

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
<b>Formelzeichen und Indizes .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Einführung in die Problemstellung .....	1
1.2 Motivation und Zielsetzung .....	3
1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit .....	7
<b>2 Begriffsdefinition und Grundlagen .....</b>	<b>11</b>
2.1 Grundlagen der Produktentwicklung .....	11
2.1.1 Der Produktentstehungsprozess .....	12
2.1.2 Die Produktentstehung in der Automobilindustrie .....	14
2.1.3 Ursachen der Variantenvielfalt .....	16
2.2 Grundlagen der Montageplanung .....	19
2.2.1 Das Vorgehen in der Montageplanung .....	19
2.2.2 Einordnung in den Produktentstehungsprozess .....	21
2.2.3 Montageplanung innerhalb der automobilen Fertigung .....	23
2.3 Datenmodellierung und Produktstruktur .....	26
2.3.1 Grundlagen der Datenmodellierung .....	26
2.3.2 Grundlagen der Produktstruktur .....	27
2.3.2.1 Wege der Produktstrukturierung .....	27
2.3.2.2 Strukturierung bei Automobilherstellern .....	29
2.4 Grundlagen der Komplexität .....	30
2.4.1 Komplexität: Eine Begriffsklärung .....	31
2.4.2 Formen der Produktkomplexität .....	33
2.5 Graphentheorie: Einführung und Definitionen .....	34
2.5.1 Ungerichtete Graphen und Vektoren .....	35
2.5.2 Algorithmen zur Analyse komplexer Graphen .....	39
2.5.3 Vergleich von Graphen und Vektoren .....	41
<b>3 Stand der Forschung und Technik .....</b>	<b>47</b>
3.1 Aktuelle Entwicklungen .....	47
3.1.1 Simultaneous Engineering in der Produktentwicklung .....	48
3.1.2 Ansätze und Methoden der Digitalen Fabrik .....	52

3.2	Planungsmethoden in der Montageplanung .....	55
3.2.1	Methods Time Measurement.....	55
3.2.2	Boothroyd und Dewhurst Methode .....	56
3.2.3	Complexity Connectivity Methode .....	58
3.3	Ansätze zur automatisierten Montageplanung .....	61
3.3.1	Automatisierte Ermittlung von Montagezeiten .....	62
3.3.2	Automatisierte Montagereihenfolgenplanung .....	64
3.3.2.1	Grundlagen.....	65
3.3.2.2	Intrinsische Vorgangsbeziehungen .....	66
3.3.2.3	Extrinsische Vorgangsbeziehungen .....	68
3.3.2.4	Existierende Ansätze.....	69
3.4	Problemfelder und Handlungsbedarfe .....	73
3.5	Anforderungen an die Methoden .....	77
<b>4</b>	<b>Ermitteln von Komplexität in der Montage .....</b>	<b>81</b>
4.1	Aufbau der Methode .....	81
4.2	Zusammenführung der relevanten Daten .....	83
4.3	Aufstellen des Konnektivitätsgraphen für eine Baugruppe.....	84
4.4	Bestimmung der relevanten Attribute zur Graphenbeschreibung .....	87
4.4.1	Größe: Anzahl der Elemente und Relationen .....	88
4.4.2	Vernetzung: Kürzeste Wege und Flussrate .....	88
4.4.3	Zentralität: Vernetzungsgrad eines Graphen.....	89
4.4.4	Dekomposition: Zerlegung eines Graphen .....	90
4.4.5	Weitere Attribute zur Graphenbeschreibung .....	92
4.5	Aufstellen von Konnektivitätsvektoren für Baugruppen .....	92
4.6	Vergleich von Baugruppen.....	94
4.7	Grenzen der Vergleichbarkeit .....	97
<b>5</b>	<b>Methode zur Ermittlung von Verbaureihenfolgen .....</b>	<b>99</b>
5.1	Aufbau und Ablauf der Methode .....	99
5.2	Datenaufbereitung .....	100
5.2.1	Erweiterung der Datenbasis um vorliegendes Wissen .....	101
5.2.2	Analyse der Produktstruktur und Gruppenbildung.....	102
5.3	Regelwerk zur Bildung der Verbaureihenfolgen.....	105
5.3.1	Regel 1: Referenzregel .....	106
5.3.2	Regel 2: Transformationsregel .....	108
5.3.3	Regel 3: Schalenmodell .....	111

5.3.4	Regel 4: Graphentheorie .....	113
5.3.5	Regel 5: Schlagwortanalyse .....	115
5.3.6	Regel 6: Schraubregel .....	117
5.3.7	Weitere Regeln .....	119
5.4	Gewichtung der Regeln .....	120
5.5	Generierung einer Reihenfolge: Ergebnisdarstellung .....	122
<b>6</b>	<b>Methode zur Prognose der Montagezeit.....</b>	<b>125</b>
6.1	Aufbau und Ablauf der Methode .....	125
6.2	Bereinigung der Konnektivitätsgraphen .....	126
6.3	Aufstellen einer Vektordatenbank .....	128
6.4	Prognose der Montagezeit mithilfe von KNN .....	129
6.4.1	Netzauswahl .....	129
6.4.2	Trainieren der Netze .....	130
<b>7</b>	<b>Validierung der Methoden.....</b>	<b>133</b>
7.1	Rahmenbedingungen beim Industriepartner.....	133
7.1.1	Vorstellung des Industriepartners.....	133
7.1.2	Einordnung der Thematik.....	134
7.2	Datengrundlage .....	135
7.2.1	Produktstruktur.....	136
7.2.2	Konstruktionsdaten .....	137
7.2.3	Vorliegendes Wissen .....	139
7.2.4	Zusammenführung der relevanten Daten.....	140
7.2.5	Systemtechnische Umsetzung .....	140
7.3	Anwendung der Methoden an einem Praxisbeispiel .....	141
7.3.1	Ermitteln der Komplexitätstreiber .....	143
7.3.2	Ermitteln der Verbaureihenfolge.....	146
7.3.3	Zeitenabschätzung .....	149
<b>8</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse.....</b>	<b>153</b>
8.1	Relevanz und Gültigkeit.....	153
8.2	Kritische Konzeptbestätigung .....	154
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>161</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>165</b>
<b>11</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>181</b>
11.A	Anhang zu Kapitel 2.....	181
11.A.1	Mehrdimensionale Systemanalysemodelle .....	181

---

11.A.2 Clustern von Baugruppen an einem Beispiel.....	182
11.A.3 Vergleich von KNN und anderen Analysemodellen .....	182
11.B Anhang zu Kapitel 3.....	184
11.B.1 Beispiel für eine MTM-Tabelle .....	184
11.B.2 Vorgehensweise im Rahmen der CCM .....	185
11.B.3 Vergleich der existierenden Planungsmethoden .....	187
11.B.4 Generierung einer Verbaureihenfolge mittels Wave Model .....	187
11.C Anhang zu Kapitel 4.....	189
11.C.1 Beispiel einer Distanzanalyse.....	189
11.C.2 Berechnung des Komplexitätsvektors für den Zentralbass .....	190
11.C.3 Dekompositions-Algorithmus: Performanceuntersuchung.....	193
11.C.4 Komplexitätswerte für verschiedene Baugruppen .....	194
11.D Anhang zu Kapitel 5.....	196
11.D.1 Ermittelte Verbaugruppen des aktuellen BMW 1er.....	196
11.D.2 Beispiel für eine Montagereferenz.....	198
11.D.3 Validierung der Schlagwortanalyse .....	199
11.E Anhang zu Kapitel 6.....	201
11.F Anhang zu Kapitel 7 .....	202
11.F.1 Distanzanalyse mit Verschiebung.....	202
11.F.2 Auszug aus der Gesamtliste .....	203
11.F.3 Komplexitätsanalyse der Verbaugruppe Frontend.....	204