

Vorgehensmodell für den systematischen Einsatz der Virtuellen Realität zur Unterstützung des Montageplanungsprozesses

Vom Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik
der Technischen Universität Kaiserslautern
zur Verleihung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

von

Herrn

Dipl.-Ing. Pascal Winkes

aus Frankenthal (Pfalz)

Tag der mündlichen Prüfung: 08. Mai 2017

Promotionskommission:

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Ulf Breuer

1. Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Jan C. Aurich

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Achim Ebert

Kaiserslautern, 2017

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	III
Abstract	IV
English Summary	V
Abkürzungen	VIII
1 Einleitung	1
2 Stand der Forschung	4
2.1 Montage und Montageplanung	4
2.1.1 Montage.....	4
2.1.1.1 Handhaben und Ergonomie	6
2.1.1.2 Primär-Sekundär-Analyse.....	7
2.1.1.3 Organisationsstrukturen der Montage.....	8
2.1.2 Montageplanung.....	11
2.1.3 Störungen	16
2.1.4 Computergestützte Montageplanung.....	16
2.1.4.1 Digitale Produktion.....	17
2.1.4.2 Digitale Fabrik	18
2.2 Virtuelle Realität (VR)	25
2.2.1 Definition Virtuelle Realität.....	25
2.2.2 Aufbau eines VR-Systems	27
2.2.2.1 Ausgabegeräte	27
2.2.2.2 Eingabegeräte	29
2.2.2.3 Fazit Grundlagen und Einsatz von VR-Systemen	31
2.2.3 Physiksimulation in der VR	32
2.2.3.1 Grundlagen	32
2.2.3.2 Mehrköpersysteme.....	33
2.2.3.3 Physik-Engine.....	33
2.2.3.4 Zusammenfassung Physiksimulation.....	35
2.3 Vergleichbare Arbeiten.....	35
2.4 Zusammenfassung des Stands der Forschung	41
3 Zielsetzung und Aufgabenstellung	44
3.1 Erkenntnisse aus dem Stand der Forschung	44
3.2 Ziele und Aufgabenstellung.....	45
3.3 Aufbau der Arbeit.....	47
4 Detailliertes Konzept zur Integration und Durchführung eines strukturierten VR-Workshops	48
4.1 Einordnung in den Montageplanungsprozess	48
4.2 Anforderungen an das VR-System	51
4.2.1 Hardware	52
4.2.1.1 Ausgabe	52
4.2.1.2 Bedienung.....	53
4.2.1.3 Berechnung.....	54
4.2.2 Software	54
4.2.2.1 VR-Programm.....	55
4.2.2.2 Physiksimulation/-berechnung	55
4.2.3 Benutzerschnittfläche.....	56
4.2.3.1 Darstellung.....	56
4.2.3.2 Navigation.....	56
4.2.3.3 Auswahl.....	57
4.2.3.4 Manipulation.....	57

4.3	Vor- und Nachbereitung.....	58
4.3.1	Team zusammenstellen.....	58
4.3.2	Ziele definieren.....	59
4.3.3	Datenfluss und -aufbereitung.....	60
4.3.3.1	Übersicht.....	60
4.3.3.2	Datenaufnahme.....	61
4.3.3.3	Modellerstellung und -bereitstellung.....	68
4.3.3.4	Aufbereitung der Montageanweisungen.....	69
4.3.3.5	Rückschreiben der Daten nach dem VR-Workshop.....	70
4.4	Durchführung des VR-Workshops.....	71
4.4.1	Montagelayout.....	72
4.4.1.1	Bewertung.....	73
4.4.1.2	Auswertung.....	73
4.4.1.3	Optimierung.....	74
4.4.2	Montagestationen und -schritte.....	77
4.4.2.1	Gewichtung.....	78
4.4.2.2	Virtuelle Durchführung der Montage.....	78
4.4.2.3	Bewertung.....	79
4.4.2.4	Auswertung.....	87
4.4.2.5	Optimierung.....	90
4.4.3	Zusammenfassung der Durchführung des VR-Workshops.....	97
5	Implementierung und Anwendungsbeispiel.....	99
5.1	Implementierung.....	99
5.1.1	Datenaufnahmetool.....	99
5.1.2	VR Hard- und Software am FBK.....	100
5.1.3	Bullet Physics Library.....	103
5.1.4	Programm für den VR-Workshop.....	104
5.1.4.1	Aufbau des Programms.....	104
5.1.4.2	Einlesen und Speichern der Daten.....	105
5.1.4.3	Programmablauf und -bedienung.....	105
5.2	Anwendungsbeispiel.....	108
5.2.1	Ausgangslage.....	108
5.2.1.1	Erläuterung Produkt und Montageplanung.....	108
5.2.2	Durchführung VR-Workshop.....	110
5.2.2.1	Bewertung.....	111
5.2.2.2	Optimierung.....	113
5.2.2.3	Ergebnis VR-Workshop.....	114
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	116
7	Quellenverzeichnis.....	119
8	Anhang.....	128
	Anhang A:.....	128
	Anhang A.1: Leitmerkmalermethode zur Beurteilung von Heben, Halten, Tragen.....	128
	Anhang A.2: Methods-Time Measurement.....	130
	Anhang A.3: verwendete UML 2.0 - Symbole.....	131
	Anhang B: Quellcode.....	132
	Anhang B.1: Datenaufnahmetool.....	132
	Anhang B.2: Plugin VR-Workshop.....	132
	Anhang C: Tabellen Validierungsbeispiel.....	135
	Anhang C.1: Tabellen Montageteilschritte.....	135
	Anhang C.2: Tabellen Bewertungsergebnisse.....	137