

Inhalt

Vorwort	XIII
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	5
2.1 Augmented Reality	5
2.2 Visualisierungstechniken	6
2.2.1 Optical-See-Through-Datenbrille oder OST-HMD	6
2.2.2 Video-See-Through-Datenbrille oder VST-HMD	9
2.2.3 Monitor-AR	9
2.2.4 Projektions-AR	9
2.3 Visualisierungsart	9
2.4 Augmented-Reality-System	11
2.5 Mensch-Maschine-Schnittstelle	12
3 Mensch	15
3.1 Auge	16
3.2 Blickfeld, Gesichtsfeld	17
3.3 Augenbewegung	18
3.4 Akkommodation	19
3.5 Schärfentiefe	20
3.6 Fehlsichtigkeit	21
3.7 Pupillendistanz	23
3.8 Sehschärfe	23

3.9	Adaption	24
3.10	Blendung	26
3.11	Helligkeitskontrast	27
3.11.1	Kontrastempfindlichkeit in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz (Ansatz 1)	28
3.11.2	Kontrast in Abhängigkeit von der Leuchtdichte der Umgebung (Ansatz 2)	30
3.11.3	Zusammenführung	32
3.12	Farbkontrast	34
3.13	Fusionierung	34
3.14	Stereoskopisches Sehen oder Tiefenwahrnehmung	37
3.14.1	Okulomotorische Tiefenreize	37
3.14.2	Monokulare Tiefenreize	38
3.14.3	Binokulare Tiefenreize	39
3.14.4	Erfassbare Tiefenunterschiede	39
3.15	Farbwahrnehmung	42
3.16	Farbsinnstörung	45
3.17	Flimmerverschmelzungsfrequenz	45
3.18	Altersbedingte Veränderungen	47
3.19	Nutzung von Gleitsichtgläsern	49
4	Industrielle Anwendungen	53
4.1	Einsatzbereiche	53
4.1.1	Produktentwicklung	54
4.1.2	Produktionsplanung	55
4.1.3	Produktion	56
4.1.4	Logistik	58
4.1.5	Wartung, Instandhaltung, Service	59
4.1.6	Training	60
4.2	Arbeitsentfernung	60
4.3	Sehentfernung	61
4.4	Einsatzdauer	61
4.5	Charakterisierung der Arbeitsbereiche	62
4.6	Alter der Mitarbeiter	62
4.7	Arbeitsplatzbeleuchtung	63

4.8	Gleichmäßigkeit der Beleuchtung	64
4.9	Gesichtsfeld	65
4.10	Temperatur	65
4.11	Luftfeuchtigkeit	66
4.12	Staub	66
4.13	Schmutz	67
4.14	Elektromagnetische Felder	67
4.15	Vibration	67
4.16	Lärm	68
4.17	Mensch-Maschine-Schnittstelle	68
5	Datenbrillen	71
5.1	Bildweite	71
5.2	Leuchtdichte Bildquelle	72
5.3	Sichtfeld, Bildwinkel	72
5.4	Blickfeld Datenbrille	74
5.5	Aktuelle Datenbrillen	75
5.5.1	Epson	77
5.5.2	MagicLeap2	77
5.5.3	Microsoft HoloLens2	77
5.5.4	Nreal Light	78
5.6	Korrekturmöglichkeit	78
5.7	Anpassung Pupillendistanz	79
5.8	Verzeichnung	80
5.8.1	Verzeichnung Bild der Virtualität	80
5.8.2	Verzeichnung Bild der Realität	82
5.9	Chromatische Aberration	82
5.10	Bildwiederholrate	83
5.11	Farbdarstellung	83
5.12	Betriebsbedingungen	84
6	Integration	87
6.1	Arbeitssystem	87
6.2	Datenquellen	89
6.3	Datenbereitstellung	89
6.4	Wirtschaftliches Potenzial	92

7	Anwendung von Datenbrillen	95
7.1	Objektweite, Bildweite	97
7.2	Fusionierung	101
7.3	Sichtfeld	102
7.4	Blickfeld Datenbrille	103
7.5	Auswirkung der Vergenz	103
7.6	Auflösung	104
7.7	Position der Datenbrille	105
7.8	Abbildungsgenauigkeit	106
7.8.1	Anwendung	107
7.8.2	Dynamik in der Augmented-Reality-Anwendung	109
7.8.3	Trackinggenauigkeit	112
7.8.4	Arbeitsentfernung, Objektweite, Bildweite	112
7.8.5	Sitz der Datenbrille am Kopf des Nutzers	113
7.8.6	Datenvollständigkeit	115
7.9	Verzeichnung	115
7.9.1	Verzeichnung im Bild der Virtualität	115
7.9.2	Verzeichnung im Bild der Realität	117
7.10	Nutzung Korrekturgläser	117
7.10.1	Einstärken-Korrekturgläser	117
7.10.2	Gleitsichtgläser	118
7.11	Einstellbarkeit der Pupillendistanz	119
7.12	Blendung	120
7.13	Helligkeitskontrast	121
7.13.1	Helligkeitskontrast Innenbereich	121
7.13.2	Helligkeitskontrast im Außenbereich	124
7.14	Gleichmäßigkeit	125
7.15	Farbkontrast	126
7.16	Gleichmäßigkeit der Anzeige	128
7.17	Chromatische Aberration	128
7.18	Berücksichtigung der Farbsinnstörung	128
7.19	Überdeckung, Verdeckung, Sichtbehinderung	129
7.19.1	Angezeigte virtuelle Objekte	129
7.19.2	Einfluss der Datenbrille auf die Sicht	130
7.20	Komplexität der virtuellen Bilder	131

7.21	Gewicht und Abmessungen	132
7.22	Einsatzdauer und Energieversorgung	133
7.23	Dateneingabe	134
7.24	Dichtigkeit und Hygiene	135
7.25	Bildwiederholrate	137
7.26	Farbraum	137
7.27	Altersbedingte Veränderungen	137
7.28	Nutzerindividuelle Einstellung der Datenbrille	138
7.29	Betriebs- und Lagerbedingungen	139
7.29.1	Stoßfestigkeit	139
7.29.2	Temperatur und Luftfeuchtigkeit	139
7.29.3	Beständigkeit gegenüber Medien	140
7.29.4	Dauerfeste Kabelverbindungen, Steckverbindungen	140
7.30	Elektromagnetische Verträglichkeit	141
8	Blickerfassung oder Eye-Tracking	143
8.1	Funktionsweise der Blickerfassung	144
8.2	Einsatz von Blickerfassung	144
8.2.1	Erfassung Pupillendistanz	144
8.2.2	Ermittlung Entfernung	145
8.2.3	Bewegung der Datenbrille vor dem Auge	147
9	Arbeitsaufgabe	149
9.1	Arbeitsumfang	149
9.2	Produktvarianz	152
9.3	Fehlertoleranz	153
9.4	Visualisierung von Produktzuständen	153
9.5	Strukturierbarkeit und Interaktion	154
9.6	Informationsdarstellung	156
10	Arbeitssicherheit	159
10.1	Rechtliche Grundlagen	159
10.2	Konformitätskennzeichnung	162
10.3	Gefährdungsbeurteilung	162
10.3.1	Schritt 1: Arbeitsbereich und Tätigkeiten festlegen und beschreiben	163

10.3.2	Schritt 2: Gefährdungen ermitteln	164
10.3.3	Schritt 3: Gefährdungen beurteilen	164
10.3.4	Schritt 4: Schutzmaßnahmen festlegen	167
10.3.5	Schritt 5: Maßnahmen durchführen	167
10.3.6	Schritt 6: Wirksamkeit prüfen	168
10.3.7	Schritt 7: Dokumentieren und fortschreiben	168
10.4	Gefährdungen	169
10.4.1	Gefährdungsfaktor 1.2: Teile mit gefährlichen Oberflächen	169
10.4.2	Gefährdungsfaktor 1.4: Unkontrolliert bewegte Teile	170
10.4.3	Gefährdungsfaktor 2.1: Körperdurchströmung	170
10.4.4	Gefährdungsfaktor 2.3: Elektrostatische Aufladung	170
10.4.5	Gefährdungsfaktor 3.2: Einatmen von Gefahrstoffen	170
10.4.6	Gefährdungsfaktor 4.1: Infektionsgefährdung durch pathogene Mikroorganismen	171
10.4.7	Gefährdungsfaktor 5.1: Brennbare Feststoffe, Flüssigkeiten und Gase	171
10.4.8	Gefährdungsfaktor 6.1: Heiße Medien/Oberflächen	171
10.4.9	Gefährdungsfaktor 7.5: Optische Strahlung	172
10.4.10	Gefährdungsfaktor 7.7: Elektromagnetische Felder	172
10.4.11	Gefährdungsfaktor 9.3: Haltungsarbeit (Zwangshaltung), Haltearbeit	172
10.4.12	Gefährdungsfaktor 10.1: Ungenügend gestaltete Arbeitsaufgabe	173
10.4.13	Gefährdungsfaktor 10.2: Ungenügend gestaltete Arbeitsorganisation	173
10.4.14	Gefährdungsfaktor 10.3: Ungenügend gestaltete soziale Bedingungen	174
10.4.15	Gefährdungsfaktor 10.4: Ungenügend gestaltete Arbeitsplatz- und Arbeitsumgebungsbedingungen	174
10.5	Versagensmechanismen Lithium-Ionen-Batterien	175
10.6	Kompatibilität mit persönlicher Schutzausrüstung	180
10.7	Individuelle Leistungsvoraussetzung des Menschen	180
10.8	Wechselnde Arbeitsbereiche	181

11	Wirtschaftlichkeit	183
12	Fazit	189
13	Zusammenfassung der Anforderungen an Datenbrillen	193
14	Zusammenfassung der Anforderungen an Anwendungen	199
15	Verwendete Formelzeichen	201
16	Anhang: IP-Schutzarten nach DIN EN 60529	205
	Index	207