

I Inhaltsverzeichnis

II	Abbildungsverzeichnis	5
III	Tabellenverzeichnis.....	10
IV	Abkürzungsverzeichnis	11
V	Danksagung	12
VI	Zusammenfassung	13
VII	Abstract	15
1	Einleitung	17
1.1	Motivation und Hintergrund.....	17
1.2	Methodisches Vorgehen.....	19
1.3	Wissenschaftlicher Beitrag und Gliederung.....	20
1.4	Eingliederung der Arbeit in die Virtuelle Produktentstehung.....	20
2	Stand der Technik und Forschung.....	22
2.1	Virtuelle Umgebungen	22
2.1.1	Head-Mounted-Displays	24
2.1.2	CAVE.....	27
2.1.3	Powerwall.....	28
2.2	User-Interfaces	29
2.2.1	WIMP-Interfaces.....	29
2.2.2	Natural-User-Interfaces.....	32
2.2.3	Reality-Based-User-Interfaces	35
2.3	Interaktion in VR.....	37
2.3.1	Begreifbare User-Interfaces	38
2.4	Hardware zum Finger- und Hand-Tracking.....	40
2.5	Greifen in virtuellen Umgebungen.....	45
2.6	Usability und User-Experience	52
2.7	Digitale Absicherung von Montagetätigkeiten	54
2.8	Digitale Menschmodelle für die Absicherung von Montagetätigkeiten	58
2.9	Usability von DMM und die Anwendung von Virtual Reality	62
2.10	Zusammenfassung: Stand der Forschung und Ableitung der Forschungsfragen.....	62
3	Methode Instruktion DHM.....	66
3.1	Aufgabenanalyse des DMM IMMA	66

3.1.1	Möglichkeiten zum Datenaustausch von VR-Umgebung zur IMMA-Simulationssoftware	68
3.2	Anforderungsermittlung durch Fokusgruppe	69
3.3	Virtual-Action-Tracking-System	72
3.4	Interaktionsmodell zur Instruktion digitaler Menschmodelle	74
3.5	Zusammenfassung	77
4	Empirische Studien	79
4.1	Studie 1: Nutzerstudie zu visuellem Feedback zur Effizienzsteigerung bei der Instruktion von digitalen Menschmodellen.....	79
4.1.1	Hypothesen.....	80
4.1.2	Technischer Versuchsaufbau und Implementierung.....	80
4.1.3	Design und Ablauf der Untersuchung	82
4.1.3.1	Subjektive Messerhebung	82
4.1.3.2	Objektives Messkriterium	83
4.1.4	Design und Ablauf der Studie	84
4.1.5	Ergebnisse	86
4.1.5.1	Subjektive Ergebnisse	86
4.1.5.2	Objektive Ergebnisse.....	88
4.1.6	Diskussion	90
4.1.7	Zusammenfassung und Einordnung in das Gesamtthema.....	90
4.2	Studie 2: Expertenevaluierung des Systems durch Nutzerstudie und Workshop	91
4.2.1	Hypothesen.....	91
4.2.2	Technische Implementierung	92
4.2.3	Design und Ablauf der Expertenuntersuchung	92
4.2.3.1	Fragebogen ISONORM.....	94
4.2.3.2	Fragebogen meCUE	94
4.2.3.3	World Café	95
4.2.4	Ergebnisse	95
4.2.5	Diskussion	100
4.2.6	Zusammenfassung und Einordnung in das Gesamtthema.....	102
4.3	Studie 3: Griffserkennung in VR	103
4.3.1	Stand der Forschung.....	104
4.3.1.1	Einordnung der Griffe in Griff-taxonomie	104
4.3.1.2	Griffserkennung mithilfe von Machine Learning.....	106

4.3.2	Hypothesen.....	110
4.3.3	Technische Implementierung	110
4.3.4	Design und Ablauf der Studie	115
4.3.5	Ergebnisse	115
4.3.6	Diskussion	115
4.3.7	Zusammenfassung und Einordnung in das Gesamtthema.....	116
4.4	Studie 4: Vergleichende Untersuchung zur Instruktion von digitalen Menschmodellen über VR-Interaktion und dem WIMP-Interface	117
4.4.1	Hypothesen.....	117
4.4.2	Technische Implementierung	118
4.4.3	Design und Ablauf der Untersuchung	120
4.4.4	Ergebnisse	124
4.4.4.1	TCT	125
4.4.4.1	Fehler bei der Aufgabendurchführung	126
4.4.4.2	Genauigkeit der Endposition.....	127
4.4.4.3	NASA-TLX.....	128
4.4.4.4	Lernförderlichkeit.....	131
4.4.4.5	Ergebnisse Abschlussfragebogen.....	132
4.4.5	Diskussion	133
4.4.6	Zusammenfassung und Einordnung in das Gesamtthema.....	136
4.5	Übertragbarkeit der Methodik auf andere Menschmodelle.....	136
4.5.1	Forschungsfrage	137
4.5.2	Design und Ablauf der Untersuchung	137
4.5.3	Ergebnisse	138
4.5.4	Diskussion	139
4.5.5	Zusammenfassung und Einordnung in das Gesamtthema.....	140
5	Zusammenfassung und Diskussion	141
6	Fazit und Ausblick	145
7	Literaturverzeichnis.....	147
8	Anhang	158