

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 Programm- ablauf | 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 |
|--|-----|