

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
	Ralf Dörner, Bernhard Jung, Paul Grimm, Wolfgang Broll und Martin Göbel	
1.1	Worum geht es bei VR/AR?	1
1.1.1	Die perfekte Virtuelle Realität	2
1.1.2	Die Simulation der Welt	5
1.1.3	Suspension of Disbelief	7
1.1.4	Motivation	8
1.2	Was ist VR?	12
1.2.1	Technologieorientierte Charakterisierungen der VR	12
1.2.2	VR als innovative Form der Mensch-Maschine Interaktion	15
1.2.3	Mentale Aspekte der VR-Erfahrung	17
1.3	Historische Entwicklung der VR	19
1.4	VR/AR –Systeme	21
1.5	Benutzung des Buches	25
1.5.1	Aufbau des Buches	25
1.5.2	Benutzungsanleitung	26
1.5.3	Zielgruppen des Buches	26
	Lehrende im Bereich VR/AR	27
	Studierende	28
	Anwender oder solche, die es werden wollen	28
	Technologieaffine	29
1.6	Zusammenfassung und Fragen	29
	Literaturempfehlungen	30
	Literatur	31
2	Wahrnehmungsaspekte von VR	33
	Ralf Dörner und Frank Steinicke	
2.1	Menschliche Informationsverarbeitung	33
2.2	Visuelle Wahrnehmung	35
2.2.1	Stereosehen	36
2.2.2	Raumwahrnehmung	39

2.3	Multisensorische Wahrnehmung	43
2.3.1	Auditive Wahrnehmung	43
2.3.2	Haptische Wahrnehmung	44
2.3.3	Propriozeption und Kinästhesie	44
2.3.4	Bewegungswahrnehmung	45
2.3.5	Präsenz und Immersion	46
2.4	Phänomene, Probleme, Lösungen	46
2.4.1	Abweichende Betrachtungsparameter	47
2.4.2	Doppelbilder	48
2.4.3	Frame Cancellation	50
2.4.4	Vergence-Focus-Konflikt	51
2.4.5	Diskrepanzen in der Raumwahrnehmung	52
2.4.6	Diskrepanzen in der Bewegungswahrnehmung	55
2.4.7	Cybersickness	56
2.5	Nutzung von Wahrnehmungsaspekten	57
2.5.1	Salienz	57
2.5.2	Nutzerführung	60
2.6	Zusammenfassung und Fragen	60
	Literaturempfehlungen	61
	Literatur	61
3	Virtuelle Welten	65
	Bernhard Jung und Arnd Vitzthum	
3.1	Einführung	66
3.1.1	Vorüberlegung: Anforderungen an Virtuelle Welten	66
3.1.2	Erstellen der 3D-Objekte	67
3.1.3	Aufbereitung der 3D-Objekte für VR/AR	67
3.1.4	Integration der 3D-Objekte in VR/AR-Laufzeitumgebungen	68
3.2	Szenengraphen	68
3.3	3D Objekte	71
3.3.1	Oberflächenmodelle	72
	Polygonbasierte Repräsentationen	72
	Polygone	72
	Polygonnetze (Polygon Meshes)	72
	Triangle Strips	73
3.3.2	Festkörpermodelle	74
	Boundary Representations (B-Reps)	74
	Primitive Instancing	75
3.3.3	Erscheinungsbild	75
	Materialien	75
	Texturen	76
	Shader	77

3.3.4	Optimierungstechniken für 3D-Objekte	77
	Vereinfachung von Polygonnetzen	78
	Darstellung unterschiedlicher Detailgrade	78
	Texture Baking	78
	Billboards	79
3.4	Animation und Objektverhalten	80
3.4.1	Keyframe-Animation	80
3.4.2	Physikbasierte Animation starrer Körper	80
3.4.3	Objektverhalten	82
3.4.4	Verhalten und Animation in Szenengraphen	83
3.5	Beleuchtung, Sound und Hintergründe	83
3.5.1	Beleuchtung	84
3.5.2	Sound	84
3.5.3	Hintergründe	86
3.6	Spezialsysteme	86
3.6.1	Virtuelle Menschen	86
3.6.2	Partikelsysteme	88
3.6.3	Gelände	90
3.6.4	Vegetation	91
3.7	Zusammenfassung und Fragen	93
	Literaturempfehlungen	94
	Literatur	94
4	VR-Eingabegeräte	97
	Paul Grimm, Rigo Herold, Johannes Hummel und Wolfgang Broll	
4.1	Grundlagen	98
4.1.1	Anzahl der Freiheitsgrade pro verfolgtem Körper	100
4.1.2	Anzahl der gleichzeitig verfolgten Körper	100
4.1.3	Größe der überwachten Fläche bzw. des überwachten Volumens ...	100
4.1.4	Genauigkeit	101
4.1.5	Wiederholrate	101
4.1.6	Latenz	102
4.1.7	Drift	102
4.1.8	Empfindlichkeit gegenüber äußeren Rahmenbedingungen	103
4.1.9	Kalibrierung	103
4.1.10	Usability	103
4.2	Optisches Tracking	104
4.2.1	Markenbasierte Verfahren	104
4.2.2	Markenlose Verfahren	107
4.2.3	Outside-In-Verfahren	107
4.2.4	Inside-Out-Verfahren	109
4.2.5	Vergleich der optischen Tracking-Systeme	109

4.3	Weitere Eingabegeräte	110
4.3.1	3D-Mouse	110
4.3.2	Mechanische Eingabegeräte	110
4.3.3	Akustisches Tracking	111
4.3.4	Elektromagnetisches Tracking	112
4.3.5	Inertial-Tracker	112
4.3.6	Bewegungsplattformen	113
4.4	Finger-Tracking	114
4.5	Eye-Tracking	117
4.5.1	Bewegungsabläufe des Auges	117
4.5.2	Verfahren	117
4.5.3	Funktionsweise eines Eye-Trackers	120
4.5.4	Kalibrierung	121
4.5.5	Eye-Tracking in Head-Mounted Displays	122
4.5.6	Remote-Eyetracker	123
4.6	Zusammenfassung und Fragen	124
	Literaturempfehlungen	124
	Literatur	125
5	VR-Ausgabegeräte	127
	Paul Grimm, Rigo Herold, Dirk Reiners und Carolina Cruz-Neira	
5.1	Visuelle Ausgabe	129
5.1.1	Verwendete Technologien	129
5.1.2	Räumliche Darstellung	129
5.1.3	Aufbau von Displayssystemen mit mehreren Displays	132
5.2	Ausgabe über Tiled Displays	134
5.2.1	Geometrische Kalibration	137
5.2.2	Helligkeitsuniformität	138
5.2.3	Farbuniformität	141
5.2.4	Hard- und Software für die Bilderzeugung	141
5.2.5	Fazit	142
5.3	Head-Mounted Displays	142
5.3.1	Allgemeine Kenngrößen und Eigenschaften	142
5.3.2	Direktsicht-HMDs	147
5.3.3	Video-HMDs	149
5.3.4	See-Through-HMDs	150
5.3.5	Interaktive HMDs	151
5.4	Akustische Ausgabegeräte	154
5.5	Haptische Ausgabegeräte	154
5.6	Zusammenfassung und Fragen	155
	Literaturempfehlungen	156
	Literatur	156

6 Interaktionen in Virtuellen Welten	157
Ralf Dörner, Christian Geiger, Leif Oppermann und Volker Paelke	
6.1 Grundlagen aus der Mensch-Computer-Interaktion	158
6.2 Selektion	160
6.2.1 Zeigen in Virtuellen Welten	160
6.2.2 Interaktionsgestaltung	162
6.2.3 Beispiele für Selektionstechniken	164
6.3 Manipulation von Objekten	165
6.4 Navigation	168
6.4.1 Steuerungstechniken zur Bewegungskontrolle	170
6.4.2 Walking als Technik zur Bewegungskontrolle	171
6.4.3 Leaning-Based Interfaces zur Bewegungskontrolle	173
6.4.4 Routenplan- und zielbasierte Bewegungstechniken	175
6.4.5 Entwurfskriterien für Navigationstechniken	176
6.5 Systemsteuerung	176
6.6 Prozesse für Design und Realisierung von VR-Interaktion	178
6.6.1 Besonderheiten von VR-Benutzungsschnittstellen	179
6.6.2 Nutzerorientierte Entwicklung von VR-Interaktionen	180
6.7 Nutzertests	183
6.8 Zusammenfassung und Fragen	190
Literaturempfehlungen	191
Literatur	192
 7 Echtzeitaspekte von VR-Systemen	 195
Mathias Buhr, Thies Pfeiffer, Dirk Reiners, Carolina Cruz-Neira und Bernhard Jung	
7.1 Latenz in VR-Systemen	195
7.1.1 Welche Anforderungen an Latenz gibt es?	197
7.1.2 Wo entstehen eigentlich Latenzen?	198
7.1.3 Ist die Latenz in einem VR-System konstant?	200
7.1.4 Welche Ansätze zur Latenzbestimmung gibt es?	200
Latenzbestimmung durch Berechnung	200
Bestimmung der Latenz von Tracking-Systemen	203
Bestimmung der Ende-zu-Ende-Latenz	205
7.1.5 Zusammenfassung Latenz	205
7.2 Effiziente Kollisionserkennung in Virtuellen Welten	206
7.2.1 Hüllkörper	207
Axis-Aligned Bounding Box (AABB)	209
Bounding Spheres	210
Oriented Bounding Boxes (OBBs)	210
Discrete-Oriented Polytope (k-DOPs)	212

7.2.2	Techniken zur Strukturbildung	213
	Bounding Volume Hierarchies	213
	Raumzerlegung und Binary Space-Partitioning-Trees	214
7.2.3	Kollisionserkennung für große Umgebungen	218
	Broad Phase Collision Detection	218
	Narrow Phase Collision Detection	220
7.2.4	Zusammenfassung und weitergehende Techniken	222
7.3	Echtzeit-Rendering Virtueller Welten	223
7.3.1	Algorithmische Strategien	224
	View Volume Culling	224
	Hierarchical View Volume Culling	226
	Occlusion Culling	226
	Backface Culling	228
	Small Feature Culling	228
	Portal Culling	228
	Level of Detail	229
7.3.2	Hardwarebezogene Strategien	230
	Objektgröße	231
	Indizierung	231
	Caching	232
	Stripping	233
	Minimierung von Zustandswechseln	234
7.3.3	Softwaresysteme für die Darstellung Virtueller Welten	235
	Szenengraphen	236
7.4	Zusammenfassung und Fragen	237
	Literaturempfehlungen	238
	Literatur	238
8	Augmentierte Realität	241
	Wolfgang Broll	
8.1	Einführung	241
8.1.1	Übersicht	241
	Videoaufnahme	242
	Tracking	242
	Registrierung	243
	Darstellung	243
	Ausgabe	243
8.1.2	Definition	245
8.1.3	Grundlegende Ausprägungen von AR	247
	Video See-Through-AR	248
	Optisches See-Through-AR	248
	Projektionsbasierte AR	249
	Vergleich der unterschiedlichen Ausprägungen von AR	250

8.2	Tracking	252
8.2.1	Mobiles Positions-Tracking	253
8.2.2	Sensorbasiertes mobiles Orientierungs-Tracking	255
8.2.3	Kamerabasiertes Tracking mit Marken	256
	Einsatz des Marken-Trackings	256
	Grundlegende Funktionsweise	257
	Intrinsische und extrinsische Kameraparameter	259
8.2.4	Merkmalsbasierte Tracking-Verfahren	261
	Geometriebasiertes Tracking	261
	Weitere merkmalsbasierte Tracking-Verfahren	261
8.2.5	Hybride Tracking-Techniken	263
8.3	Registrierung	264
8.3.1	Geometrische Registrierung	264
8.3.2	Photometrische Registrierung	268
8.4	Visuelle Ausgabe	270
8.4.1	Handheld-Geräte	271
8.4.2	Video-See-Through-Displays	271
8.4.3	Optische See-Through-Displays	273
	Optische See-Through-Displays mit semi-transparenten Spiegeln ...	274
	Prismenbasierte optische See-Through-Displays	275
	Retinale Datenbrillen	275
	See-Through-Displays mit integrierten optischen Elementen	276
	Auswirkungen unterschiedlicher Bauweisen	278
	Auswirkungen unterschiedlicher Displaykonfigurationen auf die Tiefenwahrnehmung	281
8.4.4	Projektionsbasierte Ausgabe	281
8.5	Spezielle AR-Techniken	282
8.5.1	Head-Up-Inhalte	283
8.5.2	Verdeckungen und Phantomobjekte	283
8.5.3	Überblenden von Marken	285
8.5.4	Virtuelle Löcher	285
8.6	Spezielle AR-Interaktionstechniken	285
8.6.1	Interaktion durch Navigation	286
8.6.2	Selektion durch Blickrichtung	287
8.6.3	Tangible User Interfaces	287
8.7	Applikationen	288
	Training und Wartung	288
	Fernsehübertragungen	289
	Militärische Applikationen	289
	Lehre, (Aus-) Bildung und Museen	289
	Architektur und Städteplanung	290
	Medizin	290
	Information, Navigation und Tourismus	290

Archäologie und Geschichte	290
Spiele und Unterhaltung	291
8.8 Zusammenfassung und Fragen	291
Magic Lens	292
Tracking	292
Registrierung	292
Displays	292
Tangible Interfaces	292
Phantomobjekte	292
Literaturempfehlungen	293
Literatur	293
9 Fallbeispiele für VR/AR	295
Ralf Dörner, Geert Matthys, Manfred Bogen, Stefan Rilling, Andreas Gerndt, Janki Dodiya, Katharina Hertkorn, Thomas Hulin, Johannes Hummel, Mikel Sagardia, Robin Wolff, Tom Kühnert, Guido Brunnnett, Hagen Buchholz, Lisa Blum, Christoffer Menk, Christian Bade, Werner Schreiber, Matthias Greiner, Thomas Alexander, Michael Kleiber, Gerd Bruder und Frank Steinicke	
9.1 Einführung und Übersicht	295
9.2 Die aixCAVE an der RWTH Aachen University	297
9.3 Virtuelle Realität in der Öl- und Gasindustrie	300
9.4 Virtuelle Satellitenreparatur im Orbit	303
9.5 Virtual Prototyping von Schuhen und Stiefeln	306
9.6 Augmentierte Realität zum Anfassen	310
9.7 Augmentierte Realität unter Wasser	311
9.8 Einsatz von Spatial Augmented Reality in der Automobilindustrie	313
9.9 Einsatz von Augmented Reality in der Fertigungsplanung	316
9.10 Augmentierte Realität und Print	318
9.11 Benutzerzentrierte Gestaltung eines AR-basierten Systems zur Telemaintenance	320
9.12 Effekte von Rendering-Parametern auf die Wahrnehmung von Größen und Distanzen	322
Literatur	324
10 Mathematische Grundlagen von VR/AR	327
Ralf Dörner	
10.1 Vektorräume	327
10.2 Geometrie und Vektorräume	329
10.3 Der affine Raum	330
10.4 Der euklidische Raum	331
10.5 Analytische Geometrie im $\mathbb{R}^3$	333

10.6	Matrizen	334
10.7	Affine Abbildungen und Wechsel von Koordinatensystemen	335
10.8	Bestimmung von Transformationsmatrizen	337
Über die Autoren		339
Sachverzeichnis		345