

Moritz Schröter

Konfiguration der Reihenfolgeplanung für die Variantenfließfertigung



Herausgeber:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh

Konfiguration der Reihenfolgeplanung für die Variantenfließfertigung

Configuration of Sequencing for Mixed-Model Assembly Lines

Von der Fakultät für Maschinenwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Moritz Schröter

Berichter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh
Außerplanmäßiger Prof. Dr.-Ing. Volker Stich

Tag der mündlichen Prüfung: 18. Dezember 2020

SCHRIFTENREIHE RATIONALISIERUNG

Moritz Schröter

Konfiguration der Reihenfolgeplanung für die
Variantenfließfertigung

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. G. Schuh

Band 178



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

Moritz Schröter:

Konfiguration der Reihenfolgeplanung für die Variantenfließfertigung

1. Auflage, 2021

Apprimus Verlag, Aachen, 2021

Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien
an der RWTH Aachen

Steinbachstr. 25, 52074 Aachen

Internet: www.apprimus-verlag.de, E-Mail: info@apprimus-verlag.de

ISBN 978-3-86359-949-2

D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2020)

Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand im Laufe meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungsinstitut für Rationalisierung e. V. (FIR) an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) in Aachen.

Zunächst möchte ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh sowie meinem Korreferenten Herrn Prof. Dr.-Ing. Volker Stich für die Möglichkeit, das Vertrauen sowie die Unterstützung bei der Durchführung meines Promotionsvorhabens bedanken. Zudem danke ich Herrn Prof. Prof. h. c. (MGU) Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries für die Übernahme des Vorsitzes und Herrn Prof. Dr. rer. nat. Constantin Häfner für die Übernahme des Beisitzes in der Prüfungskommission.

Das Anfertigen einer Dissertation erfordert neben Disziplin und Fleiß auch eine ständige Reflektion der Erkenntnisse. Ich möchte mich daher ganz besonders bei meinen ehemaligen Kollegen Markus Fischer, Tobias Schröer, Felix Steinlein sowie Dr.-Ing. Matthias Blum, Dr.-Ing. Kerem Oflazgil und Dr.-Ing. Jan Reschke für die vielen fruchtbaren Gespräche und wertvollen Anregungen bedanken. Auch die Unterstützung von meinen studentischen Hilfskräften und Abschlussarbeiter_innen Robin Becker, Lars Behr, Jan Langhanki, Jessica Rahn und Pauline Schätzle darf an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben. Danke auch an meine zahlreichen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am FIR für die notwendige Zerstreuung nach getaner Arbeit. Es war eine unvergessliche Zeit, die ich nicht missen möchte.

Mein Dank gilt weiterhin Dr. Simon Altemeier von der TAKTIQ GmbH & Co. KG, Hans-Peter Tutsch und Thorsten Winterer, Ph.D. von der flexis AG, Rainer Albersmann von der PSI FLS Fuzzy Logik & Neuro Systeme GmbH sowie meinen zahlreichen weiteren Gesprächspartnern aus der Industrie für die vielen und zeitintensiven Expertengespräche. Ohne diesen regelmäßigen Austausch wäre der fachliche und persönliche Erkenntnisgewinn in diesem sehr engen Forschungsgebiet erheblich langsamer vorangeschritten.

Außerdem richtet sich mein Dank an meine Freunde, denen ich in den arbeitsintensiven Zeiten sicherlich nicht immer ausreichend gerecht werden konnte. Vielen Dank für eure Unterstützung und euer Verständnis. Zuletzt möchte ich mich bei den Menschen bedanken, die all dies ermöglicht haben: Meinen Eltern. Ihr habt mir das Selbstvertrauen mitgegeben, das erforderlich war, um sich dieser Prüfung zu stellen und sie zu meistern.

Konfiguration der Reihenfolgeplanung für die Variantenfließfertigung

Mit der Variantenfließfertigung als Organisationsform für die Produktion versuchen Unternehmen die Vorteile der Standardisierung von Arbeitsabläufen der Fließfertigung auch bei der Herstellung kundenindividueller Produkte zu nutzen. Dabei können Werkstücke in verschiedensten Varianten auf einem Fließsystem bearbeitet werden, um die Durchlaufzeiten und Bestände zu minimieren. Zu den Anwendern zählen die Automobilindustrie, Hersteller von Nutzfahrzeugen und Flugzeugen ebenso wie Maschinenbauunternehmen. In der praktischen Umsetzung ergeben sich sowohl Abweichungen der Bearbeitungszeiten von der Taktzeit als auch schwankende Bedarfe variantenspezifischen Materials.

Ein wesentlicher Planungsschritt der Produktionsplanung und -steuerung der Variantenfließfertigung ist die Reihenfolgeplanung. Hierbei ist stets ein Kompromiss zwischen einer konstant hohen Auslastung der Arbeitsstationen und der Vermeidung von Überlastungen, welche zu Störungen und damit Produktivitätseinbußen führen, zu finden. In der betrieblichen Praxis haben sich dazu diverse pragmatische Verfahren etabliert, welche durch die Abstraktion der realen Einschränkungen in Form von Planungsrestriktionen gekennzeichnet sind. Diese lassen sich nur selten eindeutig den in der Wissenschaft entwickelten Planungsverfahren zur Reihenfolgeplanung zuordnen. Die Auswahl des richtigen Verfahrens unter Berücksichtigung der unternehmensspezifischen Ausgestaltung der Variantenfließfertigung ist dabei auf Grund der Vielzahl der Einflussgrößen und unterschiedlichen Ausprägungen der Produktionssysteme komplexitätsbehaftet.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Entwicklung eines Vorgehens zur Prozessgestaltung der Reihenfolgeplanung unter Berücksichtigung der produktionslogistischen Ziele und daraus abgeleiteten Umsetzungsformen der Variantenfließfertigung. Dazu werden sowohl eine Beschreibung der Prozess- und Teilprozessschritte als auch eine Einordnung der vielfältigen Gestaltungsoptionen vorgenommen. Diese bilden die Grundlage für die Entwicklung von Referenzprozessmodellen, welche schließlich durch Konfiguration zu einem fallspezifischen Prozessmodell konkretisiert werden können.

Damit erhalten mit dieser Arbeit produzierende Unternehmen einerseits und Software-Anbieter andererseits ein konkretes Vorgehen zur Prozessgestaltung. Mit den gewonnenen Erkenntnissen können sowohl der operative Betrieb als auch die Weiterentwicklung und Parametrierung von IT-Lösungen zur Reihenfolgeplanung verbessert werden.

Configuration of Sequencing for Mixed-Model Assembly Lines

With mixed-model assembly lines as an organisational form for production, companies are trying to use the advantages of standardising work processes of assembly lines also in the production of customised products. Workpieces can be processed in a wide variety of variants on a flow system in order to minimise throughput times and inventories. Examples include the automotive industry, manufacturers of commercial vehicles and aircrafts as well as mechanical engineering companies. In practical implementation, there are two deviations: the time deviation of the processing from the cycle time and fluctuating demands for variant-specific material.

An essential planning step in production planning and control of variant flow manufacturing is sequencing. Here, a compromise must be found between a constantly high utilisation of the workstations and the avoidance of overloads that lead to disruptions and thus productivity losses. In operational practice, various pragmatic procedures have been established for this purpose, which are characterised by the abstraction of real constraints in the form of so called planning restrictions. These can only rarely be clearly assigned to the planning procedures for sequencing developed in science. The selection of the right procedure, taking into account the company-specific design of mixed-model assembly lines, is a complex task due to the large number of influencing variables and the different characteristics of the production systems.

The aim of this thesis is therefore to develop a procedure for the process design of sequence planning, taking into account the production-logistic goals and the derived forms of implementation of mixed-model assembly lines. For this purpose, both a description of the process and sub-process steps and a classification of the various design options are carried out. These form the basis for the development of reference process models, which can finally be concretised by configuration into a case-specific process model.

This work provides manufacturing companies on the one hand and software providers on the other hand with a concrete method for process design. With the knowledge gained, both the operative business and the further development and parameterisation of IT solutions for sequence planning can be improved.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung und Forschungsfrage	4
1.3	Forschungskonzeption	5
1.4	Aufbau der Arbeit	8
2	Grundlagen und Abgrenzung der Untersuchung	11
2.1	Variantenfließfertigung	11
2.1.1	Produktion und Montage	11
2.1.2	Die Variantenfließfertigung als Organisationsform der Produktion	13
2.1.3	Produktionsstufen in einer Variantenfließfertigung am Beispiel der Automobilindustrie.....	15
2.2	Zeitarten in der Variantenfließfertigung	18
2.2.1	Taktzeit und Stationszeiten	18
2.2.2	Taktverluste.....	19
2.2.3	Modell-Mix-Verluste	19
2.2.4	Maßnahmen zur Reduzierung von Stationsüberlastungen.....	21
2.3	Produktionsplanung und -steuerung der Variantenfließfertigung	24
2.3.1	Planungsschritte der Variantenfließfertigung.....	25
2.3.2	Fließbandabstimmung.....	26
2.3.3	Produktionsprogrammplanung	28
2.3.4	Reihenfolgeplanung	30
2.3.5	Re-Sequenzierung	35
2.4	Abgrenzung und Präzisierung des Untersuchungsbereichs.....	36
3	Stand der Erkenntnisse	39
3.1	Einordnung der Reihenfolgeplanung in der Produktionsplanung und -steuerung der Variantenfließfertigung	39
3.1.1	Grundlagen	40
3.1.2	Bestehende Ansätze	41
3.1.3	Zwischenfazit	49
3.2	Untersuchungen zur Optimierung der Reihenfolgeplanung.....	49
3.2.1	Grundlagen	49
3.2.2	Bestehende Ansätze	51
3.2.3	Zwischenfazit	55
3.3	Ermittlung der Planungsparameter für das Car-Sequencing	55
3.3.1	Grundlagen	55
3.3.2	Bestehende Ansätze	55
3.3.3	Zwischenfazit	60
3.4	Zusammenfassung und Ableitung des Forschungsbedarfs.....	60

4	Herleitung des Konzeptansatzes.....	63
4.1	Anforderungen an das zu entwickelnde Vorgehen	63
4.2	Methodische Grundlagen	65
4.2.1	Systemtheorie und Modellbildung	66
4.2.2	Referenzmodellierung	67
4.2.3	Typisierung.....	70
4.2.4	Prozessgestaltung im Auftragsmanagement.....	72
4.2.5	Evaluierung der Ergebnisse	75
4.3	Konkretisierung der Vorgehensweise.....	76
5	Beschreibungsmodell der Reihenfolgeplanung für die Variantenfließfertigung	79
5.1	Aufgabensicht der Eigenfertigungsplanung und -steuerung der Variantenfließfertigung	79
5.2	Die Variantenfließfertigung als Fertigungstyp im Aachener PPS-Modell.....	84
5.3	Prozesssicht der Eigenfertigungsplanung und -steuerung für die Variantenfließfertigung	90
5.3.1	Prozessmodell der Eigenfertigungsplanung und -steuerung für die Variantenfertigung.....	90
5.3.2	Prozessmodell der Eigenfertigungsplanung und -steuerung für die Variantenfließfertigung	91
5.4	Ziele der Verfahren der Reihenfolgeplanung für die Variantenfließfertigung	95
5.4.1	Produktionslogistische Ziele beim Betrieb einer Variantenfließfertigung	95
5.4.2	Diskussion der Ziele konkreter materialorientierter Ansätze zur Reihenfolgeplanung	100
5.4.3	Diskussion der Ziele konkreter kapazitätsorientierter Ansätze zur Reihenfolgeplanung	104
5.4.4	Diskussion der Ziele konkreter hybrider Ansätze zur Reihenfolgeplanung	106
5.4.5	Zusammenfassung.....	108
6	Beschreibungsmodell der Variantenfließfertigung.....	111
6.1	Morphologie der Reihenfolgeplanung der Variantenfließfertigung	111
6.2	Merkmale der Variantenfließfertigung unter dem Aspekt der Reihenfolgeplanung	114
6.2.1	Auftragsabwicklung.....	114
6.2.2	Produktprogramm	120
6.2.3	Produktionssystem.....	124
6.2.4	Zusammenfassung.....	128
6.3	Zielabhängige Typen der Variantenfließfertigung.....	129
6.3.1	Stufenmodell zur Optimierung der Variantenfließfertigung.....	130

6.3.2	Steigerung des Modell-Mix.....	132
6.3.3	Reduzierung von Beständen	134
6.3.4	Reduzierung von Lieferzeiten.....	135
6.3.5	Reduzierung der Herstellkosten	137
6.4	Zusammenfassung	140
7	Referenzprozessmodelle der Reihenfolgeplanung	141
7.1	Entwicklung des Referenzprozessmodells	141
7.1.1	Konfigurationsmöglichkeiten des Prozessmodells	141
7.1.2	Bestimmung des Planungsabschnitts	146
7.1.3	Gestaltung der Verfügbarkeitsprüfung	149
7.1.4	Ablauf der Reihenfolgeplanung	150
7.1.5	Gestaltung der Ressourcenfeinplanung	157
7.2	Modellierung des Reihenfolgeplanungsproblems.....	158
7.2.1	Ursachen für Planungsrestriktionen	158
7.2.2	Restriktionstypen für eine regelbasierte Reihenfolgeplanung	162
7.2.3	Bewertung des ermittelten Reihenfolgevorschlags	170
7.3	Typenbezogene Gestaltung der Reihenfolgeplanung	172
7.3.1	Gestaltung der Reihenfolgeplanung zur Steigerung des Modell-Mix	172
7.3.2	Gestaltung der Reihenfolgeplanung zur Reduzierung von Beständen	177
7.3.3	Gestaltung der Reihenfolgeplanung zur Reduzierung von Lieferzeiten.....	182
7.3.4	Gestaltung der Reihenfolgeplanung zur Reduzierung der Herstellkosten	187
7.4	Zusammenfassung.....	192
8	Durchführung der Konfiguration der Reihenfolgeplanung	193
8.1	Phasenmodell zur Konfiguration der Reihenfolgeplanung.....	193
8.2	Beschreibung der Teilschritte	196
8.2.1	Analysephase.....	196
8.2.2	Konzeptionsphase.....	197
8.2.3	Umsetzung	199
8.2.4	Zusammenfassung.....	201
9	Evaluierung des Vorgehens im Anwendungszusammenhang	203
9.1	Zwischenergebnisse.....	203
9.2	Fallstudie bei der Geldautomaten AG	206
9.2.1	Ausgangssituation und Betrachtungsbereich	206
9.2.2	Anwendung des Vorgehens bei der Geldautomaten AG.....	207
9.2.3	Analysephase.....	208
9.2.4	Konzeptionierungsphase.....	211

9.2.5	Umsetzungsphase	215
9.3	Zusammenfassende Bewertung der Evaluierung	217
10	Zusammenfassung und Ausblick.....	219
10.1	Zusammenfassung.....	219
10.2	Ausblick.....	223
	Literaturverzeichnis.....	225

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Entwicklung der Produktvarianten und Absatzmengen bei der Audi AG	2
Abbildung 1-2: Forschungskonzeption.....	6
Abbildung 1-3: Forschungsprozess nach ULRICH und Zusammenhang zum Aufbau der Arbeit.....	8
Abbildung 2-1: Organisationstypen der Produktion	12
Abbildung 2-2: Verschiedene Formen der Fließfertigung	13
Abbildung 2-3: Fertigungsablauf in der Automobilindustrie.....	16
Abbildung 2-4: Entstehung von Modell-Mix-Verlusten	20
Abbildung 2-5: Darstellung von Drift	23
Abbildung 2-6: Supply-Chain-Planning-Matrix.....	25
Abbildung 2-7: Modellansätze der Reihenfolgeplanung für die Variantenfließfertigung.....	30
Abbildung 2-8: Minimierung der Driftgrenzenüberschreitungen durch Reihenfolgeregeln	33
Abbildung 2-9: Grundidee des Level-Schedulings.....	35
Abbildung 2-10: Puffertypen zur Änderung der Produktionsreihenfolge in Fließsystemen	36
Abbildung 2-11: Präzisierung des Untersuchungsbereichs	37
Abbildung 3-1: Darstellung einer sukzessiven Planungshierarchie für die Variantenfließfertigung.....	41
Abbildung 3-2: Prozessdarstellung der Perlenkettenmethode im Aachener PPS-Modell.....	43
Abbildung 3-3: Übersicht über eine auftragsbasierte Planung.....	44
Abbildung 3-4: Prozessdarstellung der Planung und Terminierung bei einem deutschen Automobilhersteller	45
Abbildung 3-5: Hierarchisches Planungssystem für die Variantenfließfertigung	47
Abbildung 3-6: Planungsaufgaben und Beziehung zu den Hauptfaktoren Produkt und Markt	51
Abbildung 3-7: <i>Constraint Conversion Matrix</i>	52
Abbildung 3-8: Produktionslogistischer Qualitätsregelkreis in der Reihenfolgeplanung.....	54

Abbildung 4-1: Dynamische und statische Sichtweise der Typisierung	71
Abbildung 4-2: Aspekte der Prozessoptimierung	73
Abbildung 4-3: Gestaltungsmatrix des Auftragsmanagements	75
Abbildung 4-4: Vorgehensweise zur Entwicklung des Vorgehens zur Konfiguration der Reihenfolgeplanung.....	77
Abbildung 5-1: Übersicht über das Aachener PPS-Modell, Aufgabensicht.....	80
Abbildung 5-2: Merkmalstrukturen zur Beschreibung der Auftragsabwicklung	85
Abbildung 5-3: Einordnung der Auftragsabwicklung bei Variantenfließfertigung in das Aachener PPS-Modell.....	89
Abbildung 5-4: Vereinfachte Darstellung des Prozessmodells des Variantenfertigers für die Eigenfertigungsplanung und -steuerung im Aachener PPS-Modell.....	91
Abbildung 5-5: Prozessmodell der Variantenfließfertigung für die Eigenfertigungsplanung und -steuerung.....	93
Abbildung 5-6: Teilprozesse der Reihenfolgeplanung der Variantenfließfertigung.....	94
Abbildung 5-7: Zielsystem der Produktionslogistik	96
Abbildung 5-8: Durchlaufzeiten bei der Variantenfließfertigung.....	98
Abbildung 6-1: Generische Struktur eines morphologischen Kastens	111
Abbildung 6-2: Einflussgrößen bezüglich der Produktionsreihenfolge	112
Abbildung 6-3: Bestimmungsgrößen für die Reihenfolgeplanung in der Variantenfließfertigung.....	114
Abbildung 6-4: Ausprägungen des Merkmals „Terminflexibilität“	115
Abbildung 6-5: Ausprägungen des Merkmals „Auftragszuordnung“	116
Abbildung 6-6: Ausprägungen des Merkmals „Anbindung vorgelagerter Bereiche“	119
Abbildung 6-7: Merkmale und Ausprägungen der Auftragsabwicklung	120
Abbildung 6-8: Ausprägungen des Merkmals „Gleichteileumfang in der Eigenfertigung“	120
Abbildung 6-9: Ausprägungen des Merkmals „Varianz der Bearbeitungszeiten“	122
Abbildung 6-10: Ausprägungen des Merkmals „Reihenfolgeabhängige Rüstzeiten“	123
Abbildung 6-11: Merkmale und Ausprägungen des Produktionsprogramms	123
Abbildung 6-12: Ausprägungen des Merkmals „Fließbandabstimmung“	125

Abbildung 6-13: Ausprägungen des Merkmals „Homogenität der Fertigungsstruktur“	126
Abbildung 6-14: Ausprägung des Merkmals „Reihenfolgeänderung“	128
Abbildung 6-15: Merkmale und Ausprägungen des Produktionssystems	128
Abbildung 6-16: Übersicht über die Merkmale und Merkmalsausprägungen der Variantenfließfertigung.....	129
Abbildung 6-17: Stufenmodell zur Optimierung der Variantenfließfertigung	131
Abbildung 6-18: Darstellung des Typs „Steigerung des Modell-Mix“	133
Abbildung 6-19: Darstellung des Typs „Reduzierung der Bestände“	134
Abbildung 6-20: Darstellung des Typs „Reduzierung der Lieferzeiten“	136
Abbildung 6-21: Darstellung des Typs „Reduzierung der Herstellkosten“.....	137
Abbildung 7-1: Darstellung der Eigenfertigungsplanung und -steuerung mit Hervorhebung der Konfigurationsmöglichkeiten der Reihenfolgeplanung.....	142
Abbildung 7-2: Darstellung der Prozessschritte der Reihenfolgeplanung mit Hervorhebung der Konfigurationsmöglichkeiten	143
Abbildung 7-3: Konfigurationsmöglichkeiten für die Reihenfolgeplanung in Abhängigkeit von der Homogenität der Fertigungsstruktur	146
Abbildung 7-4: Beispiel für die Planungsabschnitte der Reihenfolgeplanung mit lokaler Optimierung durch Re-Sequenzierung bei partiell stabiler Fertigungsstruktur	147
Abbildung 7-5: Beispiel für die Planungsabschnitte der Reihenfolgeplanung mit abgeleiteten Reihenfolgen aus der Endmontagereihenfolge	147
Abbildung 7-6: Beispiel für einen übergreifenden Planungsabschnitt für die Reihenfolgeplanung.....	148
Abbildung 7-7: Konfigurationsmöglichkeiten für die Reihenfolgeplanung in Abhängigkeit von Reihenfolgeänderungen	148
Abbildung 7-8: Konfigurationsmöglichkeiten für die erste Verfügbarkeitsprüfung in Abhängigkeit von der Art der Auftragszuordnung	149
Abbildung 7-9: Konfigurationsmöglichkeiten für die zweite Verfügbarkeitsprüfung in Abhängigkeit von der Art der Auftragszuordnung	150
Abbildung 7-10: Prozessdarstellung der Prozessschritte der Reihenfolgeplanung bei Variantenfließfertigung mit Hervorhebung der Konfigurationsmöglichkeiten	151

Abbildung 7-11: Konfigurationsmöglichkeiten für die Reihenfolgeplanung in Abhängigkeit von der Terminflexibilität	152
Abbildung 7-12: Konfigurationsmöglichkeiten für die Reihenfolgeplanung in Abhängigkeit von der gewählten Fließbandabstimmung	153
Abbildung 7-13: Konfigurationsmöglichkeiten für die Reihenfolgeplanung in Abhängigkeit von der Steuerung vorgelagerter Bereiche	154
Abbildung 7-14: Konfigurationsmöglichkeiten für die Reihenfolgeplanung in Abhängigkeit vom Gleichteileumfang in der Eigenfertigung.....	155
Abbildung 7-15: Konfigurationsmöglichkeiten für die Reihenfolgeplanung in Abhängigkeit von der Varianz der Bearbeitungszeiten	156
Abbildung 7-16: Konfigurationsmöglichkeiten für die Reihenfolgeplanung in Abhängigkeit von reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten	157
Abbildung 7-17: Konfigurationsmöglichkeiten für die Ressourcenfeinplanung in Abhängigkeit von der Fließbandabstimmung.....	157
Abbildung 7-18: Ursachen für Planungsrestriktionen.....	159
Abbildung 7-19: Prozessdarstellung der Eigenfertigungsplanung und -steuerung bei Steigerung des Modell-Mix	173
Abbildung 7-20: Konfiguration der Bestimmung des Planungsabschnitts der Reihenfolgeplanung bei Steigerung des Modell-Mix.....	173
Abbildung 7-21: Konfiguration der Reihenfolgeplanung bei Steigerung des Modell-Mix	174
Abbildung 7-22: Prozessdarstellung der Reihenfolgeplanung bei Steigerung des Modell-Mix	175
Abbildung 7-23: Konfiguration der Modellierung des Planungsproblems bei Steigerung des Modell-Mix	176
Abbildung 7-24: Konfiguration der Ressourcenfeinplanung bei Steigerung des Modell-Mix	176
Abbildung 7-25: Konfiguration der ersten Verfügbarkeitsprüfung der Reihenfolgeplanung bei Steigerung des Modell-Mix.....	177
Abbildung 7-26: Konfiguration der zweiten Verfügbarkeitsprüfung der Reihenfolgeplanung bei Steigerung des Modell-Mix.....	177
Abbildung 7-27 Prozessdarstellung der Eigenfertigungsplanung und -steuerung bei Reduzierung von Beständen.....	178
Abbildung 7-28: Bestimmung des Planungsabschnitts bei Reduzierung der Bestände	178

Abbildung 7-29: Konfiguration der Reihenfolgeplanung bei Reduzierung der Bestände	179
Abbildung 7-30: Prozessdarstellung der Reihenfolgeplanung der Reihenfolgeplanung bei Reduzierung der Bestände	180
Abbildung 7-31: Konfiguration der Modellierung des Planungsproblems bei Reduzierung der Bestände	181
Abbildung 7-32: Konfiguration der Ressourcenfeinplanung bei Reduzierung der Bestände	181
Abbildung 7-33: Konfiguration der ersten Verfügbarkeitsprüfung bei Reduzierung der Bestände	182
Abbildung 7-34: Konfiguration der zweiten Verfügbarkeitsprüfung bei Reduzierung der Bestände	182
Abbildung 7-35: Prozessdarstellung der Eigenfertigungsplanung und -steuerung bei Reduzierung von Lieferzeiten	183
Abbildung 7-36: Konfiguration der Bestimmung des Planungsabschnitts der Reihenfolgeplanung bei Reduzierung von Lieferzeiten	184
Abbildung 7-37: Konfiguration der Reihenfolgeplanung bei Reduzierung von Lieferzeiten	184
Abbildung 7-38: Prozessdarstellung der Reihenfolgeplanung bei Reduzierung von Lieferzeiten	185
Abbildung 7-39: Konfiguration der Modellierung des Planungsproblems bei Reduzierung von Lieferzeiten	186
Abbildung 7-40: Konfiguration der Ressourcenfeinplanung bei Reduzierung von Lieferzeiten	186
Abbildung 7-41: Konfiguration der ersten Verfügbarkeitsprüfung bei Reduzierung von Lieferzeiten	187
Abbildung 7-42: Konfiguration der zweiten Verfügbarkeitsprüfung bei Reduzierung von Lieferzeiten	187
Abbildung 7-43: Prozessdarstellung der Eigenfertigungsplanung und -steuerung bei Reduzierung von Herstellkosten	188
Abbildung 7-44: Konfiguration der Bestimmung des Planungsabschnitts der Reihenfolgeplanung bei Reduzierung von Herstellkosten	189
Abbildung 7-45: Konfiguration der Reihenfolgeplanung bei Reduzierung von Herstellkosten	189
Abbildung 7-46: Prozessdarstellung der Reihenfolgeplanung bei Reduzierung von Herstellkosten	190

Abbildung 7-47: Konfiguration der Modellierung des Planungsproblems bei Reduzierung von Herstellkosten.....	191
Abbildung 7-48: Konfiguration der Ressourcenfeinplanung bei Reduzierung von Herstellkosten.....	191
Abbildung 7-49: Konfiguration der ersten Verfügbarkeitsprüfung bei Reduzierung von Herstellkosten.....	192
Abbildung 7-50: Konfiguration der zweiten Verfügbarkeitsprüfung bei Reduzierung von Herstellkosten.....	192
Abbildung 8-1: Vorgehen zur Konfiguration der Reihenfolgeplanung für die Variantenfließfertigung.....	193
Abbildung 8-2: Vorgehen in der Analysephase.....	196
Abbildung 8-3: Vorgehen in der Konzeptionierungsphase.....	197
Abbildung 8-4: Vorgehen in der Umsetzungsphase	199
Abbildung 9-1: Merkmalsausprägungen der Variantenfließfertigung bei der Geldautomaten AG.....	208
Abbildung 9-2: Vergleich der Merkmalsausprägungen der Endmontagelinie mit dem Typ "Reduzierung der Bestände".....	210
Abbildung 9-3: Soll-Prozess der Eigenfertigungsplanung und -steuerung bei der Geldautomaten AG.....	212
Abbildung 9-4: Soll-Prozess der Reihenfolgeplanung bei der Geldautomaten AG	214
Abbildung 9-5: Ursachen für Planungseinschränkungen für die betrachtete Endmontagelinie bei der Geldautomaten AG	216

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Gegenüberstellung der Freiheitsgrade von Erstinstallation und Rekonfiguration	28
Tabelle 3-1: Gegenüberstellung der Produktionsplanung eines deutschen und eines japanischen Automobilherstellers.....	46
Tabelle 3-2: Aggregation im Rahmen der hierarchischen Planung einer Variantenfließfertigung.....	48
Tabelle 3-3: Auswahl von Restriktionstypen für die Reihenfolgeplanung in gängigen IT-Lösungen.....	50
Tabelle 3-4: Bewertung der Anforderungen.....	61
Tabelle 5-1: Zuordnung der Aufgaben des Aachener PPS-Modells zur Reihenfolgeplanung der Variantenfließfertigung.....	84
Tabelle 5-2: Übersicht über Ziele der materialorientierten Reihenfolgeplanung	103
Tabelle 5-3: Übersicht über Ziele der kapazitätsorientierten Reihenfolgeplanung...	106
Tabelle 5-4: Übersicht über Ziele hybrider Verfahren zur Reihenfolgeplanung der Variantenfließfertigung	108
Tabelle 5-5: Logistische Ziele der Variantenfließfertigung und Zielstellung der Reihenfolgeplanung.....	109
Tabelle 7-1: Übersicht über den Zusammenhang der Merkmalsausprägungen und der Gestaltung der Prozessschritte.....	145
Tabelle 7-2: Beispiel für eine Restriktion zur Festlegung einer Höchstmenge von zwei Aufträgen mit dem Merkmal M_a	164
Tabelle 7-3: Beispiel für eine Restriktion zur Minimierung der Terminabweichung	164
Tabelle 7-4: Beispiel für eine Restriktion zur Festlegung der Dichte für drei von fünf Aufträgen mit dem Merkmal M_a	165
Tabelle 7-5: Beispiel für eine Restriktion zur Festlegung eines Mindestabstands von zwei zwischen Aufträgen mit dem Merkmal M_a	165
Tabelle 7-6: Beispiel für eine Restriktion zur Festlegung einer Blockgröße von mindestens drei für Aufträge mit dem Merkmal M_a	166
Tabelle 7-7: Beispiel für eine Restriktion zur Gleichverteilung der Aufträge mit dem Merkmal M_a	167
Tabelle 7-8: Beispiel für eine Restriktion zur Fixierung des Auftrags mit dem Merkmal M_a	168
Tabelle 7-9: Zuordnung von Reihenfolgeregeln zu Planungseinschränkungen	169

Abkürzungsverzeichnis

APS	Advanced Planning Systems
CS	Car-Sequencing
CSP	Car-Sequencing-Problem
ERP-System	Enterprise-Resource-Planning-System
GALBP	<i>general assembly line balancing problem</i> (SALBP)
JiS	<i>Just in Sequence</i> (dt. in etwa: sequenzgemäß)
JiT	<i>Just in Time</i> (dt. in etwa: bedarfsgemäß)
LS	Level-Scheduling
MES	Manufacturing-Execution-System
MMS	Mixed-Model-Sequencing
SALBP	<i>simple assembly line balancing problem</i>

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Produzierende Unternehmen sehen sich zunehmend mit dem Kundenwunsch konfrontiert, Produkte anzubieten, welche eine hohe Individualisierbarkeit aufweisen. Zeitgleich sehen sich die Hersteller gezwungen, den Produktaufbau erheblich zu standardisieren, um Skaleneffekte zur Reduzierung der Herstellkosten zu erreichen. Für das Endkundengeschäft sind Konzepte zur Realisierung kundenindividueller Produkte unter dem Begriff „*Mass Customization*“ bekannt geworden. Das wohl bekannteste Beispiel hierfür ist das Automobil (s. BECKER 2007, S. 27 – 30). Insbesondere auf dem europäischen Markt können Fahrzeuge vom Kunden mithilfe von Produktkonfiguratoren den eigenen Wünschen angepasst werden (s. STÄBLEIN U. AOKI 2015, S. 263ff). Doch auch im B2B-Geschäft ohne direkten Endkundenbezug ist der Trend zu individualisierten und konfigurierbaren Produkten zu verzeichnen. Hierunter fallen Nutzfahrzeuge wie Landmaschinen (s. HUCHZERMEIER ET AL. 2020, S. 1) und LKW (s. REINHART U. PRÖPSTER 2012, S. 404 – 405), Flugzeuge (s. BUERGIN ET AL. 2018, S. 759), aber auch Industriegüter wie Maschinen und Geldautomaten.

Zur Gewährleistung der Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung individualisierbarer Produkte sind einerseits modulare Produktarchitekturen und andererseits geeignete, flexible Produktionssysteme erforderlich (s. BÜRGIN 2018, S. 1). Bevorzugte Organisationsform für die Produktion und Montage standardisierter Produkte in hoher Stückzahl ist die Fließfertigung, welche von Henry Ford für die Produktion des Model-T erstmals im Bereich der industriellen Produktion eingesetzt wurde (s. BOYSEN ET AL. 2007c, S. 760). Durch die steigende Zahl der Produktvarianten und eine sinkende Zahl von Autos je Derivat wurde die Wirtschaftlichkeit dieses Systems jedoch immer mehr in Frage gestellt. Am Beispiel der Automobilindustrie kann der Trend zu einer überproportionalen Steigerung der Produktvarianten veranschaulicht werden (s. Abbildung 1-1).

Durch technologische Innovationen, welche schnelle Werkzeugwechsel erlauben, und neue Organisationskonzepte in der Montage für die Materialbereitstellung, ist es im Rahmen der sogenannten Variantenfließfertigung möglich, die Vorteile der Fließproduktion auch für die kundenindividuelle Fertigung zu nutzen. Heutzutage wird daher auf einem Produktionssystem eine Vielzahl verschiedener Varianten eines Produkts auf demselben Fließsystem gefertigt (vgl. DECKER 1993; BOYSEN 2005). Neben den daraus resultierenden Vorteilen, wie der Nutzung von Skaleneffekten durch Standardisierung und Arbeitsteilung, ergibt sich auch eine Reihe von Herausforderungen zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit derartiger Produktionssysteme.

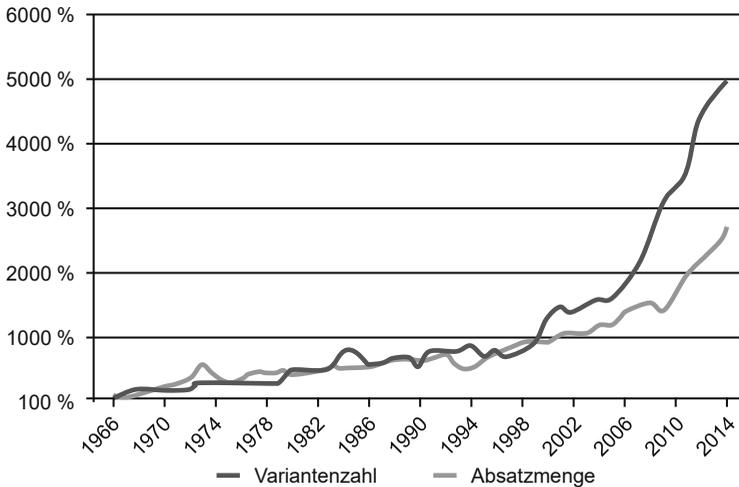


Abbildung 1-1: Entwicklung der Produktvarianten und Absatzmengen bei der Audi AG (KERN ET AL. 2015, S. 2)

Eine der zentralen Herausforderungen liegt dabei in der Ausgestaltung der Auftragsabwicklung als zentrales Element der Wertschöpfung (s. SCHRÖDER 2019, S. 2). Zur Gewährleistung der Flexibilität zur Reaktion auf Kundenwünsche bei gleichzeitiger Reduzierung der Warenbestände wird die Variantenfließfertigung oftmals mit einem Build-to-Order-Fertigungskonzept verbunden (s. MANDEL 2012, S. 6). Damit wird die Herstellung der Enderzeugnisse erst zum Zeitpunkt der verbindlichen Kundenbestellung angestoßen. Allerdings sind für die Auftragsabwicklung und die vorgelagerten Planungsschritte der Fabrikplanung hohe Vorlaufzeiten zu berücksichtigen. Diese Planung basiert im Wesentlichen auf Prognosen über den erwarteten Kapazitätsbedarf (s. BÜRGIN 2018, S. 1 – 4). Bei der operativen Auftragsabwicklung wird der durch die Nachfrage bestimmte Kapazitätsbedarf im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung mit dem Kapazitätsangebot in Deckung gebracht. Im mittelfristigen Bereich geschieht dies bei der aggregierten Produktionsprogrammplanung sowie der Fließbandabstimmung. Im Kurzfristbereich sind die operative Produktionsprogrammplanung und die Reihenfolgeplanung wesentliche Planungsschritte im Bereich der Produktion (s. DÖRMER 2013, S. 34 – 43).

Die Reihenfolgeplanung für die Variantenfließfertigung ist notwendig, da die unterschiedlichen und zahlreichen Produktvarianten zu Schwankungen der Bearbeitungszeiten und des Materialbedarfs für variantenspezifische Bauteile führen können (s. SWIST 2014, S. 4; WÖRNER 2015, S. 2 – 3), welche wiederum zu Instabilitäten des Materialflusses und damit einer Termingefährdung führen können. Die Varianz der Bearbeitungszeiten führt einerseits zu reihenfolgeunabhängigen Taktzeitverlusten sowie

andererseits zu reihenfolgeabhängigen Modell-Mix-Verlusten (s. PRÖPSTER 2015, S. 31). Taktzeitverluste haben ihren Ursprung in der Vielzahl der variantenspezifischen durchführbaren Montageoperationen und der dadurch suboptimalen Verteilung der Arbeitsinhalte auf die Stationen (s. SWIST 2014, S. 22). Modell-Mix-Verluste sind von KOETHER definiert als „[...] die Aufwendungen für Über- und Unterlastungen [...]“ an der Montagestation bei „[...] unterschiedlichen Vorgabezeiten der Werkstücke [...]“ (s. KOETHER 1986, S. 16). Diese ergeben sich aus der spezifischen Reihenfolge, in welcher die Aufträge aufgelegt werden. Auch wenn die Reihenfolgeplanung oftmals lediglich als notwendiger Zwischenschritt betrachtet wird und Empfehlungen für die Gestaltung der Auftragsabwicklung die Minimierung der Restriktionen für die Produktionsreihenfolge beinhalten (s. MEIßNER 2009, S. 139 – 140; COPACIU 2013, S. 159 – 160), ist die Ausgestaltung dieses Planungsschritts aufgrund der hohen Implikationen auf die Stabilität und Robustheit des Materialflusses entscheidend für die Wirtschaftlichkeit einer Variantenfließfertigung.

Eine vergleichende Studie zur Auftragsabwicklung deutscher und japanischer Automobilhersteller kommt zu dem Ergebnis, dass sich die eingesetzten Verfahren der Reihenfolgeplanung in den letzten zehn Jahren kaum geändert haben (s. STÄBLEIN U. AOKI 2015). Dem steht eine Vielzahl von Forschungsarbeiten aus der Operations-Research gegenüber. Einen Überblick liefern BOYSEN ET AL. die festhalten, dass ein theoretischer und empirischer Forschungsbedarf zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Ansätzen der Reihenfolgeplanung und den Implikationen selbiger auf die betriebliche Praxis existiert (s. BOYSEN ET AL. 2009b, S. 367).

Insbesondere vor dem Hintergrund der anhaltenden Bestrebungen zur Steigerung der Flexibilität von Produktionssystemen durch Anpassung der Produktstruktur und Wertschöpfungsketten steigt die Komplexität bei der Bildung einer wirtschaftlichen Produktionsreihenfolge. So geht zwar mit der Einführung einer modularen Produktarchitektur eine Reduzierung der Variantenvielfalt einher, allerdings werden derartige Konzepte auch genutzt, um die Standortflexibilität zu erhöhen. Hierunter wird die Möglichkeit verstanden, auf Nachfrageschwankungen durch Anpassung des Modell-Mix zu reagieren (s. LEMKE 2013, S. 17). BMW erwartet, neben Kosteneinsparungen bei der Entwicklung, auch eine Steigerung der Flexibilität durch die Produktion von Fahrzeugen mit verschiedenen Antriebskonzepten auf einer Montagelinie (s. HARALD KRÜGER 2017). Diese Bestrebungen führen nicht zwangsläufig zu einer Reduzierung der Modell-Mix-Verluste, sondern erhöhen im Gegenteil u. U. die Planungskomplexität zusätzlich.

Bei näherer Betrachtung der betrieblichen Praxis und dem Vergleich mit wissenschaftlichen Erkenntnissen ergibt sich ein widersprüchliches Bild: Den zahlreichen Modellerweiterungen und Heuristiken zur Lösung der Reihenfolgeplanung stehen in der Praxis häufig pragmatische Ansätze gegenüber, welche mehrere Modellierungsaspekte zu einer regelbasierten Reihenfolgeplanung verbinden (s. FLEXIS AG 2020b; PSI FLS FUZZY LOGIK & NEURO SYSTEME GMBH 2017; CONSILIO GMBH 2020; SAP DEUTSCHLAND SE & Co. KG 2017a; TAKTIQ GMBH & Co. KG 2020). Diese Lösungen