Beschreibung des Testfalls	165
7.2.2	Auswertung	167
7.3	Instationäre Umströmung eines Zylinders	172
7.3.1	Beschreibung des Testfalls	172
7.3.2	Auswertung	175
8	Zusammenfassung und Ausblick	185
Literaturverzeichnis		187
Anhang		197
A.1	Herleitung der NSCBC-Gleichung	197
A.2	Konsistenz der Kernel-Approximation im randnahen Bereich	201
A.3	Relaxation eines Gradienten am Gebietsrand	204
A.4	Massenstrombilanz des Rechengebiets	206
A.5	Analyse verschiedener Variationen des SPH-Verfahrens	211
A.5.1	Aspekte des Verfahrens für offene Randbedingungen	211
A.5.2	Korrektur des Kernel-Gradienten	217
A.5.3	Dichteberechnung über die diskrete Approximation	222
A.5.4	Dichtediffusion	227
A.5.5	Partikelverschiebung	233
A.5.6	Aspekte der Erhaltungsgleichungen	239

A.6 Anwendung nichtreflektierender Randbedingungen	245
--	-----