

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Formelzeichen und Indizes.....</b>	<b>XVII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Motivation und Zielsetzung .....	6
1.3 Aufbau der Arbeit und Vorgehensweise.....	10
<b>2 Wissenschaftliche Grundlagen und Begriffsdefinitionen .....</b>	<b>13</b>
2.1 Produktentstehungs- und Produkterstellungsprozess.....	13
2.1.1 Einordnung in den Produktlebenszyklus .....	18
2.1.2 Produktentwicklung in der Automobilindustrie.....	20
2.2 Produktkomplexität und Variantenvielfalt.....	23
2.3 Montage als Teil der Produktion .....	27
2.3.1 Montage in der Automobilindustrie .....	32
2.3.2 Grundlagen der Montageplanung.....	40
2.3.3 Besonderheiten der Montageplanung in der Automobilindustrie .....	44
2.4 Fabriken in der Automobilfertigung .....	45
2.4.1 Fabrikplanung und Produktionsstrategien .....	46
2.4.2 Fabrikstruktur in der Automobilindustrie .....	48
2.5 Mathematische und theoretische Grundlagen .....	50
2.5.1 Koordinaten und deren Transformation.....	50
2.5.2 Kombinatorik .....	51
2.5.3 Kollisionsarten und Konnektivitätsbeziehungen von Bauteilen.....	53
2.5.4 Graphentheoretische Analyse von Daten.....	54
2.5.5 Darstellung geometrischer Bauteildaten .....	62
2.6 Statistische Versuchsabsicherung .....	64
2.6.1 Algorithmen und Heuristiken .....	65
2.6.2 Statistische Versuchsplanung .....	66
2.6.3 NP-schwere Probleme .....	68
2.6.4 Optimierungsprobleme für die Identifikation optimaler Lösungen.....	68
<b>3 Stand der Forschung und Technik.....</b>	<b>71</b>
3.1 Digitalisierung in der Planung .....	71

3.1.1	Die Fabrik im Kontext der digitalen Transformation .....	72
3.1.2	Automatisierung der Montageplanung .....	75
3.2	Ablauf aktueller Ansätze der automatisierten Montagereihenfolgeplanung	76
3.2.1	Vorgehen und Ablauf .....	76
3.2.2	Charakteristika von Verbaureihenfolgen .....	77
3.3	Ansätze und Methoden für die automatisierte Montagereihenfolgeplanung .....	78
3.3.1	Geometriebasierte Ansätze.....	79
3.3.2	Assembly by Disassembly.....	81
3.3.3	Wissensbasierte Ansätze .....	83
3.3.4	Graphenbasierte Ansätze.....	84
3.3.5	Algorithmus- und heuristikbasierte Ansätze .....	86
3.3.6	Interaktionsbasierte Ansätze .....	89
3.4	Vorgehen des zugrundeliegenden Ansatzes .....	89
3.4.1	Regelwerk zur Ermittlung von Montagereihenfolgen .....	90
3.4.2	Gewichtung der angewendeten Regeln .....	93
3.4.3	Erzeugung einer Montagereihenfolge .....	94
3.5	Zusammenfassung und Identifikation des Handlungspotentials .....	95
<b>4</b>	<b>Produktstruktur und Planungsdaten in der Montage .....</b>	<b>103</b>
4.1	Komplexität und Variantenvielfalt als Herausforderungen .....	104
4.2	Strukturierung von Produkten am Beispiel PKW.....	105
4.3	Datenmanagement und Darstellung der Bauteilinformationen.....	111
<b>5</b>	<b>Umfassender Ansatz für die automatisierte Generierung von Montagereihenfolgen .....</b>	<b>119</b>
5.1	Grundlegende Vorgehensweise.....	119
5.2	Strukturierung und Aufbau der Benutzeroberfläche .....	123
5.3	Softwareumgebung und Datenerfassung.....	127
5.3.1	Generierung und Vorbereitung der benötigten Eingangsdaten ....	128
5.3.2	Überprüfung der Datengrundlagen.....	129
5.3.3	Zusammenführung der relevanten Eingangsdaten .....	130
5.4	Geometriebasierte Restriktionen und Regeln .....	131
5.4.1	Ermittlung und Klassifikation von Bauteilkollisionen.....	134
5.4.2	Auszugsvektor-Regel .....	138
5.4.3	Sichtbarkeit-Regel.....	147
5.4.4	Abstand-Regel .....	159
5.4.5	Kontaktanzahl-Regel.....	167

5.4.6	Bauteilgewicht-Regel .....	168
5.5	Wissens- und strukturbasierte Regeln .....	170
5.5.1	Vergleichsderivat-Regel .....	170
5.5.2	Montageabschnitt-Regel .....	171
5.5.3	Fixpunkt-Regel .....	172
5.5.4	Fördertechnik-Regel .....	175
5.5.5	Übergreifende Schlagwort-Regel .....	177
5.6	Graphentheoretische Regeln .....	180
5.6.1	Grad-Regel .....	181
5.6.2	yEd-Regel .....	183
5.7	Weitere Restriktionen, Einflussfaktoren und Ergänzungen .....	185
5.7.1	Zwangsvbaureihenfolgen .....	185
5.7.2	Ergonomische Anforderungen .....	186
5.7.3	Berücksichtigung von Verbindungselementen und Kleinteilen .....	187
5.7.4	Links-Rechts-Regel .....	188
5.7.5	Ein-Clashpartner-Regel .....	190
5.8	Ergebniszusammenführung verschiedener Regeln und Generierung einer finalen Montagereihenfolge .....	190
5.8.1	Gewichtung durch Einsatz der Fitnessfunktion .....	191
5.8.2	Zusammenführung der gewichteten Vorranginformationen zu der finalen Verbaureihenfolge .....	196
5.8.3	Integration in eine bestehende Montagereihenfolge der Produktion .....	198
<b>6</b>	<b>Validierung und Diskussion der entwickelten Methode .....</b>	<b>213</b>
6.1	Testumgebung und Rahmenbedingungen .....	213
6.2	Bewertung von Verbaureihenfolgen und Vorgehen .....	215
6.2.1	Bewertungskriterien und Qualität von Montagereihenfolgen .....	215
6.2.2	Ablauf der automatisierten Validierung von Montagereihenfolgen .....	221
6.3	Auswertung und Zusammenfassung der Ergebnisse .....	226
6.3.1	Einzelergebnisse der Regeln .....	227
6.3.2	Einfluss der Bauteilberührungen und weiterer Restriktionen auf die Montagereihenfolge .....	259
6.3.3	Gewichtungsfaktoren der Fitnessfunktion .....	261
6.4	Statistische Absicherung der Ergebnisse .....	262
6.4.1	Auswertung von Verbaureihenfolgen aus Regelkombinationen .....	262
6.4.2	Parameterauswahl für die bestmögliche Montagereihenfolge .....	265

6.5	Übergreifende Bewertung des Ansatzes zur Generierung von Verbaureihenfolgen .....	278
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>281</b>
7.1	Zusammenfassung der entwickelten Methode.....	281
7.2	Ausblick auf zukünftige Potentiale .....	283
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>287</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>307</b>
9.1	Charakteristika der Testderivate .....	307
9.2	Referenzverbaureihenfolge und Montagevorranggraphen.....	308
9.2.1	Referenzverbaureihenfolge .....	308
9.2.2	Montagevorranggraphen .....	316
9.2.3	Montage-Hauptband .....	328
9.3	Validierungsergebnisse.....	330
9.3.1	Auszugsvektor-Regel .....	331
9.3.2	Sichtbarkeit-Regel.....	334
9.3.3	Abstand-Regel .....	338
9.3.4	Kontaktanzahlregel .....	343
9.3.5	Bauteilgewicht-Regel .....	346
9.3.6	Grad-Regel.....	349
9.3.7	yEd-Regel .....	352
9.3.8	Auszug Berechnung der Montagekapazität.....	354
9.3.9	Auswertung der statistischen Versuchsabsicherung .....	355
9.4	Datenerfassung und Softwareumgebung.....	361
9.5	Übersicht betreuter Studienabschlussarbeiten .....	361