

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung 1**
 - 1.1 Motivation1
 - 1.2 Zielsetzung und Struktur der Arbeit.....2
- 2 Stand der Wissenschaft und Technik 5**
 - 2.1 Additive Fertigung.....5
 - 2.1.1 Grundlagen.....5
 - 2.1.2 Prozesskette7
 - 2.1.3 Verfahren.....9
 - 2.1.4 Laserstrahlschmelzprozess9
 - 2.2 Augmented Reality.....13
 - 2.2.1 Grundlagen.....14
 - 2.2.2 AR-Display-Technologien15
 - 2.2.3 AR-Interaktion19
 - 2.2.4 AR-Tracking-Technologien.....23
 - 2.3 Digitale Assistenzsysteme28
 - 2.3.1 Informationsbereitstellung28
 - 2.3.2 Gebrauchstauglichkeit und Nutzungserlebnis.....30
 - 2.3.3 Gestaltungsorientierte Forschung30
- 3 Handlungsbedarf35**
 - 3.1 Aktuelle Herausforderungen der additiven Produktion35
 - 3.2 AR als Enabler für das Spezialisierungsszenario36
 - 3.3 Vorgehensweise40
- 4 Spezifikation von Anwendungspotenzialen43**
 - 4.1 Methodisches Vorgehen.....44
 - 4.2 Identifikation von Einsatzdomänen44
 - 4.2.1 Literatur- und Marktrecherche.....45
 - 4.2.2 Einsatzdomänen.....48
 - 4.3 Ableitung von AR-Use-Cases.....51
 - 4.4 Potenzialbewertung.....52
 - 4.5 Zusammenfassung56
- 5 Nutzungskontextanalyse und Anforderungsbestimmung57**
 - 5.1 Methodisches Vorgehen.....58
 - 5.2 Nutzendengruppe59
 - 5.2.1 Wissensvermittlung in AM.....60
 - 5.2.2 Merkmale der Nutzendengruppe62

5.3	Arbeitsaufgaben.....	62
5.3.1	Systemgrenze der Rüst- und Wartungsprozesse	62
5.3.2	Häufigkeit und Zeitauern	64
5.3.3	Prozessabhängigkeiten.....	70
5.4	Umgebung.....	75
5.4.1	Ausrüstung.....	75
5.4.2	Hardware, Software und Materialien.....	77
5.4.3	Merkmale der Umgebung	78
5.5	Zusammenfassung des Nutzungskontextes	79
5.6	Anforderungsbestimmung.....	80
5.6.1	Nutzendenerfordernisse.....	80
5.6.2	Nutzungsanforderungen.....	81
5.7	Zusammenfassung	83
6	Konzeptentwicklung und Systemgestaltung	85
6.1	Methodisches Vorgehen.....	86
6.2	Systemanforderungen	87
6.2.1	Auswahl Display-Technologie	88
6.2.2	Auswahl Interaktionstechnik.....	90
6.2.3	Auswahl Tracking-Technologie.....	91
6.3	Systemarchitektur	92
6.3.1	Entwicklungsumgebung	92
6.3.2	Funktionsstruktur	93
6.3.3	Systemstruktur.....	95
6.4	Visualisierungskonzept.....	96
6.4.1	Frühe Designphase.....	97
6.4.2	Iterativer Designprozess	98
6.5	Inhaltskonzept.....	100
6.5.1	Herleitung der Entwurfsmethodik	101
6.5.2	Aufwandsgerechte Inhaltserstellung.....	104
6.6	Zusammenfassung	107
7	Evaluation im Nutzungskontext	109
7.1	Methodisches Vorgehen.....	110
7.2	Einsatz im Produktionsumfeld	111
7.2.1	Versuchsplanung	112
7.2.2	Bewertungsmethode.....	112
7.2.3	Versuchsdurchführung.....	115
7.2.4	Auswertung.....	116
7.2.5	Diskussion der Ergebnisse	117

7.3 Laboruntersuchung 117

7.3.1 Versuchsplanung 118

7.3.2 Bewertungskriterien und -methoden 122

7.3.3 Versuchsdurchführung 126

7.3.4 Auswertung 131

7.3.5 Diskussion der Ergebnisse 138

7.4 Zusammenfassung 140

8 Wirtschaftliche Bewertung und Verwertungsstrategie..... 143

8.1 Methodisches Vorgehen 144

8.2 Geschäftsmodellbetrachtung 145

8.3 Nutzenidentifikation 147

8.3.1 Use Case: Hands-On Trainingstool 147

8.3.2 Use Case: Wartungsassistent 148

8.4 Kostenidentifikation 149

8.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 152

8.5.1 Risikoanalyse 152

8.5.2 Szenariobetrachtung 155

8.6 Zusammenfassung 156

9 Schlussbetrachtung..... 159

9.1 Zusammenfassung der Ergebnisse 159

9.2 Ausblick..... 161

10 Literaturverzeichnis 163

A. Anhang..... 187

A.1 Fragebogen – Einsatz AR-basierter digitaler Assistenzsysteme 187

A.2 Metadaten Literaturrecherche 189

A.3 Steckbriefe – Use Cases: AR in AM 190

A.4 Fragebogen – Anwendungspotenziale AR in AM 199

A.5 Erfassungsformular OEE (EOS M 290 – Fraunhofer IAPT) 213

A.6 PFMEA (EOS M 290 – Fraunhofer IAPT) 214

A.7 Fragebogen – Pretest 230

A.8 Fragebogen – Posttest..... 234

A.9 NASA Task Load Index (NASA TLX) 236

A.10 System-Usability-Scale (SUS) 238

A.11 User Experience Questionnaire (UEQ) 239

A.12 Annahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 240