

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	ix
Symbolverzeichnis	xi
1 Einleitung	1
2 Problemdefinition	5
2.1 Systembeschreibung	5
2.1.1 Aufbau einer getakteten Variantenfließlinie	5
2.1.2 Produktionsablauf in einer getakteten Variantenfließlinie	8
2.1.2.1 Belastungsschwankungen durch Variantenvielfalt	9
2.1.2.2 Kompensation von Belastungsschwankungen	11
2.1.3 Kostenstruktur in einer getakteten Variantenfließlinie	16
2.1.3.1 Bestimmung der Betriebskosten	17
2.1.3.2 Bestimmung der Rekonfigurationskosten	23
2.2 Systematisierung der Aufgaben zur Kapazitätsabstimmung in einer getakteten Variantenfließlinie	24
2.2.1 Rekonfiguration einer getakteten Variantenfließlinie	27
2.2.1.1 Ziel der Rekonfiguration	28
2.2.1.2 Restriktionen der Rekonfiguration	30
2.2.1.3 Voraussetzungen der Rekonfiguration	32
2.2.2 Vorranggraphenentwicklung für variantenreiche Produkte	33
2.2.2.1 Ziel der Vorranggraphenentwicklung	35
2.2.2.2 Restriktionen der Vorranggraphenentwicklung	36
2.2.2.3 Voraussetzungen der Vorranggraphenentwicklung	37
2.2.3 Reihenfolgeplanung für eine getaktete Variantenfließlinie	39
2.2.3.1 Ziel der Reihenfolgeplanung	39
2.2.3.2 Restriktionen der Reihenfolgeplanung	40
2.2.3.3 Voraussetzungen der Reihenfolgeplanung	41
2.3 Anforderungen an die Problemlösung	43
2.3.1 Anforderungen an ein Verfahren zur kostenoptimalen Rekonfiguration	43
2.3.2 Anforderungen an ein Verfahren zur Vorranggraphenerstellung für variantenreiche Produkte	44
2.3.3 Anforderungen an ein Verfahren zur Reihenfolgeplanung zur Minimierung des Unterstützereinsatzes	45

3	Stand der Forschung	47
3.1	Stand der Forschung zur Rekonfiguration von Fließlinien	47
3.1.1	Ansätze zur Rekonfiguration	47
3.1.2	Übertragbare Ansätze aus der Erstinstitution von Fließlinien	50
3.1.3	Fazit	54
3.2	Stand der Forschung zur Erstellung von Vorranggraphen	55
3.2.1	Manuelle Methoden zur Erstellung von Vorranggraphen	55
3.2.2	Automatisierte und hybride Methoden zur Erstellung von Vorranggraphen	56
3.2.2.1	Geometriedatenorientierte Ansätze	57
3.2.2.2	Stücklistenorientierte Ansätze	57
3.2.2.3	Ansätze unter Verwendung erweiterter Produktdokumentation	59
3.2.3	Fazit	59
3.3	Stand der Forschung zur Reihenfolgeplanung	61
3.3.1	Ansätze zum Mixed-Model Sequencing	62
3.3.1.1	Klassifikationskriterien	62
3.3.1.2	Einordnung existierender Ansätze	64
3.3.2	Fazit	66
4	Zu leistende Arbeiten	67
5	Kostenoptimale Kapazitätsabstimmung in einer getakteten Variantenfließlinie	69
5.1	Kostenoptimale Rekonfiguration	69
5.1.1	Formalisierung des Rekonfigurationsproblems	69
5.1.1.1	Entwicklung eines antizipativen Zielkriteriums	71
5.1.1.2	Formulierung des Modells	75
5.1.2	Vorgehensmodell zur Rekonfiguration	77
5.1.3	Entscheidungsunterstützungssystem zur kostenoptimalen Rekonfiguration	78
5.1.3.1	Analyse-Phase	79
5.1.3.2	Design-Phase	85
5.1.3.3	Auswahl-Entscheidungsphase	97
5.1.3.4	Implementationsphase	100
5.2	Teilautomatisierte Erstellung eines Variantenvorranggraphen	101
5.2.1	Vorgehensmodell zur Vorranggraphenerstellung	101
5.2.2	Datengrundlage	102
5.2.2.1	Produktdokumentation mit Hilfe der offenen Variantenstückliste	103
5.2.2.2	Aufbereitung der Coderegeln	105
5.2.2.3	Reihenfolge der Bearbeitung von Arbeitsvorgängen	107
5.2.3	Automatische Generierung von Freiheitsgraden	108
5.2.3.1	Strukturierung nach Werkstückansprache	108
5.2.3.2	Freiheitsgrade auf Basis der Coderegel	109
5.2.3.3	Integration unterschiedlicher gültiger Zuteilungen	113
5.2.4	Ergänzende manuelle Feinstrukturierung des Graphen	118

5.3	Belastungsorientierte Reihenfolgeplanung zur Reduzierung des Unterstützereinsatzes	120
5.3.1	Formalisierung der Reihenfolgeplanung	120
5.3.1.1	Reihenfolgeabhängige Positionsbestimmung der Werker	123
5.3.1.2	Modellierung von Abhängigkeiten zwischen Werkern	124
5.3.1.3	Abbildung der Unterstützereinsätze	127
5.3.2	Vorgehensmodell zur Reihenfolgeplanung	136
5.3.3	Konzept zur Fließliniensimulation	136
5.3.3.1	Ermittlung der Eingangsdaten für die Bewertung	137
5.3.3.2	Abbildung des rollierenden Bewertungshorizontes	139
5.3.3.3	Verfahren zur Ermittlung der Werkerpositionen	141
5.3.3.4	Auswertung der Ergebnisse	145
5.3.4	Zweistufiger Optimierungsansatz zur Reihenfolgeplanung	146
5.3.4.1	Initialheuristik	146
5.3.4.2	Iteratives Verbesserungsverfahren	151
6	Validierung und Ergebnisse	159
6.1	Validierung der Entscheidungsunterstützung zur Rekonfiguration	159
6.1.1	TestszENARIO	159
6.1.2	Ergebnisse	160
6.1.2.1	Kennzahlensystem zur Auswahl des Betrachtungsbereiches	160
6.1.2.2	Anwendungsbeispiele	161
6.2	Validierung der teilautomatisierten Vorranggraphenentwicklung	166
6.2.1	TestszENARIO	166
6.2.2	Ergebnisse	166
6.2.2.1	Bestimmung der erreichten Komplexitätsreduktion	166
6.2.2.2	Verwendung des Vorranggraphen innerhalb einer Rekonfigurationsmethode	168
6.3	Validierung der belastungsorientierten Reihenfolgeplanung zur Reduzierung des Unterstützereinsatzes	170
6.3.1	TestszENARIO	170
6.3.2	Ergebnisse	171
6.3.2.1	Einfluss der Abhängigkeit zwischen Werkern	171
6.3.2.2	Einfluss der Organisationsform von Unterstützereinsätzen	173
6.3.2.3	Parametrisierung der Clusteringmethode	173
6.3.2.4	Anwendungsbeispiele	178
7	Zusammenfassung und Ausblick	181
	Literaturverzeichnis	185
A	Anhang	199
A.1	Ergebnisse Rekonfiguration	199
A.2	Ergebnisse Vorranggraphenbildung	202
A.3	Ergebnisse Reihenfolgeoptimierung	205

Abbildungsverzeichnis

2.1	Beispiel für den Aufbau einer getakteten Variantenfließlinie in der automobilen Endmontage	7
2.2	Beispiel für die Ausrichtung an einer Durchschnittsvariante	10
2.3	Beispiel für den Effizienzverlust bei Ausrichtung an der Maximalvariante	11
2.4	Variable Bearbeitungsbereiche durch die Einführung von Driftbereichen	12
2.5	Beispiel für die reihenfolgeabhängige Position der Werker	13
2.6	Beispiel für den Verzug durch Abhängigkeiten zwischen Werkern	14
2.7	Beispiel für einen reaktiven Unterstützereinsatz	15
2.8	Beispiel für einen präventiven Unterstützereinsatz	15
2.9	Darstellung von gleichzeitigen Situationen im Fließsystem	19
2.10	Beispiel für die Belegung von Unterstützern über mehrere Takte hinweg	20
2.11	Verschiebung des Kapazitätsbedarfs von Werkern auf Unterstützer	22
2.12	Schematisches Beispiel für die Verfügbarkeit von Auftragsdaten in der Automobilindustrie	26
2.13	Zielkonflikt der Rekonfiguration	28
2.14	Beispiel für die Zuordnung von Arbeitsvorgängen auf Stationen unter Beachtung der Vorrangbeziehungen	31
2.15	Beispiel für eine Rekonfiguration unter Beachtung der Vorrangbeziehungen	32
2.16	Verbotene Konstruktionen in Vorranggraphen	34
2.17	Rollierender Aspekt der Bewertung einer Reihenfolgeplanung	41
3.1	Vergleich der internen und der externen Auslastungsunterschiede bei einer Variantenproduktion	52
3.2	Vorgehen von Ammer zu Vorranggraphenbildung	58
5.1	Darstellung von gleichzeitigen Situationen im Fließsystem	73
5.2	Eingliederung der Verfahren in Phasen eines Entscheidungsunterstützungssystems	79
5.3	Beispiel für einen Komprimierungsvorgang im Rahmen der Rekonfiguration	82
5.4	Beispiel für die Visualisierung der Bearbeitungszeiten (exakt und geclustert)	88
5.5	What-If Analyse mit Hilfe von Histogrammen	89
5.6	Beispiel für korrelierende Arbeitsvorgänge	91
5.7	Varianzreduktion durch Trennung korrelierender Arbeitsvorgänge	92
5.8	Identifikation einer Verschiebung mit Hilfe der AIA-Kennzahl	94
5.9	Beispiel für den Suchbaum der Heuristik nach einer Verschiebung	97
5.10	Kompletter Suchbaum der Heuristik	97
5.11	Versionierungssystematik im Alternativenbaum	98

5.12	Vergleich des Top-Down und Bottom-Up Ansatzes zur Vorranggraphenentwicklung	102
5.13	Vorgehen zu Vorranggraphenbildung	103
5.14	Beispielhafte Struktur einer offenen Variantenstückliste	104
5.15	Starrer Vorranggraph als Startpunkt	108
5.16	Beispiel für die Trennung in Teilgraphen mit Hilfe von unabhängigen Werkstückansprachen	109
5.17	Beispiel für den gegenseitigen Ausschluss zweier Coderegeln	110
5.18	Vorgehen zur Trennung nach sich ausschließenden XOR-Zweigen	111
5.19	Beispiel für die Trennung in sich ausschließende XOR-Zweige	113
5.20	Entstehung von Zyklen in vereinigten Graphen	115
5.21	Vorgehen zur Beseitigung von Zyklen	115
5.22	Beispiel für Zyklen mit Schnittmenge	116
5.23	Beispiel für aufgelöste Zyklen mit Schnittmenge	117
5.24	Beispiel für Werkerabhängigkeiten	125
5.25	Beispiel für die Beeinflussung durch einen Vorgängerarbeitsplatz mit voranliegender Ansprechzone in anderer Station	126
5.26	Beispiel für die Beeinflussung durch einen Vorgängerarbeitsplatz mit gleicher oder dahinter liegender Ansprechzone in anderer Station	126
5.27	Beispiel für die Beeinflussung durch einen Vorgängerarbeitsplatz in der gleichen Station	127
5.28	Beispiel für einen reaktiven Unterstützereinsatz	128
5.29	Beispiel für einen präventiven Unterstützereinsatz	131
5.30	Vorgehen der zweistufigen Reihenfolgeheuristik	137
5.31	Darstellung des zu bewertenden Zeitraumes	140
5.32	Vorgehen der dreiteiligen Initialheuristik	147
5.33	Vermeidung der Ausnutzung später Reihenfolgepositionen durch doppelte Bewertungssequenz	149
5.34	Identifikation von zu vermeidenden Unterstützereinsätzen	153
5.35	Identifikation potentieller Tauschpartner	155
6.1	Zwei ausgewählte Arbeitsplätze zur Rekonfiguration	161
6.2	Zwei Arbeitsplätze nach einer Verschiebung in der Rekonfiguration	163
6.3	Zwei Arbeitsplätze nach der zweiten Verschiebung in der Rekonfiguration	164
6.4	Ergebnisse der Lösungsheuristik mit und ohne Vorranggraphen im Vergleich	170
6.5	Vergleich Abhängigkeiten im Best-Case und im Worst-Case	172
6.6	Entwicklung der Homogenität (Quadratsumme) bei unterschiedlicher Clusteranzahl	174
6.7	Entwicklung der Laufzeit in ms bei unterschiedlicher Clusteranzahl	175
6.8	Entwicklung der Laufzeit für die optimale Zentroidensequenzierung bei unterschiedlicher Clusteranzahl in sek	177
6.9	Vergleich der durchschnittlichen Kennzahlen für die Reihenfolgeheuristik	180
A.1	Beispiel für einen vollständigen Vorranggraphen mit 472 Arbeitsvorgängen	202
A.2	Vergrößerter Ausschnitt aus dem Beispiel-Vorranggraphen	203
A.3	Vergrößerter Ausschnitt aus dem Beispiel-Vorranggraphen	204

Tabellenverzeichnis

2.1	Notation zur Formalisierung des Aufbaus einer Variantenfließlinie	6
2.2	Erweiterung der Notation zur Formalisierung des Produktionsablaufes in einer Variantenfließlinie	8
2.3	Erweiterung der Notation zur Formalisierung der Kostenstruktur in einer Variantenfließlinie	17
2.4	Erweiterung der Notation zur Formalisierung der Rekonfiguration	27
2.5	Freiheitsgrade im Vergleich (Rekonfiguration und Erstinstallation)	30
2.6	Notation zur Definition des Vorranggraphen	36
2.7	Erweiterung der Notation zur Formalisierung der Reihenfolgeplanung	39
3.1	Notation zur Formalisierung bestehender Konzepte aus dem Stand der Forschung	51
3.2	Klassifikationstabelle von Mixed-Model-Sequencing Ansätzen zur Reihenfolgeoptimierung	65
5.1	Notation zur Formalisierung des Rekonfigurationsproblems	71
5.2	Notation Herleitung der Wahrscheinlichkeit für gleichzeitige Unterstützereinsätze	73
5.3	Notationserweiterung für die Analyse-Phase des ESS	80
5.4	Kennzahlensystem zur Auswahl des Betrachtungsbereiches für eine Rekonfiguration	84
5.5	Notationserweiterung für die Design-Phase des ESS	86
5.6	Notation zur AIA-Kennzahl	93
5.7	Notationserweiterung für die Auswahl- und Entscheidungs-Phase des ESS	98
5.8	Eigenschaften zur Beschreibung eines Auftrages (Beispiel)	103
5.9	Vergleich der kurzen und der langen Coderegel	105
5.10	Darstellung der langen Coderegel als Venn-Diagramm	105
5.11	Beispiel für Positionsvarianten und ihre Code-Regeln	106
5.12	Beispiel für die Bildung der disjunktiven Normalform	106
5.13	Beispiel für die Bildung von Unterpositionsvarianten	106
5.14	Beispiel für die Bildung von sich gegenseitig ausschließenden Positionsvarianten	107
5.15	Beispiel für die Integration der Unterpositionsvarianten	107
5.16	Erweiterung der Notation zur Definition von Freiheitsgraden auf Basis der Coderegel	109
5.17	Beispiele für Baubarkeitsregeln	110
5.18	Beispiel für eine Bedingungsmatrix	117
5.19	Beispiel für eine aufgelöste Bedingungsmatrix	117
5.20	Notation zur Formalisierung der Reihenfolgeplanung	122
5.21	Notationserweiterung für die Fließlinienbewertung	137
5.22	Notationserweiterung für die Reihenfolgeoptimierung	146

6.1	Ergebnis der Korrelationsanalyse für das Kennzahlensystem zur Auswahl des Betrachtungsbereiches	161
6.2	Kennzahlen für die ausgewählten Arbeitsplätze vor der Bearbeitung	162
6.3	Kennzahlen für die beiden ausgewählten Arbeitsplätze nach der ersten Verschiebung	162
6.4	Ergebnisse des ersten Anwendungsbeispiels für die Rekonfiguration	164
6.5	Ergebnisse der Simulation des ersten Anwendungsbeispiels für die Rekonfiguration	164
6.6	Ergebnisse des zweiten Anwendungsbeispiels für die Rekonfiguration	165
6.7	Ergebnisse der Simulation des zweiten Anwendungsbeispiels für die Rekonfiguration	165
6.8	Verbleibende Knoten im Vorranggraphen je Werkstückansprache	167
6.9	Ergebnisse Reduktion des Betrachtungshorizontes durch XOR-Aufsplittungen	168
6.10	Vergleich der Simulation ohne Werkerabhängigkeiten (Best-Case) und mit maximalen Werkerabhängigkeiten (Worst-Case) bei reaktivem Unterstützereinsatz	171
6.11	Vergleich der Simulation ohne Werkerabhängigkeiten (Best-Case) und mit maximalen Werkerabhängigkeiten (Worst-Case) bei präventivem Unterstützereinsatz	172
6.12	Vergleich der Auswirkungen von reaktivem (A) und präventivem (B) Unterstützereinsatz	173
6.13	Durchschnittliche Homogenität der Cluster je Auftrag in Abhängigkeit von der Auswahl der Startzentroiden und der Reihenfolge der Zuordnung über alle Szenarien	174
6.14	Entwicklung der Homogenität in Abhängigkeit von der Clusteranzahl	175
6.15	Entwicklung der Laufzeit in Abhängigkeit von der Clusteranzahl	176
6.16	Entwicklung der Laufzeit für die optimale Zentroidensequenzierung bei unterschiedlicher Clusteranzahl je getesteter Instanz	176
6.17	Durchschnittliche Unterstützerkennzahlen je Clusteranzahl in der Initialreihenfolge	177
6.18	Ergebnisse für reaktiven Unterstützereinsatz (A) im Best-Case (R = Zufallsreihenfolge, CS = Car Sequencing, IH = Initialheuristik, IVV = Iteratives Verbesserungsverfahren)	178
6.19	Ergebnisse für reaktiven Unterstützereinsatz (A) im Worst-Case (R = Zufallsreihenfolge, CS = Car Sequencing, IH = Initialheuristik, IVV = Iteratives Verbesserungsverfahren)	179
6.20	Ergebnisse für präventiven Unterstützereinsatz (B) im Best-Case (R = Zufallsreihenfolge, CS = Car Sequencing, IH = Initialheuristik, IVV = Iteratives Verbesserungsverfahren)	179
6.21	Ergebnisse für präventiven Unterstützereinsatz (B) im Worst-Case (R = Zufallsreihenfolge, CS = Car Sequencing, IH = Initialheuristik, IVV = Iteratives Verbesserungsverfahren)	179
6.22	Durchschnittliche Verbesserung der Heuristik (IH+IVV) im Vergleich zur zufälligen Reihenfolge (R) und zum Car Sequencing (CS)	180
A.1	Unterstützereinsätze vor und nach der Rekonfiguration für 100 zufällige Reihenfolgen	201

A.2	Durchschnittliche Homogenität der Cluster je Auftrag in Abhängigkeit von der Startzentroidenauswahl und der Reihenfolge der Zuordnung	205
-----	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----