

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
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	Prozesskette	7
2.1.3	Verfahren	9
2.1.4	Laserstrahlschmelzprozess	9
2.2	Augmented Reality.....	13
2.2.1	Grundlagen	14
2.2.2	AR-Display-Technologien	15
2.2.3	AR-Interaktion	19
2.2.4	AR-Tracking-Technologien.....	23
2.3	Digitale Assistenzsysteme	28
2.3.1	Informationsbereitstellung	28
2.3.2	Gebrauchstauglichkeit und Nutzungserlebnis.....	30
2.3.3	Gestaltungsorientierte Forschung	30
3	Handlungsbedarf	35
3.1	Aktuelle Herausforderungen der additiven Produktion.....	35
3.2	AR als Enabler für das Spezialisierungsszenario	36
3.3	Vorgehensweise	40
4	Spezifikation von Anwendungspotenzialen	43
4.1	Methodisches Vorgehen.....	44
4.2	Identifikation von Einsatzdomänen	44
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	Zusammenfassung	56
5	Nutzungskontextanalyse und Anforderungsbestimmung	57
5.1	Methodisches Vorgehen.....	58
5.2	Nutzendengruppe	59
5.2.1	Wissensvermittlung in AM.....	60
5.2.2	Merkmale der Nutzendengruppe	62

5.3	Arbeitsaufgaben.....	62
5.3.1	Systemgrenze der Rüst- und Wartungsprozesse	62
5.3.2	Häufigkeit und Zeitdauern	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