

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Übersicht	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Problemstellung	2
1.3	Zielsetzung und Vorgehensweise	3
1.4	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	5
1.5	Gliederung	8
2	Strömungen und Strömungssimulationen.....	10
2.1	Strömungsmessung und Strömungsberechnung	10
2.2	Strömungsmechanik und numerische Verfahren.....	13
2.3	Nicht-reguläre Simulationsgitter	17
2.3.1	Taxonomie von Berechnungsgittern.....	18
2.3.2	Der Berechnungsraum nicht-regulärer Gitter	23
3	Strömungsvisualisierung	26
3.1	Experimentelle Strömungsvisualisierung	27
3.2	Technisch-wissenschaftliche Datenvisualisierung	29
3.2.1	Die Visualisierungspipeline	29
3.2.2	Visualisierungssysteme	31
3.2.3	Interaktion	33
3.3	Graphisch-interaktive Strömungsvisualisierung	35
3.3.1	Filterfunktionen zur Strömungsvisualisierung	35
3.3.2	Mapping- und Renderingtechniken zur Strömungsvisualisierung	37
3.3.3	Visualisierungstechniken für Strömungscharakteristika	47
3.3.4	Klassifikationsschema für Techniken der Strömungsvisualisierung	49
3.3.5	Grundlegende Methoden der graphischen Strömungsvisualisierung	51
4	Voxelisierung – Überführung in ein reguläres Gitter	54
4.1	Verfahren der Überführung in reguläre Gitter	54
4.2	Konsequenzen der Voxelisierung	57

5	Lokale Interpolation in nicht-regulären Gittern	60
5.1	Interpolation im physikalischen Raum	61
5.1.1	Trilineare Interpolation	61
5.1.2	Interpolation mittels „gewichtetem Durchschnitt“	63
5.2	Interpolation im Berechnungsraum	64
5.2.1	Formfunktionen in Finit Element Gittern	64
5.3	Formfunktionen der gebräuchlichsten Elementtypen	67
5.4	Invertierung der Formfunktionen	73
6	Integration von Vektorfeldern.....	77
6.1	Bahnlinien und Stromlinien	77
6.2	Algorithmen für die graphisch-interaktive Strömungsvisualisierung.....	80
6.3	Partikelverfolgung in regulären Gittern.....	83
6.4	Integrationsverfahren	84
6.4.1	Einschrittverfahren	84
6.4.2	Mehrschrittverfahren	87
6.4.3	Vergleich der Integrationsverfahren	88
6.4.4	Automatische Schrittweitensteuerung	91
6.5	Partikelverfolgung in curvilinearischen Gittern	93
6.5.1	Integration im physikalischen Raum	93
6.5.2	Integration im Berechnungsraum	95
6.6	Partikelverfolgung in unstrukturierten Gittern	99
6.6.1	Integration im physikalischen Raum	99
6.6.2	Integration im Berechnungsraum	100
6.7	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	102
7	Extraktion polygonaler Niveaumassen	104
7.1	Verfahren zur Niveaumassenbestimmung	104
7.2	Extraktion polygonaler Niveaumassen in nicht-regulären Gittern	106
7.2.1	Berechnung der Niveaumassennormalen	108
7.2.2	Zerlegung der Finiten Elemente in Primitive	111
7.2.3	Extraktion von Dreiecksflächen	113
7.2.4	Einpassen höherwertiger Flächensegmente	116
7.3	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	117
8	Data Probing	119
8.1	Punkt-Proben und Linien-Proben	120
8.2	Flächen-Proben und Volumen-Proben	122
8.3	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	125
9	Direktes Volumenrendern.....	126
9.1	Verfahren des Direkten Volumenrenderns	128
9.1.1	Projektionsverfahren	128
9.1.2	Raycasting	129

9.1.3	Entwicklungstendenzen beim Direkten Volumenrendern	131
9.2	Projektion nicht-regulärer Gitter.....	134
9.2.1	Gouraud Projektion von Zellflächen	134
9.2.2	Gewichtete Projektion von sortierten Zellflächenteilen	135
9.2.3	Diskussion.....	137
9.3	Raycasting nicht-regulärer Gitter	138
9.3.1	Raycasting curvilinearer Gitter.....	138
9.3.2	Raycasting unstrukturierter Gitter	149
9.3.3	Bildmischung.....	156
9.3.4	Previewing und Animation	162
9.3.5	Effizienz und Genauigkeit beim Raycasting	163
9.3.6	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	166
10	Interaktion und Interaktivität bei der Strömungsvisualisierung....	168
10.1	Interaktion und Navigation	168
10.1.1	Semantische Interaktion.....	170
10.1.2	Räumliche Orientierung.....	171
10.1.3	Exakte räumliche Navigation bei der Datenvisualisierung	171
10.2	Parallelisierung rechenaufwendiger Visualisierungstechniken	179
10.3	Parallelisierung auf „Multi Processor Shared Memory“ Systemen.....	180
10.3.1	Parallelisierung in Netzwerken.....	183
10.4	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	191
11	Implementierungen und Anwendungen	193
11.1	Simulation der Atemströmung in der menschlichen Nase	193
11.1.1	Ziele der Arbeit.....	194
11.1.2	Realisierung	194
11.1.3	Diskussion der erzielten Ergebnisse	199
11.2	Das datenflußorientierte Visualisierungssystem apE	200
11.2.1	Ziele der Arbeit.....	201
11.2.2	Realisierung	201
11.2.3	Diskussion der erzielten Ergebnisse	205
11.2.4	Evaluierung anderer datenflußorientierter Visualisierungssysteme	206
11.3	Das monolithische Visualisierungssystem ISVAS	208
11.3.1	Ziele der Arbeit.....	208
11.3.2	Realisierung	210
11.3.3	Diskussion der erzielten Ergebnisse	214
11.4	Testbett für neue Interaktions- und Visualisierungstechniken: ICV	216
11.4.1	Ziele der Arbeit.....	216
11.4.2	Realisierung	217
11.4.3	Diskussion der erzielten Ergebnisse	223
11.5	Das „Virtual Reality“ System Virtual Design II.....	224
11.5.1	Ziele der Arbeit.....	224

11.5.2 Realisierung	225
11.5.3 Diskussion der erzielten Ergebnisse	230
12 Ausblick	231
Literaturverzeichnis	235