

---

# Produktion und Logistik

## Herausgegeben von

B. Fleischmann, Augsburg, Deutschland

M. Grunow, München, Deutschland

H.-O. Günther, Berlin, Deutschland

S. Helber, Hannover, Deutschland

K. Inderfurth, Magdeburg, Deutschland

H. Kopfer, Bremen, Deutschland

H. Meyr, Hohenheim, Deutschland

Th. S. Spengler, Braunschweig, Deutschland

H. Stadtler, Hamburg, Deutschland

H. Tempelmeier, Köln, Deutschland

G. Wäscher, Magdeburg, Deutschland

Diese Reihe dient der Veröffentlichung neuer Forschungsergebnisse auf den Gebieten der Produktion und Logistik. Aufgenommen werden vor allem herausragende quantitativ orientierte Dissertationen und Habilitationsschriften. Die Publikationen vermitteln innovative Beiträge zur Lösung praktischer Anwendungsprobleme der Produktion und Logistik unter Einsatz quantitativer Methoden und moderner Informationstechnologie.

**Herausgegeben von**

Professor Dr. Bernhard Fleischmann  
Universität Augsburg

Professor Dr. Herbert Meyr  
Universität Hohenheim

Professor Dr. Martin Grunow  
Technische Universität München

Professor Dr. Thomas S. Spengler  
Technische Universität Braunschweig

Professor Dr. Hans-Otto Günther  
Technische Universität Berlin

Professor Dr. Hartmut Stadler  
Universität Hamburg

Professor Dr. Stefan Helber  
Universität Hannover

Professor Dr. Horst Tempelmeier  
Universität Köln

Professor Dr. Karl Inderfurth  
Universität Magdeburg

Professor Dr. Gerhard Wäscher  
Universität Magdeburg

Professor Dr. Herbert Kopfer  
Universität Bremen

**Kontakt**

Professor Dr. Hans-Otto Günther  
Technische Universität Berlin  
H 95, Straße des 17. Juni 135  
10623 Berlin

---

Jan Dörmer

# Produktionsprogramm- planung bei varianten- reicher Fließproduktion

Untersucht am Beispiel der  
Automobilendmontage

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Hans-Otto Günther

 Springer Gabler

Jan Dörmer  
Berlin, Deutschland

Dissertation Technische Universität Berlin, 2012

D 83

ISBN 978-3-658-02091-0  
DOI 10.1007/978-3-658-02092-7

ISBN 978-3-658-02092-7 (eBook)

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

Springer Gabler

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2013

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Gabler ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.  
[www.springer-gabler.de](http://www.springer-gabler.de)

# Geleitwort

Vor fast 100 Jahren wurde von Henry Ford die Massenproduktion von Automobilen durch den Einsatz von Fließbändern und die Verwendung standardisierter Bauteile ermöglicht. Seitdem ist ein gravierender Wandel der Produktionssysteme hin zu flexiblen Montagelinien und hoher Produktvielfalt eingetreten. Heute ist die Automobilindustrie sehr stark durch das Konzept der sog. "mass customization" geprägt. Darunter versteht man die kundenindividuelle Ausgestaltung eines Massenproduktes. Bei Personenfahrzeugen ergibt sich durch die Vielfalt an Optionen u.a. für Motoren, Außen- und Innenfarben, Räder, Komfortzubehör und elektronische Hilfssysteme eine schier unübersehbare Vielfalt an Ausgestaltungen, so dass jedes produzierte Fahrzeug als individuelle Einheit angesehen werden muss. Da in der Automobilendmontage überwiegend getaktete Linienproduktionssysteme eingesetzt werden, erhöht sich die Komplexität der Produktionsplanung und -steuerung beträchtlich.

Während die Produktionsprogrammplanung an sich ein produktionswirtschaftliches Standardproblem darstellt, das schon früh und ausgiebig in der wissenschaftlichen Literatur behandelt wurde, ist diese Problemstellung unter den speziellen Gegebenheiten der Automobilendmontage bisher zu Unrecht vernachlässigt worden. Die besondere Komplexität dieses Planungsproblems besteht in der Individualität der hergestellten Fahrzeuge und in den spezifischen Auswirkungen, die vom Produktionsprogramm auf die Auflegungsreihenfolge der Produkte in der getakteten Linienproduktion ausgehen. Dieser hochgradig praxisrelevanten und wissenschaftlich vernachlässigten Problemstellung widmet sich die Schrift von Herrn Dr. Dörmer.

Herr Dr. Dörmer analysiert zunächst sehr sorgfältig das Wechselspiel von Produktionsprogrammplanung und Sequenzierung der im Laufe eines Tages auf der Montagelinie herzustellenden Fahrzeuge. An Beispielen wird deutlich gemacht, warum die Auswirkungen des Produktionsprogramms auf die Reihenfolgeplanung antizipiert werden müssen. Die generelle Zielsetzung besteht dabei darin, die Überlast in den einzelnen Bandstationen und damit den Springereinsatz durch eine optimierte Auflegungssequenz zu minimieren. Überlastsituationen ergeben sich, wenn durch die Wahl der Auflegungsreihenfolge kein Ausgleich zwischen den variantenbedingten Prozesszeiten in einer Station gefunden werden kann. Da das zugrundeliegende formale Optimierungsproblem hochkomplex ist, kann es für praxisorientierte Probleminstanzen aus-

schließlich mit heuristischen Verfahren gelöst werden. Hierzu entwirft Herr Dr. Dörmer verschiedene alternative Vorgehensweisen, die auf einfachen und überzeugenden Grundideen beruhen und konsequent an den Anforderungen und Einsatzbedingungen der Automobilindustrie ausgerichtet sind. In den umfangreichen numerischen Tests zeigte sich, dass der von Herrn Dr. Dörmer entwickelte integrierte Planungsansatz den übrigen Heuristiken hinsichtlich der Summe und Standardabweichung der Überlast an den Arbeitsstationen überlegen ist. Dieser Effekt wird insbesondere bei den großen und sehr großen Probleminstanzen deutlich, wobei sich die Rechenzeiten stets in vertretbaren Grenzen halten.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Herr Dr. Dörmer in seiner Schrift ein komplexes Thema von hoher praktischer Relevanz behandelt, das bisher sowohl in der deutschsprachigen als auch in der internationalen Literatur vernachlässigt wurde. Die wissenschaftlichen Leistungen von Herrn Dr. Dörmer bestehen nicht nur in einer theoretisch fundierten Modellbetrachtung, sondern auch in der Entwicklung effizienter und praxistgerechter Lösungsverfahren. Gemessen am Stand der internationalen Forschung stellen die von Herrn Dr. Dörmer erarbeiteten Planungsansätze bemerkenswerte Beiträge dar. Insofern ist die vorgelegte Schrift für die industrielle Praxis gleichermaßen lesenswert wie für einschlägig orientierte Wissenschaftler. Ich wünsche daher der Arbeit eine weite Verbreitung und eine interessierte Leserschaft.

Prof. Dr. H.O. Günther

# Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit am Forschungszentrum der Daimler AG in Ulm und bei der Montageplanung im Mercedes-Benz Werk Sindelfingen, in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Produktionsmanagement der TU Berlin.

Bei meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Hans-Otto Günther, möchte ich mich für die wissenschaftliche Betreuung meiner Arbeit, den vielseitigen fachlichen Rat und die vertrauensvolle, konstruktive Zusammenarbeit bedanken. Trotz der großen Entfernung zwischen Berlin und Ulm bzw. Sindelfingen hat er mich stets in meiner Arbeit ermutigt und vorangetrieben. Weiterer Dank gebührt meinem Zweitgutachter Prof. Dr. Achim Koberstein für die Zeit, die er in diese Arbeit investiert hat.

Für die Unterstützung und die gewährten Freiräume bei der Erstellung der Arbeit bedanke ich mich bei meinen Abteilungsleitern Dr. Gerhard Jünemann, Prof. Dr. Johann-Friedrich Luy und Philipp Hartmann sowie meinen Teamleitern Dr. Thomas Sommer-Dittrich, Dr. Andreas Schütte und Dr. Thomas Sillekens. Danken möchte ich auch den Ansprechpartnern im Forschungszentrum Ulm sowie in den Werken Sindelfingen, Rastatt und Bremen, die mir die Möglichkeit gegeben haben, Praxiserfahrung zu sammeln und diese in die entwickelten Methoden einfließen zu lassen.

Für die intensive fachliche Betreuung und Beratung bedanke ich mich ganz besonders bei meinem „Mentor“, dem Leiter der Arbeitsgruppe Montageharmonisierung: Dr. Marcus Ziegler. Durch unsere zahlreichen Diskussionen habe ich mich fachlich und persönlich weiterentwickelt. Für die Unterstützung bei meiner Arbeit danke ich ebenfalls den Kollegen aus der Arbeitsgruppe Montageharmonisierung, insbesondere meinen Weggefährten Jenny Golz, Rico Gujjula, Thomas Siebers und Karsten Friedrich. Ohne sie hätte ich meine Ideen nicht realisieren können. Weiterhin bedanke ich mich bei den beteiligten Studenten für ihr Engagement und Herrn Dr. Jan Erik Gans für die wertvollen Hinweise.

Ein besonderer Dank gilt auch meiner Familie und meinen Freunden, insbesondere meiner Freundin Isabella und meiner Oma Edith, die viel Verständnis für die entgangenen gemeinsamen Stunden aufgebracht und mir in schwierigen Phasen meiner Promotion mit bestärkenden Worten zur Seite gestanden haben.

Jan Dörmer

---

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XIII
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	XV
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Variantenreiche Serienproduktion in der Automobilindustrie</b>	<b>7</b>
2.1 Automobilindustrie	7
2.2 Produktionsprozess	11
2.2.1 Allgemeine Einordnung	11
2.2.2 Produktionsstufen	14
2.2.3 Charakteristika der Variantenfließlinie in der Endmontage	18
2.2.4 Produktionsablauf, Entstehung von Drift und Überlast	21
2.3 Logistikprozesse	24
2.4 Auftragsabwicklungsprozess	26
<b>3 Planungsprobleme der Produktionsplanung und -steuerung</b>	<b>31</b>
3.1 Allgemeine Einordnung der Planungsprobleme	31
3.2 Strategische Netzwerkplanung	32
3.3 Absatzplanung	33
3.4 Aggregierte Produktionsprogrammplanung	34
3.5 Materialbedarfs- und Beschaffungsplanung	35
3.6 Fließbandabstimmung (Linienkonfiguration - Rekonfiguration)	36
3.7 Produktionsprogrammplanung	36
3.8 Auftragsannahme	37
3.9 Reihenfolgeplanung	37
3.10 Distributions- und Transportplanung	44
3.11 Materiallandienung	44
3.12 Resequenzierung	45
3.13 Zusammenfassung	46



---

<b>4</b>	<b>Produktionsprogrammplanung</b>	<b>49</b>
4.1	Direkte Planungsziele der Produktionsprogrammplanung . . . . .	52
4.2	Antizipation der Reihenfolgeplanung . . . . .	54
4.3	Literaturübersicht und Eingrenzung des Entscheidungsfeldes . . . . .	57
<b>5</b>	<b>Montageorientierte Verfahren zur Produktionsprogrammplanung</b>	<b>65</b>
5.1	Hierarchische Ansätze . . . . .	66
5.1.1	Mathematische Formulierung - Basismodell . . . . .	66
5.1.2	Indirekte Auslastungsglättung (IAG) . . . . .	67
5.1.3	Kumulierte Auslastungsdifferenz und Maximale Auslastung . . . . .	70
5.1.4	Prozess-Intervall Verteilung . . . . .	73
5.2	Integrierter Ansatz . . . . .	79
5.3	Numerische Tests . . . . .	81
5.3.1	Sequenzierungsverfahren . . . . .	83
5.3.2	Testdesign . . . . .	83
5.3.3	Ergebnisse . . . . .	88
5.4	Diskussion . . . . .	94
<b>6</b>	<b>Erweiterte Verfahren zur Produktionsprogrammplanung</b>	<b>97</b>
6.1	List-Scheduling Heuristik und TABU-Suche . . . . .	99
6.2	Assignment Heuristik (Integrierter Ansatz) . . . . .	102
6.2.1	Erweiterung I: Einplanungsintervalle . . . . .	102
6.2.2	Erweiterung II: Bauteilkapazitäten . . . . .	106
6.3	Numerische Tests . . . . .	109
6.3.1	Erweitertes Testdesign . . . . .	110
6.3.2	Ergebnisse: List-Scheduling und TABU-Suche . . . . .	111
6.3.3	Ergebnisse - Integrierter Ansatz . . . . .	113
6.4	Diskussion . . . . .	116
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>119</b>
<b>A</b>	<b>NP-Beweis</b>	<b>121</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>123</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Motorwagen von Carl Benz und die Fließproduktion des Model-T bei Ford . . . . .	1
1.2	Zusammenhang der Produktionsprogramm- und Reihenfolgeplanung für Variantenfließlinien . . . . .	4
2.1	Weltweite Fahrzeugproduktion . . . . .	8
2.2	Neuzulassungen in wichtigen Märkten (Gesamtsumme über PKW, Nutzfahrzeuge und Busse) . . . . .	9
2.3	Automobilhersteller, analog zu Becker (2010, S. 16) . . . . .	10
2.4	Produktionsprozess (analog zu Boysen (2005, S. 5)) . . . . .	11
2.5	Organisationstypen der Produktion, Grafik ist abgeleitet aus Günther und Tempelmeier (2012, S. 13) . . . . .	12
2.6	Herstellung von PKW Karosserien im Rohbau, Quelle: Daimler AG (2009) . . . . .	15
2.7	Lackierung einer LKW Karosserie, Quelle: Daimler AG (2012a) . . . . .	16
2.8	PWK Montage, Quelle: Daimler AG (2007) . . . . .	16
2.9	Grundstruktur der Gewerke eines Automobilwerks, analog zu Askar (2008, S. 11) . . . . .	18
2.10	Beispiel zur Entstehung von Wartezeit und unfertiger Arbeit, analog zu Gujjula et al. (2011) . . . . .	23
2.11	Lieferantenstruktur (angelehnt an Heitmann (2007)) . . . . .	25
2.12	Belieferung der Fließlinie (analog zu Golz et al. (2012)) . . . . .	27
2.13	Prozess zur Erfüllung des Kundenwunsches . . . . .	28
2.14	Struktur des Auftragsbestands, angelehnt an Meyr (2004), Stäblein (2007) . . . . .	28
3.1	Supply Chain Planning Matrix . . . . .	32
3.2	Beispiel zum Einfluss der Auflegungsreihenfolge . . . . .	38
3.3	Beispiel zum Vergleich von Car Sequencing und Mixed-Model Sequencing . . . . .	42
4.1	Hierarchisches Planungssystem der Auftragseinplanung . . . . .	50

---

4.2	Produktionsprogrammplanung an der Schnittstelle zwischen prognose- basierter und auftragsbasierter Planung . . . . .	51
4.3	Produktionsprogrammplanung zum Ausgleich zwischen prognostizier- tem und realisiertem Kapazitätsbedarf . . . . .	51
4.4	Optimale Sequenzen zu Lösung A . . . . .	56
4.5	Optimale Sequenzen zu Lösung B . . . . .	57
4.6	Einflussgrößen der Produktionsprogrammplanung . . . . .	58
4.7	Einflussgrößen der Produktionsprogrammplanung (Vorgehensweise) . .	63
5.1	Auslastungsdifferenz an Station $s$ . . . . .	70
5.2	Optimale Sequenzen zu Lösung C . . . . .	74
5.3	Zeitintervalle . . . . .	75
5.4	Schematische Darstellung des Verfahrens SEQ . . . . .	82
5.5	Exemplarische Darstellung der Entwicklung der unfertigen Arbeit bei Veränderung von $\gamma_2$ . . . . .	87
5.6	Zusammenhang von Auslastung und unfertiger Arbeit . . . . .	89
6.1	Beispiel zum Einfluss der Auftragsauswahl . . . . .	103
6.2	Mengen aus $\Omega$ in Iteration 1 in Beispiel 6.2.1 . . . . .	105
6.3	Bezüglich Bedingung (6.10) zulässige Kantenauswahl zu Beispiel 6.2.1	106
6.4	Darstellung der Trendgeraden für ein Bauteil und eine Periode . . . . .	108
6.5	Kumulierte Auslastungsdifferenz nach TABU-Suche I und II . . . . .	114
6.6	Unfertige Arbeit pro Lauf und Probleminstanz . . . . .	116
6.7	Einflussgrößen der Produktionsprogrammplanung . . . . .	117

# Tabellenverzeichnis

2.1	Notation . . . . .	21
4.1	Parameter zu Beispiel 4.2.1 . . . . .	55
4.2	Literaturübersicht . . . . .	62
5.1	Intervalle mit $N = 3$ zu Beispiel 4.2.1 . . . . .	76
5.2	Zuordnung der Aufträge zu Intervallen zu Beispiel 4.2.1 . . . . .	77
5.3	Übersicht zur Problemgröße . . . . .	84
5.4	Übersicht zur Stationsvarianz . . . . .	84
5.5	Auftragsklassen und deren Verteilung . . . . .	85
5.6	Laufzeiteinstellungen der IP-Heuristik und der Tabu-Suche . . . . .	85
5.7	Einstellung von $\gamma_2$ und $\gamma_3$ ( $\gamma_1 = 1$ für alle Szenarien) . . . . .	87
5.8	Ergebnisse für kleine Probleminstanzen (Durchschnittswerte über 10 Probleminstanzen) . . . . .	90
5.9	Ergebnisse für mittlere Probleminstanzen (Durchschnittswerte über 10 Probleminstanzen) . . . . .	91
5.10	Ergebnisse für große Probleminstanzen (Durchschnittswerte über 10 Probleminstanzen) . . . . .	92
5.11	Ergebnisse für sehr große Probleminstanzen (Durchschnittswerte über 10 Probleminstanzen) . . . . .	93
5.12	Verteilung der Auslastung . . . . .	95
6.1	Einplanungsintervalle des Auftragsvolumens . . . . .	103
6.2	Bauteile und deren Verteilung . . . . .	111
6.3	Ergebnisse der numerischen Tests (Durchschnittswerte über 10 Proble- minstanzen); LZ = Laufzeit, KAD = Kumulierte Auslastungsdifferenz .	112
6.4	Ergebnisse der numerischen Tests (Durchschnittswerte über 10 Proble- minstanzen); LZ = Laufzeit, UA = Unfertige Arbeit . . . . .	115

# Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

- $ap_{s,t,i}$  ..... Arbeiterposition an Station  $s \in S$  vor der Bearbeitung von Takt  $i$  in Periode  $t \in T$ .
- $ak_s$  ..... Anzahl der Arbeitskräfte, die Station  $s \in S$  zugeordnet sind.
- $A$  ..... Menge der Produktionsaufträge
- $A_i^I$  ..... Menge der Aufträge, die bis Iteration  $I$  noch nicht zugeordnet wurden und deren Einplanungsintervall mindestens eine Periode aus  $U_i \in \Omega$  enthält.
- $al_s$  ..... Auslastung der Station  $s \in S$ .
- $EI_a$  ..... Einplanungsintervall, in dem Auftrag  $a \in A$  zugeordnet werden muss.
- $AVO$  ..... Menge der elementaren Arbeitsvorgänge
- $AVO_a$  ..... Menge der elementaren Arbeitsvorgänge, die zur Fertigstellung von Auftrag  $a \in A$  benötigt werden.
- $AVO_s$  ..... Menge der elementaren Arbeitsvorgänge, die Arbeitsstation  $s \in S$  zugeordnet sind.
- $t_{avo}$  ..... Bearbeitungszeit von Arbeitsvorgang  $avo \in AVO$ .
- $DBB_b$  ..... Durchschnittlicher Bauteilbedarf eines Bauteils  $b \in B$  pro Periode.
- $\beta_{a,b}$  ..... Der Bedarf von Auftrag  $a \in A$  an Bauteil  $b \in B$ .
- $B$  ..... Menge der Bauteile
- $bz_{a,s}$  ..... Bearbeitungszeit von Auftrag  $a \in A$  an Station  $s \in S$ .
- $c^E$  ..... Kostenparameter für die verfrühte Produktion von Aufträgen.
- $c^L$  ..... Kostenparameter für die verspätete Produktion von Aufträgen.

- $c_{b,t}^{lb}$  ..... Kostenparameter für die Verletzung der oberen Bauteilgrenze.
- $c_{b,t}^{ub}$  ..... Kostenparameter für die Verletzung der unteren Bauteilgrenze.
- $EP_a$  ..... Erste Periode, zu der Auftrag  $a \in A$  zugeordnet werden darf.
- $\epsilon_s$  ..... Parameter, der die zulässige durchschnittliche Abweichung von der Durchschnittsauslastung beschreibt.
- $f_b^I(zb_{b,t,a}^I)$  Die durch Bauteil  $b \in B$  induzierten zusätzlichen Kosten für die Zuordnung eines Auftrags  $a \in A$  zu Periode  $t \in T$  in Iteration  $I$ .
- $\gamma_1$  ..... Parameter zur Gewichtung der unfertigen Arbeit.
- $\gamma_2$  ..... Parameter zur Gewichtung der Wartezeit.
- $kapa_s$  .... Kapazität der Arbeitsstation  $s \in S$ .
- $LB_{b,t}$  ..... Minimale Anzahl an Aufträgen in Periode  $t \in T$ , die Bauteil  $b \in B$  benötigen.
- $LP_a$  ..... Letzte Periode, zu der Auftrag  $a \in A$  zugeordnet werden darf.
- $ma$  ..... Variable, welche die maximale Auslastung über alle Perioden und Stationen beschreibt.
- $MAL_s$  .... Maximale Auslastung der Station  $s \in S$ .
- $maxBZ_s$  . Maximale Bearbeitungszeit an Station  $s \in S$ .
- $minBZ_s$  .. Minimale Bearbeitungszeit an Station  $s \in S$ .
- $\Omega$  ..... Die Menge zusammenhängender Vereinigungen von Perioden aus  $T$ .
- $T$  ..... Menge der Produktionsperioden, die bei der Produktionsprogrammplanung berücksichtigt werden.
- $S$  ..... Menge der Arbeitsstationen der Variantenfließlinie.
- $l_s$  ..... Länge der Station  $s \in S$ .
- $pk$  ..... Produktionskapazität in Stück pro Periode.
- $pk_t$  ..... Produktionskapazität in Stück in Periode  $t \in T$ .
- $tz$  ..... Taktzeit der Variantenfließlinie.

- $TA_b(I)$  ... Trendgerade für den durchschnittlichen Bauteilbedarf von Bauteil  $b \in B$ .
- $\delta_{a,t}$  ..... Kosten für die Verletzung des Einplanungsintervalls, wenn Auftrag  $a \in A$  zu Periode  $t \in T$  zugeordnet wird.
- $TL_{b,t}(I)$  .. Trendgerade für den untere Kapazitätsgrenze von Bauteil  $b \in B$ .
- $TU_{b,t}(I)$  .. Trendgerade für die obere Kapazitätsgrenze von Bauteil  $b \in B$ .
- $UB_{b,t}$  ..... Maximale Anzahl an Aufträgen in Periode  $t \in T$ , die Bauteil  $b \in B$  benötigen.
- $u_{s,t,i}$  ..... Unfertige Arbeit an Station  $s \in S$  in Takt  $i$  in Periode  $t \in T$ .
- $v_{s,t}$  ..... Binärvariable, welche die Verletzung der Auslastungsgrenzen an Station  $s \in S$  in Periode  $t$  beschreibt.
- $v_{b,t}^{lb}$  ..... Variable, welche die Verletzung der unteren Bauteilkapazität von Bauteil  $b \in B$  in Periode  $t \in T$  beschreibt.
- $v_{b,t}^{ub}$  ..... Variable, welche die Verletzung der oberen Bauteilkapazität von Bauteil  $b \in B$  in Periode  $t \in T$  beschreibt.
- $y_{a,t}$  ..... Binärvariable, welche die Zuordnung von Auftrag  $a \in A$  zu Periode  $t \in T$  beschreibt.
- $\bar{y}_{a,t,i}$  ..... Binärvariable, die genau dann Eins ist, wenn Auftrag  $a \in A$  Takt  $i$  in Periode  $t \in T$  zugeordnet ist.
- $z_{b,I,a}^b$  ..... Beschreibt den Bedarf von Bauteil  $b \in B$  in Periode  $t \in T$ , wenn Auftrag  $a \in A$  dieser Periode in Iteration  $I$  zugeordnet würde.
- $z_s$  ..... Variable, welche die Auslastungsdifferenz an Station  $s \in S$  beschreibt.
- $AI_{s,k}$  ..... Anzahl der Elemente in Intervall  $k$  an Station  $s \in S$ .
- $BigM$  .... Große Zahl.
- $c_{a,t}^*$  ..... Kosten für die Zuordnung von Auftrag  $a \in A$  zu Periode  $t \in T$  im Rahmen der Assignment Heuristik, inklusive Bauteilkosten.
- $c_{a,t}$  ..... Kosten für die Zuordnung von Auftrag  $a \in A$  zu Periode  $t \in T$ .
- $DAI_{s,k}$  ... Durchschnittliche Anzahl an Elementen pro Periode in Intervall  $k$  an Station  $s \in S$ .

- $g^b$  ..... Gewicht zur Priorisierung der unterschiedlichen Bauteile.
- $g_{s,k}$  ..... Parameter, der das Gewicht von Intervall  $k$  an Station  $s \in S$  beschreibt.
- $I^G$  ..... Gesamtanzahl durchzuführender Iterationen bei der Assignment Heuristik.
- $i_{a,s,k}$  ..... Binärer Parameter, der genau dann Eins ist, wenn die Bearbeitungszeit des Auftrags  $a \in A$  an Station  $s \in S$  in Intervall  $k$  liegt.
- $ILs$  ..... Länge eines Zeitintervalls an Station  $s \in S$ .
- $N$  ..... Anzahl der betrachteten Zeitintervalle pro Arbeitsstation.
- $N_l$  ..... Beschreibt die Nachbarschaft einer Lösung  $l$ .
- $q^\tau$  ..... Prozentualer Anteil bereits zugeordneter Aufträge nach Iteration  $\tau$ .
- $R^I$  ..... Anzahl durchzuführender Iterationen nach Iteration  $I$  bei der Assignment Heuristik.
- $R_{s,k,t}$  ..... Bereits fixierte Anzahl an Elementen in Intervall  $k$  an Station  $s \in S$  und Periode  $t \in T$ .
- $w_{s,k,t}$  ..... Variable, welche die Abweichung der Elementanzahl vom Durchschnitt an Station  $s \in S$  Intervall  $k$  und Periode  $t \in T$  beschreibt.
- IAG ..... PTP-Ziel: Indirekte Auslastungsglättung.
- KAD ..... PTP-Ziel: Kumulierte Auslastungsdifferenz.
- MMA ..... PTP-Ziel: Minimiere Maximale Auslastung.
- PIV ..... PTP-Ziel: Prozess-Intervall-Verteilung.
- SEQ ..... Verfahren zur Bildung der Gesamtsequenz.