

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis.....	IX
Abkürzungsverzeichnis	XIII
Formelzeichen und Indizes	XVII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Motivation und Zielsetzung	6
1.3 Aufbau der Arbeit und Vorgehensweise.....	10
2 Wissenschaftliche Grundlagen und Begriffsdefinitionen	13
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	
3 Stand der Forschung und Technik.....	71
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
4	Produktstruktur und Planungsdaten in der Montage	103
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
5	Umfassender Ansatz für die automatisierte Generierung von Montagereihenfolgen	119
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	Zwangsverbaureihenfolgen	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
6	Validierung und Diskussion der entwickelten Methode	213
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
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	281
7.1	Zusammenfassung der entwickelten Methode.....	281
7.2	Ausblick auf zukünftige Potentiale	283
8	Literaturverzeichnis.....	287
9	Anhang	307
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