

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik  
der Technischen Universität München

# Schlanke Produktionssteuerung zur Stabilisierung von Auftragsfolgen in der Automobilproduktion

Jürgen Grinninger

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen  
der Technischen Universität München  
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. A. Günthner
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Kuhn

Technische Universität Dortmund

Die Dissertation wurde am 22.03.2012 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 09.07.2012 angenommen.

Herausgegeben von:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner

**fml** – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Zugleich: Dissertation, TU München, 2012

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Layout und Satz: Jürgen Grinninger

Copyright © Jürgen Grinninger 2012

ISBN: 978-3-941702-28-8

Printed in Germany 2012

# Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Gastwissenschaftler am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München.

Mein besonderer Dank geht an meinen Doktorvater, Herrn Professor Dr.-Ing. Willibald A. Günthner, der von Beginn an den Glauben an die Fähigkeiten eines Fachhochschulabsolventen mich spüren lies und die Voraussetzungen für diese wissenschaftliche Arbeit legte. Gleichmaßen gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. rer. pol. Jürgen Schröder, der mir im Rahmen der Forschungstätigkeit am Institut für Angewandte Forschung der Hochschule Ingolstadt alle Unterstützung und Freiheiten zugestanden hat. Herrn Prof. Dr.-Ing. Axel Kuhn danke ich für die Übernahme des Koreferats und Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart für den Vorsitz der Prüfungskommission.

Bei meinem Forschungskollegen Herrn Dr.-Ing. Sebastian Meißner möchte ich mich für den konstruktiven Ideenaustausch, die zahlreichen Hinweise, Kritiken und Anregungen in der Zusammenarbeit, sowie für die gewonnene Freundschaft bedanken. Ebenso gilt mein Dank allen mitwirkenden Semestranten und Diplomanden am Lehrstuhl fml für die wichtige Unterstützung, insbesondere den Herren Florian Kammermeier und Tobias Knössl.

Weiterhin möchte ich dem Leiter der Markenlogistik der Audi AG, Herrn Dr. Ernst-Hermann Krog für die Bereitschaft zur Unterstützung der Thematik Auftragsreihenfolgenkonzepte danken. Erst dadurch wurde diese Arbeit möglich.

All das wäre nicht möglich gewesen ohne den bedingungslosen Rückhalt meiner Familie. Meiner Frau Tanja und meinen Kindern Julius und Justus danke ich für die eingestandenen Freiräume, das Vertrauen in das Gelingen der Arbeit und die permanente Aufmunterung, ohne die ich diese Arbeit neben meiner Tätigkeit als selbständiger Unternehmensberater nicht hätte zu Ende bringen können.

Ingolstadt im August 2011,

Jürgen Grinninger

# Kurzdarstellung

Den gestiegenen Anforderungen des Markts begegnen Automobilhersteller aktuell mit einer konsequenten Wertschöpfungs- und damit Kundenorientierung. Dies bedeutet für die Produktionslogistik, im gesamten Kundenauftragsprozess den Fokus auf determinierte, planbare Durchlaufzeit zu legen. Die zurzeit vorherrschende Instabilität der Wertschöpfungsprozesse der Automobilhersteller beeinflusst wesentliche logistische Zielgrößen und das Zuliefernetzwerk, z. B. in Form von Sicherheitsbeständen, negativ.

Ein Auftragsreihenfolgenkonzept fokussiert sich durch eine verbindliche Festlegung der Montagesequenz vor dem Produktionsstart auf die Stabilisierung der Fertigungs- und Logistikprozesse und bietet dadurch qualitative sowie quantitative Potentiale. Um das Ziel einer stabilen Auftragsfolge in der Endmontage zu erreichen, müssen die negativen Einflussfaktoren für die operative Auftragsfolge minimiert oder eliminiert werden.

Als Ergebnis der wissenschaftlichen Diskussion erfolgt die Entwicklung einer ganzheitlichen Methodik zur situativen Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung zur Stabilisierung von Auftragsfolgen in einer Automobilen Variantenfließfertigung. Dazu ist die Definition von schlanker Produktionssteuerung durch Festlegung von Selektions- und Entscheidungskriterien auf der Basis von Anforderungen notwendig.

Die praktische Relevanz wird durch den Nachweis unterstrichen, dass eine Lean-Produktionsplanung und -Steuerung extrem leistungsfähig sind, Auftragsreihenfolgen zu stabilisieren und somit die Basis für eine übergreifende Synchronisation aller Wertschöpfungsprozesse zu schaffen. Um noch effizienter zu sein, sollte die Steuerung idealerweise mit Prinzipien/Methoden einer schlanken Produktion zur Reduzierung von Unsicherheiten und damit von Verschwendung in Form von Beständen kombiniert werden.

# Abstract

Based on the increased demands of the market, car manufacturers reply currently through consistent value creation for its customers' orientation. This means for the production logistics to focus on deterministic predictable lead times in the entire sales order process. Today's prevailing instability in the value-added processes within the automotive manufacturers affected substantial logistical targets and the supplier network, e. g. in the form of safety stocks, negatively.

The concept of stable order sequences enables by binding down the assembly sequence before the start of production to stabilize the value stream processes, providing qualitative and quantitative potential. To achieve the goal of a stable order in the final assembly sequence, the adverse influences has to be minimized or be eliminated.

The doctoral thesis at hand develops a holistic methodology for situational configuration of a lean production control system for stabilization of order effects in a multivariate automotive assembly production line. For this, the definition of lean production control by setting selection/decision criteria based on specific automotive requirements is necessary.

The practical relevance is underlined by evidence that a lean production planning and control are extremely efficient to stabilize order sequences and thus to form the basis for an overall synchronization of all value added processes. To be even more efficient, production control should ideally be combined with principles/practices of lean manufacturing to reduce uncertainties and thus waste in the form of stocks.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzdarstellung</b> .....	<b>IV</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>V</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>XVI</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemstellung und Zielsetzung .....	2
1.2 Vorgehensweise und Aufbau .....	5
<b>2 Rahmenbedingungen der Automobilproduktion</b> .....	<b>8</b>
2.1 Charakteristika der Automobilproduktionsprozesse .....	8
2.2 Entwicklungstrends in der Automobilindustrie .....	17
2.3 Anforderungen an die Automobilproduktion .....	22
2.4 Zielsystem: Stabile Auftragsfolge .....	25
2.5 Einflussfaktoren auf die stabile Auftragsfolge.....	26
2.6 Fazit: Instabilität und Ineffizienz in automobilen Produktionslogistikprozessen .....	28
<b>3 Chancen und Risiken der stabilen Auftragsfolge in der Automobilproduktion</b> .....	<b>30</b>
3.1 Theoretische Analyse.....	30
3.1.1 Chancen und Risiken im Materialbeschaffungs- und Logistikprozess .....	32
3.1.2 Chancen und Risiken im Produktionsprozess.....	46
3.1.3 Chancen und Risiken im Vertriebs- und Distributionsprozess ..	58
3.2 Empirische Analyse.....	71
3.2.1 Untersuchungsmethodik .....	72
3.2.2 Verteilung der Befragten .....	74
3.2.3 Ergebnisse zu Chancen und Risiken des Konzepts.....	77
3.2.4 Ergebnisse zum des Einflusses des Konzepts auf das Wertschöpfungssystem.....	83
3.3 Fazit: Stabilität als Wettbewerbsfaktor .....	93
<b>4 Produktionssteuerung nach stabiler Auftragsfolge in der Automobilindustrie</b> .....	<b>96</b>

4.1	Einordnung.....	96
4.2	Aufgaben und Ziele der Produktionssteuerung .....	98
4.2.1	Aufgaben .....	99
4.2.2	Zielgrößen.....	106
4.2.3	Stell- und Regelgrößen .....	114
4.3	Prinzipien und Verfahren der Produktionssteuerung.....	117
4.3.1	Prinzipien .....	118
4.3.2	Verfahren .....	121
4.3.3	Systematisierung und Zuordnung der Verfahren .....	139
4.3.4	Hybride Verfahren.....	141
4.4	Stand der Technik in der Automobilindustrie.....	143
4.4.1	Grundprinzip der automobilen Produktionssteuerung .....	144
4.4.2	Produktionssteuerung nach stabiler Auftragsfolge.....	149
4.5	Fazit: Fehlende Stabilisierungsfunktion bei zentral gesteuerten Push-Systemen .....	155
<b>5</b>	<b>Definition schlanker Produktionssteuerung .....</b>	<b>157</b>
5.1	Begriffsdefinition.....	157
5.2	Prinzipien .....	159
5.2.1	Prinzipien nach dem Toyota-Haus .....	160
5.2.2	Prinzipien nach Yagyu/Takeda .....	161
5.2.3	Prinzipien nach Pfeiffer .....	164
5.2.4	Prinzipien nach Liker.....	168
5.2.5	Prinzipien nach Womack/Jones .....	171
5.3	Kriterien einer schlanken Produktionssteuerung .....	179
5.4	Fazit: Stabilisierungspotential bei schlanken Steuerungssystemen ....	186
<b>6</b>	<b>Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen</b>	<b>189</b>
6.1	Anforderungen an eine Konfiguration.....	189
6.2	Methodik und Vorgehensweise .....	192
6.3	Konfiguration des Lösungsansatzes .....	211
6.3.1	Umfeldanalyse .....	212
6.3.2	Verfahrensauswahl .....	224
6.3.3	Verfahrensparametrisierung .....	239
6.3.4	Verfahrensanwendung, -validierung und -bewertung.....	246
6.4	Fazit: Systematische Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung ermöglicht Stabilisierung .....	266

<b>7 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>269</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>273</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit .....	6
Abbildung 2-1:	Auftragsabwicklungsprozess in der Automobilindustrie [Meißner 2009a] .....	11
Abbildung 2-2:	Entwicklung der Produktvielfalt und des Produktionsvolumens (in Anlehnung an [Womack 1992] .....	18
Abbildung 2-3:	Steuerung nach stabiler Auftragsfolge [o. V. 2006b] .....	26
Abbildung 2-4:	Einflussfaktoren für die Auftragsreihenfolge im automobilen Produktionsprozess [Günthner 2007b] .....	27
Abbildung 2-5:	Aufgaben der PPS zur Minimierung der Einflussfaktoren auf die Auftragsreihenfolge [Günthner 2007b].....	29
Abbildung 3-1:	Vorgehen zur Ermittlung der Chancen und Risiken eines Auftragsreihenfolgenkonzepts .....	31
Abbildung 3-2:	Untersuchungsgegenstand zur Ermittlung der Chancen und Risiken.....	32
Abbildung 3-3:	Anteil der Beschaffungslogistikkosten am Einkaufspreis [Günthner 2007a].....	34
Abbildung 3-4:	Vorwiegende Versorgungsprozesse bei OEMs (in Anlehnung an [Bauer 2008]).....	35
Abbildung 3-5:	Bedarfsschwankungen bei OEMs (in Anlehnung an [o. V. 2005]) .....	37
Abbildung 3-6:	Exemplarischer Wertschöpfungsprozess vom Lieferanten zum OEM ohne Auftragsreihenfolgenkonzept.....	38
Abbildung 3-7:	Potentiale im Materialbeschaffungs- und Logistikprozess – Versorgung bis Belieferung .....	39
Abbildung 3-8:	Erweiterter JIT-/JIS-Belieferungs-Radius durch das Auftragsreihenfolgenkonzept am Beispiel von BMW [Bauer 2008] .....	40
Abbildung 3-9:	Potentiale im Materialbeschaffungs- und Logistikprozess – Wareneingang bis Bereitstellung.....	43
Abbildung 3-10:	Exemplarischer Wertschöpfungsprozess vom Lieferanten zum OEM mit Auftragsreihenfolgenkonzept.....	44
Abbildung 3-11:	Vorteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts am Beispiel von BMW (in Anlehnung an [Bauer 2008]).....	45

Abbildung 3-12: Auswirkungen von Instabilität der Auftragsfolge auf die Teileversorgung.....	46
Abbildung 3-13: Potentiale in der Lackierung – Optimierung Anlageneinsatz ..	48
Abbildung 3-14: Prozessübergreifende Potentiale – Optimierung Durchlaufzeit	52
Abbildung 3-15: Prozessübergreifende Potentiale – Optimierung Kapazitätseinsatz .....	53
Abbildung 3-16: Prozessübergreifende Potentiale – optimierte Materialbereitstellung .....	55
Abbildung 3-17: Zielkonflikt Lagerbestand (in Anlehnung an [Pfohl 2003]) .....	56
Abbildung 3-18: Prozessübergreifende Potentiale – Optimierung des Lagerbestand .....	56
Abbildung 3-19: Potentiale im Produktionsprozess .....	57
Abbildung 3-20: Kano-Modell [Lindemann 2007].....	60
Abbildung 3-21: Potentiale in der LKW-Verladung – Optimierung Flächen- und Bestandskosten .....	61
Abbildung 3-22: Potentiale in der LKW-Verladung – Optimierung Kapazitätseinsatz .....	64
Abbildung 3-23: Potentiale in der Zug-Verladung.....	65
Abbildung 3-24: Potentiale in der Direkt-Abholung.....	67
Abbildung 3-25: Potentiale im Distributionsprozess.....	68
Abbildung 3-26: Bedeutung der Änderungsflexibilität für den Kunden [Voigt 2007] .....	71
Abbildung 3-27: Beispiel einer Skalenfrage des Onlinefragebogens .....	73
Abbildung 3-28: Verteilung der Teilnehmer nach Unternehmenszugehörigkeit	75
Abbildung 3-29: Verteilung der Teilnehmer nach Standortgröße.....	76
Abbildung 3-30: Verteilung der Teilnehmer nach Unternehmensposition.....	76
Abbildung 3-31: Verteilung der Teilnehmer nach Unternehmensbereich .....	77
Abbildung 3-32: Vorteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts – logistische Faktoren .....	78
Abbildung 3-33: Vorteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts – produktionsrelevante Faktoren .....	79
Abbildung 3-34: Vorteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts – sonstige Faktoren .....	79

---

Abbildung 3-35: Nachteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts.....	80
Abbildung 3-36: Vor- und Nachteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts für OEMs .....	81
Abbildung 3-37: Vor- und Nachteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts für Zulieferer .....	82
Abbildung 3-38: Veränderungspotential in der Logistik aus Sicht der Vorstände und Geschäftsführer .....	85
Abbildung 3-39: Veränderungspotential in der Logistik aus Sicht der Mitarbeiter von Zulieferern .....	86
Abbildung 3-40: Veränderungspotential in der Logistik aus Sicht der Mitarbeiter von OEMs (1) .....	87
Abbildung 3-41: Veränderungspotential in der Logistik aus Sicht der Mitarbeiter von OEMs (2) .....	88
Abbildung 3-42: Veränderungspotentiale in der Produktion .....	89
Abbildung 3-43: Veränderungspotentiale in der Beschaffung.....	90
Abbildung 3-44: Veränderungspotentiale in der Distribution und dem Vertrieb aus Sicht der Mitarbeiter von OEMs .....	92
Abbildung 3-45: Veränderungspotentiale in der Distribution und dem Vertrieb aus Sicht der Mitarbeiter von Zulieferern.....	92
Abbildung 3-46: Qualitative Übersicht über die Potentiale eines Auftragsreihenfolgenkonzepts [Günthner 2007b] .....	94
Abbildung 4-1: Funktionen der PPS (in Anlehnung an [Hackstein 1984]).....	98
Abbildung 4-2: Modell der Fertigungssteuerung [Lödding 2005] .....	99
Abbildung 4-3: Klassifikation von Prioritätsregeln (in Anlehnung an [Käschel 2004]) .....	102
Abbildung 4-4: Ziele der Produktionslogistik [Wiendahl 2005] .....	106
Abbildung 4-5: Durchlaufzeit-Verteilung und zugehörige Kennzahlen (schematisch) [Meißner 2009] .....	108
Abbildung 4-6: Bestimmung der Reihenfolgenabweichung (RFA) [Meißner 2009a] .....	112
Abbildung 4-7: Beispiel zur Berechnung der Reihenfolgenabweichung [Meißner 2009a] .....	113
Abbildung 4-8: Technischer Regelkreis (in Anlehnung an [Wiendahl 1993])	115

Abbildung 4-9: Produktionslogistischer Regelkreis (in Anlehnung an [Wiendahl 1993]) .....	115
Abbildung 4-10: Stell- und Regelgrößen einer flussorientierten Strategie [Wiendahl 2002] .....	117
Abbildung 4-11: Systematisierung der Fertigungssteuerungsprinzipien (in Erweiterung zu [Wiendahl 1999]) .....	121
Abbildung 4-12: Funktionsweise der MRP-Steuerung mit Auftragsfreigabe nach Termin .....	123
Abbildung 4-13: Funktionsweise der Kanbansteuerung .....	126
Abbildung 4-14: Funktionsweise der Fortschrittszahlensteuerung .....	127
Abbildung 4-15: Funktionsweise der BS-Steuerung .....	129
Abbildung 4-16: Funktionsweise der CONWIP-Steuerung .....	132
Abbildung 4-17: Funktionsweise der Engpasssteuerung.....	135
Abbildung 4-18: Funktionsweise der Polca-Steuerung.....	137
Abbildung 4-19: Funktionsweise der DBF-Steuerung.....	138
Abbildung 4-20: Funktionsweise der Kanban-CONWIP-Steuerung.....	143
Abbildung 4-21: Systematik der Planung in einer Variantenfließfertigung [Boysen 2005] .....	146
Abbildung 4-22: Originäres Perlenkettenprinzip .....	150
Abbildung 4-23: Modifiziertes Perlenkettenprinzip.....	151
Abbildung 4-24: Prinzip der flexiblen Auftragszuordnung – Terminsteuerung	153
Abbildung 4-25: Prinzip der flexiblen Auftragszuordnung – Mengensteuerung	154
Abbildung 4-26: Prinzip der flexiblen Auftragszuordnung – GAF.....	154
Abbildung 5-1: Oberstes Ziel: Reduzierung der Auftragsdurchlaufzeit [Ohno 1978] .....	159
Abbildung 5-2: TPS-Haus (in Anlehnung an [o. V. 2003b]) .....	160
Abbildung 5-3: Prinzipien des Lean-Managements [Pfeiffer 1994] .....	165
Abbildung 5-4: Wichtige Symbole der Wertstromanalyse [Bauer 2008] .....	175
Abbildung 5-5: Exemplarischer Ist-Wertstrom [Meißner 2009a] .....	176
Abbildung 5-6: Prozesssynchronisation (in Anlehnung an [Bauer 2008]) .....	178
Abbildung 5-7: Merkmale einer schlanken Produktion.....	181

---

Abbildung 5-8: Merkmale einer schlanken Produktionssteuerung (Primär-Merkmale) .....	185
Abbildung 6-1: Konfiguration der Fertigungssteuerung nach Lödning [Lödning 2005] .....	193
Abbildung 6-2: Methodisches Vorgehensmodell zur Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung (in Erweiterung zu [Lödning 2005]) .....	194
Abbildung 6-3: Konfigurationsmodul Verfahrensauswahl – Auswahl des Auftragserzeugungsverfahrens .....	195
Abbildung 6-4: Ablauf der ABC-Analyse der Karosserievarianz ([Meißner 2009a] in Anlehnung an [Günthner 2007a]).....	196
Abbildung 6-5: Konfigurationsmodul Verfahrensauswahl .....	197
Abbildung 6-6: Vorgehensweise im Verfahrensauswahlprozess zur Überprüfung der Erfüllung der qualitativen und quantitativen Anforderungen.....	198
Abbildung 6-7: Verfahrensklassen der Auftragsfreigabe [Lödning 2005].....	200
Abbildung 6-8: Konfigurationsmodul Verfahrensparametrisierung .....	208
Abbildung 6-9: Konfigurationsmodul Verfahrensdurchsetzung .....	209
Abbildung 6-10: Konfigurationsmodul Verfahrensvalidierung .....	211
Abbildung 6-11: Extrakt aus dem Wertstromdiagramm zum untersuchten Karosseriebauprozess.....	216
Abbildung 6-12: Ergebnis der ABC-Analyse (grafisch) .....	223
Abbildung 6-13: Ergebnisse der Simulationsparameterstudie – Einflussfaktor Produktvarianz .....	254
Abbildung 6-14: Ergebnisse der Simulationsparameterstudie – Einflussfaktor Sicherheit .....	257
Abbildung 6-15: Ergebnisse der Simulationsparameterstudie – Einflussfaktor Nivellierung.....	263
Abbildung 6-16: Ergebnisse der Simulationsparameterstudie – Optimalkonfiguration.....	266

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Steuerungsrelevante Fertigungsmerkmale der Automobilproduktion (in Anlehnung an [Lödding 2005]) .....	17
Tabelle 3-1:	Kostentreiber bei Umsetzung von Auftragsreihenfolgenkonzepten [Günthner 2007b] .....	58
Tabelle 4-1:	Güte von Prioritätsregeln [Käschel 2004] .....	104
Tabelle 4-2:	Zuordnung ausgewählter Reihenfolgenregeln zur primären logistischen Zielgröße [Lödding 2005] .....	105
Tabelle 4-3:	Systematisierung der Fertigungssteuerungsverfahren (in Erweiterung zu [Lödding 2005] und [Wiendahl 2002]) .....	141
Tabelle 5-1:	Vergleich zweier Automobilwerke [Womack 1992] .....	158
Tabelle 5-2:	Darstellung der Relevanz der Prozessmerkmale für die Produktionssteuerung und Zuordnung zum Merkmalstyp ....	185
Tabelle 5-3:	Prinzipien und Methoden der Umsetzung der stabilen Auftragsfolge in der Produktion (in Erweiterung zu [Günthner 2007b]) .....	187
Tabelle 5-4:	Vergleich der Zielrichtungen der Prinzipien zur Umsetzung einer stabilen Auftragsfolge in der Produktion mit den Merkmalen einer schlanken Produktionssteuerung .....	188
Tabelle 6-1:	Verfahrensparameter nach Aufgaben und Verfahren der Fertigungssteuerung .....	205
Tabelle 6-2:	Steuerungsrelevante Fertigungsmerkmale des untersuchten Automobil-PP .....	215
Tabelle 6-3:	Übersicht über die Fertigungsparameter aus Wertstromdiagramm .....	219
Tabelle 6-4:	Übersicht über die Variantenparameter aus Wertstromdiagramm .....	221
Tabelle 6-5:	Ergebnis der ABC-Analyse (tabellarisch) .....	222
Tabelle 6-6:	Ausgangssituation der Erreichung der logistischen Zielgrößen im untersuchten Karosseriebauprozess .....	223
Tabelle 6-7:	Logistische Zielgrößen im untersuchten Prozess .....	224
Tabelle 6-8:	Ergebnis der Verfahrensparametrisierung hinsichtlich der Bestände im Kanban-CONWIP-System .....	242
Tabelle 6-9:	Mögliche Umsetzungsszenarien für die Konfiguration der Produktionssteuerung .....	244

Tabelle 6-10:	Durchlaufzeit-Parameter für die Null-Konfiguration P1S1E1	248
Tabelle 6-11:	Bestände für die Null-Konfiguration P1S1E1 .....	248
Tabelle 6-12:	Ergebnis für die Null-Konfiguration P1S1E1 .....	249
Tabelle 6-13:	Bestände für das Umsetzungsszenario P2S1E1 .....	250
Tabelle 6-14:	Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P2S1E1 .....	250
Tabelle 6-15:	Bestände für das Umsetzungsszenario P3S1E1 .....	251
Tabelle 6-16:	Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S1E1 .....	251
Tabelle 6-17:	Bestände für das Umsetzungsszenario P4S1E1 .....	252
Tabelle 6-18:	Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P4S1E1 .....	252
Tabelle 6-19:	Bestände für das Umsetzungsszenario P5S1E1 .....	253
Tabelle 6-20:	Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P5S1E1 .....	253
Tabelle 6-21:	Durchlaufzeit-Parameter für das Umsetzungsszenario P3S2E1255	
Tabelle 6-22:	Bestände für das Umsetzungsszenario P3S2E1 .....	255
Tabelle 6-23:	Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S2E1 .....	255
Tabelle 6-24:	Durchlaufzeit-Parameter für das Umsetzungsszenario P3S3E1256	
Tabelle 6-25:	Bestände für das Umsetzungsszenario P3S3E1 .....	256
Tabelle 6-26:	Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S3E1 .....	257
Tabelle 6-27:	Bestände für das Umsetzungsszenario P3S2E2 .....	259
Tabelle 6-28:	Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S2E2 .....	259
Tabelle 6-29:	Ergebnis einer Push-Steuerung mit Resortierpuffer .....	260
Tabelle 6-30:	Bestände für das Umsetzungsszenario P3S3E2 .....	261
Tabelle 6-31:	Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S3E2 .....	261
Tabelle 6-32:	Bestände für das Umsetzungsszenario P3S4E2 .....	262
Tabelle 6-33:	Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S4E2 .....	262
Tabelle 6-34:	Bestände für das Umsetzungsszenario P4S4E2 .....	263
Tabelle 6-35:	Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S4E2 .....	264
Tabelle 6-36:	Bestände für das Umsetzungsszenario P5S4E2 .....	265
Tabelle 6-37:	Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P5S4E2 .....	265

# Abkürzungsverzeichnis

APICS	American Production and Inventory Control Society
AZZO	auftragszentrierte Zuordnung
BOA	belastungsorientierte Auftragsfreigabe
BS	Base Stock
BTO	Built-to-Order
BTS	Built-to-Stock
CKD	Completely knocked down (Versand von Fahrzeugbausätzen)
CONWIP	Constant Work In Process
DBF	Dezentrale bestandsorientierte Fertigungsregelung
DBR	Drum-Buffer-Rope
DDATE	Earliest Due Date
DLZ	Durchlaufzeit(en)
EDI	Electronic Data Interchange (elektronischer Datenaustausch)
FAB	Feinabruf
FASFS	First Arrived at Shop, First Served
FCFS	First Come, First Served
FIFO	First In, First Out
FZ	Fortschrittszahl
FZZO	fahrzeugzentrierte Auftragszuordnung
GAE	Gesamtanlageneffektivität
GAF	gestufte Auftragsfreigabe
Gl.	Gleichung
IMVP	International Motor Vehicle Program
IT	Informationstechnik
JIS	Just-in-Sequence (sequenzgenau)
JIT	Just-in-Time (zeitpunktgenau)
KAP	Kundenauftragsprozess
KOVP	kundenorientierter Vertriebs- und Produktionsprozess
KOZ	kürzeste Operationszeit
KVP	kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LAB	Lieferabruf(e)
LOZ	längste Operationszeit
LPT	Longest Processing Time (LOZ)
Max	Maximum
Min	Minimum

MRP	Material Requirements Planning (Materialbedarfsplanung)
MTM	Methods-Time Measurement (Methodenzeitmessung)
MTTR	Mean Time to Repair (durchschnittliche Instandsetzungsdauer)
OEE	Overall Equipment Effectiveness (siehe GAE)
OEM	Original Equipment Manufacturer (Originalteilehersteller)
OPT	Optimized Production Technology
o. V.	ohne Verfasserangabe
PAB	Produktionssynchroner Abruf
PAC	Production Authorization Card
PEP	Produktentstehungsprozess
Polca	Paired-Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization
PPS	Produktionsplanung und –steuerung
QS	Qualitätssicherung
RFA	Reihenfolgenabweichung(en)
RFE	Reihenfolgeneinhaltung
RR	Reihenfolgenrückstand
RS	Rückstand
SLACK	Least Slack Time Remaining (Schlupfzeit)
SPSS	Statistical Product and Service Solution
SPT	Shortest Processing Time (KOZ)
TOC	Theory of Constraints
TPM	Total Productive Maintenance
TPS	Toyota-Produktionssystem
WINQ	Will go on for Its Next operation to the Queue with the least work
WIP	Work in process (Umlaufbestand)
WIP-Cap	Umlaufbestandsdeckelung/-beschränkung
XWINQ	Will go on for Its Next operation to the Queue with the least work, both present and expected
ZP	Zählpunkt(e)
ZZ	Zykluszeit(en)



# 1 Einleitung

Im Zuge der industriellen Revolution vom 18. bis zum 19. Jahrhundert konnte die handwerkliche Produktion den Anforderungen des Markts nicht mehr gerecht werden. Mit der Erfindung der Dampfmaschine mechanisierte sich die Handarbeit, aus Manufakturen entwickelten sich Fabriken, und neue Produktionsweisen, wie z. B. die Fließbandfertigung, wurden benötigt. Unermüdliche präzise arbeitende Maschinen traten an die Stelle menschlicher Fertigkeiten.

„Vom Bau des ersten Wagens an gerechnet brauchten wir annähernd 30 Jahre, um eine Million Wagen herzustellen – der millionste wurde am 10. Dezember 1915 fertiggestellt. Am 28. Mai 1921 brachten wir das fünfmillionste Auto heraus; am 4. Juni 1924 vollendeten wir unseren zehnmillionsten Wagen. In diesem Zeitraum haben wir unseren Mindestlohn von 2,40 Dollar pro Tag auf 6,00 Dollar gesteigert, gleichzeitig wurden unsere Autos um 40 % billiger“ [Ford 1928].

Wirtschaftsgeschichtlich betrachtet ist dies auch heute noch der Antrieb für Unternehmen und Mitarbeiter. Auch wenn sich Rahmenbedingungen und Differenzierungsmöglichkeiten der Automobilhersteller stetig verändern, bleibt eines gleich: Über Veränderungen der Herstellweise von Gütern werden Rationalisierungs- und damit Kostenpotentiale angehoben. Aufgrund von Produktivitätssteigerungen sind unter der Maxime einer Gewinnmaximierung Preissenkungen und Lohnanpassungen möglich.

Ein rationelles Produktionssystem bildet keine hinreichende, aber eine notwendige Voraussetzung für eine Konsumgesellschaft. Die durch Rationalisierung und Massenproduktion bewirkten Produktivitätssteigerungen erweitern die Spielräume der Unternehmen, die Preise der Produkte zu senken, Gewinne und Löhne zu erhöhen oder die Arbeitszeiten zu reduzieren. Auf diese Weise kann eine Wachstumsspirale entstehen [König 2009].

Somit entstand und besteht künftig ein Bedarf an Systemen, die den Produktionsprozess möglichst effizient gestalten. Die Automobilindustrie hat mit ihren revolutionären Umstrukturierungen die Grundkonzepte der Produktionsprozesse bereits zweimal grundlegend verändert. Die erste Revolution war die Massenproduktion nach Ford, wie oben geschildert, und die zweite die schlanke Produktion der Toyota Motor Corporation. In den 1990er Jahren setzten sich, vom japanischen Ursprung ausgehend, Produktionssysteme auch in Europa durch. Dabei ist ein Trend zu unternehmensindividuellen Produktionssystemen zu

beobachten, wobei nahezu immer Kernelemente des schlanken Ur-TPS enthalten sind [Clark 2005].

Wenn jeder Produktionsprozess und jede Organisationseinheit lokale Effizienzsteigerungen ohne Rücksicht auf den gesamten Prozess zu erzielen versuchen, können an den Prozessschnittstellen Wertschöpfungsverluste in Form von Lagerbeständen, Wartezeiten oder Transport entstehen. Das Gesamtoptimum wird dadurch erreicht, dass die einzelnen Arbeitsgänge als Gesamtheit betrachtet werden, so dass eine Verringerung der Produktivität oder Rentabilität vermieden werden kann. Dabei bestehen grundsätzliche Unterschiede in der Fokussierung und der Vorgehensweise der europäischen oder US-amerikanischen Produktionssysteme im Vergleich zum japanischen System, was auf die historische Entwicklung zurückzuführen ist.

Bei allen Gestaltungsweisen ist gleich, dass Neuerungen in den Produktionssystemen vor allem den Bereich der Produktionslogistik betreffen. Denn „sich verändernde Marktbedingungen führen zunehmend zu einer logistik- und kundenorientierten Umgestaltung der Prozesslandschaft“ [Spath 2001], woran insbesondere die Produktionssteuerungskonzepte angepasst werden müssen.

Durch die Integration externer Wertschöpfung in die Automobilproduktion und die notwendige enge Verzahnung von Produktions- und Versorgungsprozessen ergibt sich ein umfangreiches und komplexes Zusammenspiel, das die Bedeutung der Logistik, die für die Steuerung und Durchführung der Informations- und Materialflüsse verantwortlich ist, weiter vergrößert. Die logistische Leistung ist dementsprechend ein entscheidender Erfolgsfaktor, der einen deutlichen Beitrag zum Unternehmenswert leistet [Wildemann 2004]. Die Produktionssteuerung gilt dabei als Stellhebel zur Umsetzung effizienter Produktionen.

### **1.1 Problemstellung und Zielsetzung**

Ein Trend, der in den letzten Jahren immer deutlicher in den Vordergrund gerückt ist, ist die Entwicklung der logistischen Kompetenz zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor für die Erreichung der Kundenzufriedenheit. Damit wird den gestiegenen Anforderungen des Markts, insbesondere im Premiumsegment begegnet. Neben dem Angebot an maßgeschneiderten, individuellen Produktvarianten und Serviceleistungen erfordert dies Lieferfähigkeit bei kurzen Auftragsdurchlaufzeiten, die Termintreue und Flexibilität bei kurzfristigen Änderungswünschen (vgl. z. B. [Krog 2006], [Schuberthan 2007], [Mößmer 2007]).

Diese Anforderungen erfordern, im gesamten Kundenauftragsprozess den Fokus auf determinierte Durchlaufzeit zu legen, weshalb Turbulenzen im Produktionssystem vermieden oder beherrscht werden müssen [Reinhart 1999]. In Verbindung mit dem Ziel, weitere Kostenpotentiale in der Supply Chain zu heben, bedingt dies die Notwendigkeit eines stabilen OEM-Wertschöpfungsprozesses durch Festlegung fixer Planungshorizonte zur Synchronisation aller Materialflüsse. Das Konzept der stabilen Auftragsfolge fasst dabei unterschiedliche Produktionssteuerungskonzepte zusammen, deren gemeinsames Ziel es ist, bereits mehrere Tage vor dem Endmontagestart die Produktionsreihenfolge beim OEM festzulegen und an alle Prozessbeteiligten des Wertschöpfungsnetzes, insbesondere die Zulieferer weiterzugeben.

Ein Blick auf die Automobilindustrie zeigt, dass trotz großer Anstrengungen nach wie vor Schwierigkeiten bei der Stabilisierung des komplexen Produktionsprozesses vorliegen [Meißner 2009]. Die heutigen Ziele der meisten Automobilfabriken bestehen darin, ein möglichst großes Produktionsvolumen bei maximaler Kapazitätsauslastung fertigen zu können. Vorhandene Umsetzungsprinzipien des Konzepts der stabilen Auftragsfolge scheinen innerhalb dieser Umgebungen nur sehr bedingt tauglich, da es innerhalb des komplexen Wertschöpfungsnetzwerks der Fahrzeugindustrie immer wieder zu Verwirbelungen der Reihenfolge kommt.

Insbesondere liegt der durchschnittliche Anteil der Fahrzeuge, die eine Fabrik ohne Nacharbeit oder Prozesswiederholung durchlaufen, nach einer Studie bei nur 60–70 % [Holweg 2005]. Die Konsequenzen daraus sind hohe Fahrzeugumlaufbestände, ein enormer Steuerungsaufwand und eine signifikante Erhöhung der Auftragsdurchlaufzeiten. Verletzungen der fixierten und mit dem Wertschöpfungsnetz kommunizierten Auftragsfolge müssen durch investitionsintensive Sequenzrichter im Produktionsprozess in Form von Karosenspeichern und im Versorgungsprozess durch Teileresequenzierung ausgeglichen werden.

Dadurch kann zwar eine stabile Versorgung aus dem logistischen Wertschöpfungsnetzwerk sichergestellt werden, allerdings wird diese erkauft durch eine weitere Erhöhung der Sicherheitsbestände und damit einhergehend hohe Durchlaufzeiten. Zudem droht letztlich eine Verfehlung des dem Kunden zugesagten Liefertermins. Mögliche Potentiale können durch solche und andere Kostenrisiken schnell egalisiert werden.

Um negative Einflussfaktoren für eine Auftragsfolge als Auslöser von Verwirbelungen wirkungsvoll beherrschen und die Produktionsdurchlaufzeit stabilisieren zu können, bedarf es neuer innovativer Konzepte zur

- Optimierung der Strukturen der Materialflüsse und
- Optimierung der Steuerung der Prozesse.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich bei der Zielsetzung auf die Betrachtung der logistischen Aufgaben innerhalb des Automobilproduktionsflusses und unterfällt dem Bereich der Produktionslogistik. Diese umfasst die Aufgaben der Planung, Durchführung und Überwachung der innerbetrieblichen Material- und Informationsflüsse von der Einplanung der Aufträge in die Fabrik bis zur Fertigstellung des Endprodukts und Übergabe an die Distributionslogistik [Arnold 2008]. Das Konzept der stabilen Auftragsfolge als Kern der Arbeit fokussiert sich dabei auf die Optimierung des Kundenauftragsprozess bei Automobilen durch eine Stabilisierung der Produktionslogistik.

Elementar für die Praxis und wissenschaftlich bisher nicht untersucht ist die Fragestellung, welche Potentiale sich durch den Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts tatsächlich ergeben und ob diese die möglichen Risiken übersteigen. Aufgrund der Komplexität der Wertschöpfungsnetzwerke bei Automobilen und der unterschiedlichen Ausprägungen der Produktions- und Zulieferkette gestaltet sich eine allgemeingültige quantitative (kostenmäßige) Bewertung zurzeit schwierig.

Ein Teilziel dieser Arbeit ist es, Möglichkeiten hierzu zur Verfügung zu stellen, die Chancen eines Auftragsreihenfolgenkonzepts qualitativ zu bewerten, diese Bewertung durch eine empirische Fundamentierung zu objektivieren und darauf aufbauend ein theoretisches Bewertungsmodell zur monetären Quantifizierung von Potentialen an die Hand zu geben.

Um das Ziel einer stabilen Auftragsfolge in der Endmontage zu erreichen, müssen die negativen Einflussfaktoren für die operative Auftragsfolge minimiert oder eliminiert werden. Insbesondere müssen Maßnahmen zur Bekämpfung von Ursachen sowie unvermeidlichen Folgen und Auswirkungen ergriffen werden.

Außerhalb des Betrachtungsbereichs liegen Untersuchungen, inwiefern Strategien, Prinzipien und Methoden der Optimierung von Fertigungsprozessen hinsichtlich einer Stabilisierung von Auftragsfolgen z. B. in der Lean-Production einen Beitrag

leisten können. Des Weiteren fokussiert sich die vorliegende Arbeit auf den Steuerungsteil der PPS und beleuchtet deshalb die Prozesse der Produktionsplanung zur Gestaltung stabiler Auftragsreihenfolgen nur an den Schnittstellen zur operativen Abwicklung.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, unter den Rahmenbedingungen einer Automobil-Variantenfließfertigung, den Anforderungen aus dem Lean-Management an schlanke Prozesse und die produktionslogistischen Zielgrößen gemäß, insbesondere denen der Reihenfolgenstabilität eine ganzheitliche Methodik zur situativen Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung zur Stabilisierung von Auftragsfolgen zu entwickeln. Dafür ist die Definition der schlanken Produktionssteuerung durch Festlegung von Selektions- und Entscheidungskriterien auf der Basis von Anforderungen notwendig. In dieser Arbeit soll ermittelt werden, welches Leistungsvermögen eine schlanke Produktionssteuerung zur Stabilisierung von Auftragsfolgen besitzt.

Zusammengefasst soll diese Arbeit neben der Bewertung von Chancen und Risiken eine methodengestützte Konzeption von der situativen Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung zur Stabilisierung von Auftragsfolgen in der Automobilfertigung aufzeigen.

## **1.2 Vorgehensweise und Aufbau**

Um die Ziele zu erreichen, wurde in dieser Arbeit ein Vorgehen wie in Abbildung 1-1 dargestellt gewählt. Die Erarbeitung des Ergebnisses erfolgt in fünf Schritten, denen jeweils ein Kapitel gewidmet ist.

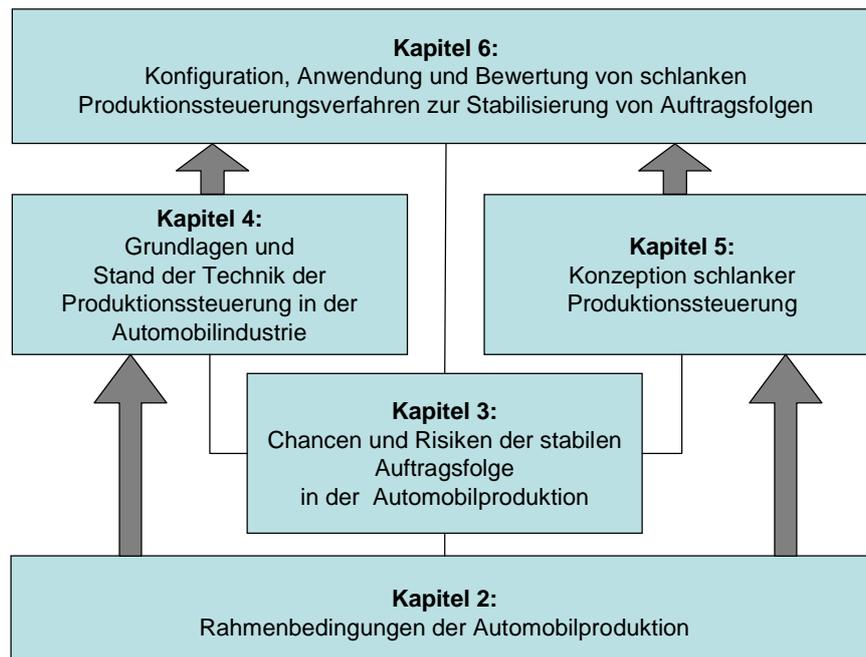


Abbildung 1-1: Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

In **Kapitel 2** werden die grundlegenden Rahmenbedingungen der Automobilproduktion beleuchtet. Hinsichtlich der Erarbeitung des Ergebnisses wird das Zielsystem „stabile Auftragsfolge“ beschrieben und werden die aktuellen Schwierigkeiten beim Erreichen erörtert.

Auf der grundsätzlichen Beschreibung des Untersuchungsobjekts „Automobilproduktion“ aufbauend werden in **Kapitel 3** die Chancen und Risiken einer stabilen Auftragsfolge untersucht. Hierbei fließen Erkenntnisse sowohl aus einer theoretischen als auch aus einer empirischen Analyse ein. Dieser Abschnitt bildet die Legitimation zur weiteren Erarbeitung des Ergebnisses.

**Kapitel 4** beinhaltet sowohl die theoretischen Grundlagen der Produktionssteuerung nach stabiler Auftragsfolge als auch deren praktische Umsetzung in der Automobilindustrie als Darstellung des „Status quo“. Die Basis für die Bewertung von Alternativen zur Produktionssteuerung bildet die Definition der für die Aufgabenstellung notwendigen Zielgrößen der PPS. Es erfolgt eine methodische Beschreibung von Fertigungssteuerungsverfahren und deren Systematisierung.

Um eine schlanke Produktionssteuerung zu entwerfen, gilt es, neben der notwendigen Begriffsdefinition und dem Stand der Forschung vor allem herauszuarbeiten, was „schlank“ für die Produktionssteuerung bedeutet. Dies

erfolgt in **Kapitel 5** anhand von Anforderungen an eine Lean-PPS. Diese Anforderungen bilden neben den Zielgrößen aus Kapitel 4 den Nukleus der Auswahl einer geeigneten Produktionssteuerungsalternative.

In **Kapitel 6** wird die Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung zur Umsetzung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts durchgeführt. Damit ein Unternehmen seine logistischen Ziele erreichen kann, genügt es nicht, auf einem Teilgebiet der Fertigungssteuerung herausragende Ergebnisse zu erzielen. Der Erfolg hängt davon ab, wie alle Anforderungen an die Fertigungssteuerung Berücksichtigung finden.

Dazu erfolgt die Beschreibung der entwickelten modulbasierten Konfigurationsmethodik zur situativen Auslegung der Produktionssteuerung einer Automobil-Variantenfließfertigung. Über die Anwendung, Validierung und Bewertung der Verfahrensauswahl sowie -parametrisierung werden die entwickelte Methodik zur Auswahl einer Konfiguration und die grundsätzliche Eignung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsreihenfolgen verifiziert.

Abschließend erfolgt in **Kapitel 7** eine Zusammenfassung der Arbeit und der erzielten Ergebnisse. Zudem wird ein Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf gegeben.

## 2 Rahmenbedingungen der Automobilproduktion

Zur Umsetzung neuer Konzepte in der Automobilproduktion ist die Kenntnis der Rahmenbedingungen essentiell. Auf der Beschreibung der wesentlichen Charakteristika der heutigen Fahrzeugproduktion in Abschnitt 2.1 aufbauend erfolgt in Abschnitt 2.2 ein Überblick der aktuellen Trends mit denen die OEM aktuell konfrontiert werden. Daraus werden in Abschnitt 2.3 die aktuellen und künftigen Anforderungen an die automobilen Wertschöpfung aus dem Blick der Steuerung abgeleitet. Die übergeordnete Zielsetzung der Automobilhersteller zur Stabilisierung von Auftragsfolgen wird in Abschnitt 2.4 erläutert. Abschnitt 2.5 zeigt die relevanten Störungen als für die Auftragsfolge negative Einflussfaktoren auf.

### 2.1 Charakteristika der Automobilproduktionsprozesse

Der Automobilen Produktionsprozess ist eingebettet in den Auftragsabwicklungsprozess, einem von drei Hauptprozessen der Automobilunternehmen. Der Kundenauftragsprozess als Kerngeschäftsprozess eines Fahrzeugherstellers umfasst hauptsächlich die Aufgabe der Kundenauftragsbearbeitung und den gesamten Auftragsabwicklungsprozess [Holweg 2001]. Er reicht als Kunde-Kunde-Prozess von der Kundenbestellung bis zur Auslieferung des Fahrzeugs an den Kunden [Weyer 2002].

Neben der Kundenzufriedenheit als dem übergeordneten Ziel des Kundenauftragsprozess gilt es vor allem, durch kurze, stabile DLZ die Liefertreue sicherzustellen. Nach einer Studie der Unternehmensberatung Droege International Group AG haben sich die Liefertreue und die Lieferzeit in der Automobilindustrie zu gleichwertigen Kaufkriterien neben dem Preis und der Produktqualität entwickelt [o. V. 2003a]. Ergänzt wird der Kundenauftragsprozess um den Produktentstehungs- und den Materialversorgungsprozess. Im Folgenden werden diese beiden Geschäftsprozesse kurz erläutert, bevor der Automobilen Produktionsprozess genauer spezifiziert wird.

Der **Produktentstehungsprozess (PEP)** in der Automobilindustrie umfasst die Aufgabenbereiche „strategische Produktplanung“, „Produktentwicklung“ und „Prozessentwicklung“ [Gausemeier 2001]. Der PEP ist dabei nicht als stringente Abfolge von Prozessschritten zu verstehen, sondern vielmehr als Wechselspiel nachfolgend aufgeführter Aufgaben [Schäppi 2005]. Die strategische Produktplanung charakterisiert das Vorgehen vom Finden von Erfolgspotentialen für die Zukunft bis zur erfolgsversprechenden Produktkonzeption. Die

Produktstrategie mündet in einen Geschäftsplan, der den Nachweis darüber erbringt, ob mit dem neuen Produkt ein attraktiver Return on Investment zu erzielen ist.

Hier werden die Grundlagen für Produktausprägungen in Form von Varianten gelegt, die in der Produktentwicklung eine konkrete Umsetzung finden. Über die Produktintegration erfolgt nach dem Entwurf und der Ausarbeitung die Verifizierung zu einem Gesamtsystem. Den Abschluss des PEPs bildet die Planung des Herstellprozesses mit dem Serienanlauf. In der Fertigungsplanung werden alle einmalig zu treffenden Maßnahmen zur Gestaltung eines Fertigungssystems und der darin stattfindenden Produktionsprozesse getroffen [Dangelmaier 1999].

Wegen der sehr materialintensiven konvergierenden Erzeugnisstruktur von Automobilen ist bei Zehntausenden von Kaufteilen auf der Beschaffungsseite ein vielstufiges Netz mehrerer hundert direkter und unzähliger weiterer indirekter Zulieferer zu koordinieren [Meyr 2004]. Störungen auf einzelnen Stufen des **Materialversorgungsprozesses** müssen zwingend abgesichert werden, meist durch mehrstufige Lagerhaltung. Dies ist dringend erforderlich, da Probleme bei der Zulieferung gravierende Folgen bis hin zum Stillstand ganzer Montagebänder nach sich ziehen können. Im Extremfall müssen deshalb auch teure Notmaßnahmen wie z. B. Expresslieferungen per Helikopter in Kauf genommen werden [Meyr 2004].

In aufwendigen SCM-Monitoring-Projekten und dem Engpassmanagement wird versucht, dies präventiv zu verhindern und Transparenz der Versorgungsketten zu schaffen. Um die OEM-Bedarfsorte zu versorgen, werden meist mehrere Zulieferkonzepte gleichzeitig genutzt. Voluminöse oder teure Kaufteile werden, soweit möglich, am Verbrauchstag direkt angeliefert (JIT), teilweise sogar direkt an die Linie, und in der Einbausequenz vorsortiert, die für die Montagelinien geplant ist (JIS).

Da der Zulieferradius für solche Waren wegen der Unsicherheiten nur gering sein kann, siedeln sich wichtige Lieferanten häufig in der Nähe der Hersteller in sogenannten Zulieferparks an, in denen diese die Vorprodukte herstellen oder zumindest endmontieren (vgl. z. B. [Meyr 2004] und [Schraft 2005]). Die restlichen Zulieferteile werden konventionell durch eine Lagerhaltung abgewickelt. Da hierbei relativ kleine Volumen in kurzen Zeitabständen über weite Entfernungen zu transportieren sind, sorgen zwischengeschaltete Spediteure (sogenannte Gebietsspediteure) für eine effiziente Bündelung des Warenstroms aus einem

bestimmten Zuliefergebiet [Meyr 2004]. Um eine ordnungsgemäße Materialversorgung sicherzustellen, sind heterogene IT-Landschaften notwendig.

Die Hersteller geben in der Regel bereits mittelfristig Lieferpläne für die nächste Planungsperiode (ca. sechs bis zwölf Monate) als Vorausschau an ihre Zulieferer weiter, um diese frühzeitig auf eventuelle Kapazitätsengpässe aufmerksam zu machen. Allerdings sind diese Lieferpläne mit relativ hohen Unsicherheiten behaftet, da die Fahrzeugausstattung zu diesem frühen Zeitpunkt nur sehr grob prognostiziert werden kann [Meyr 2004]. Auf der Basis der täglichen Produktionsprogramm- und Materialbedarfsplanung werden kurzfristige FAB mit einem Horizont von mehreren Tagen, ergänzt um eventuelle PAB, übermittelt. Diese bilden die Grundlage für die verbindlichen Materialabrufe.

Der **Produktionsprozess** vollzieht die Wertschöpfung bis zur Übergabe an die Distribution und umfasst vier Fertigungsstufen: Presswerk, Rohbau, Lackierung und Montage. Als Startpunkt für die Abwicklung im Werk werden die vom Vertrieb über die Absatzkanäle spezifizierten Aufträge für die Produktion eingeplant. Dieser Prozess ist der Produktionsplanung zugeordnet und wird in Abschnitt 4.1 genauer erläutert.

Im Presswerk werden die für die Fahrzeugkarosserie benötigten Blechteile auf Pressen gestanzt, geformt und meist durch eine zweistufige Lagerhaltung dem nachgelagerten Prozess bereitgestellt. Im Karosserierohbau entsteht durch hochautomatisierte Schweißroboter die Fahrzeugkarosse. Über Entkopplungspuffer werden diese Karossen dem Lackprozess zugeführt. An die Lackierung der Karossen auf mehrstufigen Lackstraßen schließt sich der Hauptproduktionsprozess, die Fahrzeugmontage, an. In der Endmontage werden die zwei maßgeblichen Materialströme aus dem Produktionsprozess und dem Materialversorgungsprozess zusammengeführt (siehe Abbildung 2-1).

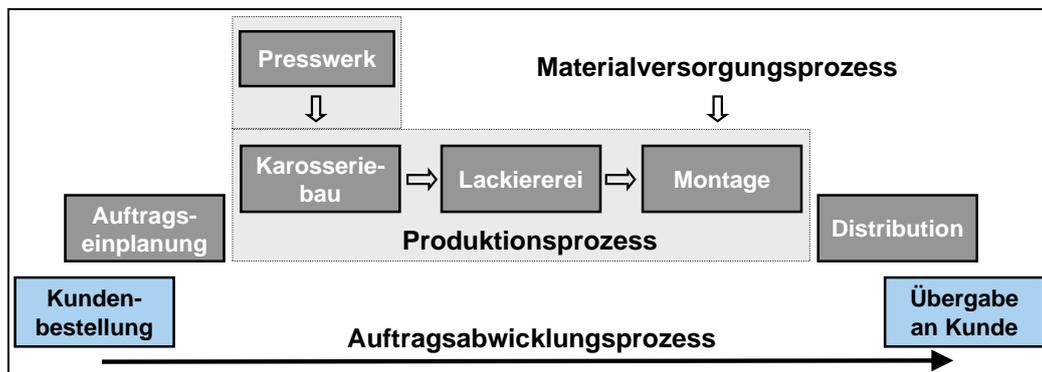


Abbildung 2-1: Auftragsabwicklungsprozess in der Automobilindustrie [Meißner 2009a]

Im Folgenden werden anhand der steuerungsrelevanten Fertigungsmerkmale nach Lödding die weiteren für die Zielsetzung dieser Arbeit wesentlichen Charakteristika der Automobilproduktion erörtert [Lödding 2005]. Tabelle 2-1 am Ende des Abschnitts zeigt die steuerungsrelevanten Merkmale und, grau hinterlegt, die spezifischen Ausprägungen.

Wiendahl ordnet die industriellen **Fertigungsprinzipien** nach ihrer räumlichen Struktur [Wiendahl 1997]. Er unterscheidet fünf Prinzipien Werkstätten-, Fließ-, Insel-, Baustellen- und Werkbankfertigung. In der Automobilproduktion werden die Arbeitssysteme nach dem Materialfluss der zu fertigenden Varianten angeordnet, den Produktionslinien, die auf allen Fertigungsstufen vorzufinden sind. Dabei werden die Karossen nach dem Arbeitsschritt direkt zum nächsten Arbeitssystem transportiert. Die Taktzeit der einzelnen Arbeitssysteme sind in der Regel aufeinander abgestimmt.

In (Rohbau und) Montage der Automobilproduktion herrscht auf jeweils einer oder mehreren Produktionslinien Linienfertigung vor. Jede Linie umfasst eine hohe Anzahl seriell miteinander verbundener Arbeitsstationen, zwischen denen Autos mit einer fest vorgegebenen Bandgeschwindigkeit weitertransportiert werden [Meyr 2004]. Die Automobilfertigung folgt demnach dem Fließprinzip variantenreicher Produkte. Nachdem in der Fließproduktion meist nur eine eng begrenzte Variantenanzahl hergestellt werden kann, wurde hierfür der Begriff der **Variantenfließfertigung** geprägt (vgl. z. B. [Decker 1993], [Boysen 2005]). Die Variantenfließfertigung erweitert die klassische Fließfertigung dergestalt, dass im Fließsystem auch viele Varianten eines Grundprodukts in Reihenfolge abgewickelt werden können.

Hinsichtlich der **Fertigungsart** wird in der Literatur nach der durchschnittlichen Auflagenhöhe (Produktionslosgröße) und der Wiederholhäufigkeit klassifiziert. Es werden vier Fertigungsarten unterschieden: Einzel-, Kleinserien-, Serien- und Massenfertigung. In Bezug auf die **Art der Auftragsauslösung** wird nach Auftrags- und Lagerfertiger segmentiert. Ein Fahrzeughersteller bietet mehrere Serien an („Serienproduktion“), die sich z. B. in den Merkmalen „Karosserievariante“ (Kombi, Cabrio etc.), „Modell“ (verschiedene Motoren- und Getriebearten) und „Ausstattung“ teils länderspezifisch unterscheiden können [Meyr 2004].

Zurzeit wird von den deutschen Automobilherstellern insbesondere im Premiumsegment die **kundenauftragsbezogene Produktion** nach der sogenannten BTO-Strategie angestrebt, da eine Produktion der variantenreichen Produkte aufgrund von Prognosen nicht möglich ist (vgl. z. B. [Holweg 2001], [Meyr 2004]). Mithilfe dieser Strategie kann das Konzept der Mass Customization realisiert werden (vgl. z. B. [Piller 1998], [Alford 2000]).

Diese **individualisierte Massenproduktion**, also die Herstellung kundenindividueller Produkte in großen Stückzahlen, steht der klassischen Lagerproduktion gegenüber, die eine sogenannte BTS-Strategie verfolgt. In der Praxis treten beide Verfahren kombiniert auf. Auf der Grundlage von Verkaufsprognosen werden Händleraufträge erzeugt (BTS), die, wenn ein entsprechender Kundenauftrag eintrifft, diesem mit etwaigen Änderungen der Ausstattungsoptionen zugeordnet werden (BTO). So erhöht sich im Zeitverlauf sukzessive der Anteil „echter“ Kundenaufträge am Produktionsvolumen, während der BTS-Anteil entsprechend sinkt [Meyr 2004].

Die **Art des Teileflusses** hat einen herausragenden Einfluss auf die Bestände und die DLZ einer Fertigung [Lödding 2005]. Dabei wird unterschieden zwischen losweisem Transport, Einzelstückfluss (**One-Piece-Flow**), dem logistischen Idealfall, der überlappten Fertigung und der Chargenfertigung. Wie für die Fließfertigung charakteristisch wird die Karosserie nach der Bearbeitung unmittelbar zum nächsten Arbeitssystem transportiert (One-Piece-Flow). Unterbrochen wird dies allerdings bei entkoppelten Fertigungsabschnitten häufig durch Puffer. In der Literatur wird deshalb von sogenannten One-Piece-Flow-Strecken gesprochen.

Begründet liegt dies in unterschiedlichen Taktzeiten und Verfügbarkeiten der aufeinanderfolgenden Arbeitssysteme. Die Umsetzung des One-Piece-Flow-Prinzips in den Arbeitssystem-Strecken der Automobilindustrie ist nicht mit der

Aufhebung der Fertigungslose zur Vermeidung von Rüstvorgängen verbunden. Im automobilen Wertschöpfungsprozess vor allem in Decklackprozessen über eine Farbblockbildung vorzufinden. Begründet liegt dies in den Farbwechselkosten und den Qualitätseinbußen bei einer Einzelstücklackierung [Herold 2004].

Die **Varietanzahl** einer Fertigung ist ein mit Blick auf die Fertigungssteuerung ebenfalls zu erörterndes Merkmal. Je mehr Varianten zu steuern sind, umso komplexer gestaltet sich das Aufgabengebiet der Produktionssteuerung. In der Automobilindustrie geht die Tendenz hin zu kundenindividuellen Produkten. So sind allein bei der 5er-Baureihe der BMW AG rechnerisch über  $10^{17}$  verschiedene Varianten bestellbar, die noch kurzfristig geändert werden können [Reithofer 2005], wobei ein Fahrzeug aus 18.000–20.000 zum Teil individuell konfigurierbaren Einzelteilen bestehen kann [Günthner 2006].

Die Anzahl muss hinsichtlich der Varianz in interne und externe Produktvarianz unterschieden werden. Die interne Produktvarianz beeinflusst über die Anzahl zu verwaltender und versorgender Materialien direkt die Komplexität der logistischen Prozesse. Die externe Produktvarianz wie Fahrzeugtypen, Farben und Ausstattungsoptionen ist letztlich das Angebot an Auswahlmöglichkeiten für den Kunden. Beide Varianzausprägungen sind in der Automobilproduktion als **sehr hoch** einzustufen.

Für die Steuerung der Automobilproduktion ist entscheidend, inwieweit sich die Variantenvielfalt auf der Erzeugnisebene auf die Fertigung auswirkt. Neben der Erhöhung der JIS-Belieferungs-Anteile ist es das Bestreben einiger Automobilhersteller, sofern keine Reduzierung der internen Varianz durch Gleichteile- oder Plattformstrategien möglich ist, die Varianten möglichst zu einem späten Zeitpunkt im Produktionsprozess zu bilden. Die sogenannte Postponement-Strategie zielt darauf ab, dass bestimmte diese Differenzierung erzeugende Operationen möglichst spät erfolgen, so dass Risiko- und Unsicherheitskosten minimiert werden können [Bucklin 1965]. Um Risiken und Unsicherheiten zu minimieren, kann die Zuordnung des Auftrags zum zu produzierendem Fahrzeug zunächst temporär sein, so dass der Kundenauftrag erst zu einem späteren Zeitpunkt der Auftragsabwicklung einer Karosserie endgültig zugewiesen wird [Meyr 2004]. Die unterschiedlichen Umsetzungen in der Automobilindustrie werden in Abschnitt 4.4.2.2 beschrieben.

In der Praxis werden die unterschiedlichen Ansätze der Hersteller aus der Anzahl der Karosserievarianten deutlich. Während einige Hersteller die Produktvarianz erst in der Montage erzeugen, entsteht bei anderen bereits im Karosseriebau eine große Variantenvielfalt. Dabei schwankt die Anzahl der Karosserievarianten zwischen den Herstellern erheblich. Rohkarosserien können je nach Modell und Hersteller im gleichen Segment von unter 10 bis über 200 Varianten haben [Meißner 2009a]. Die Permutation der angebotenen Farben ergibt in einzelnen Beispielen verschiedener Fahrzeugklassen von 4 bis über 2.400 Varianten lackierter Karosserien [Holweg 2004].

Während sich Modelle mit oder ohne Schiebedach und die Anzahl der Türen auch unmittelbar in der externen Varianz niederschlagen, sind viele Karosserievarianten für den Kunden nicht sichtbar. Denn um Ausstattungsoptionen wie unterschiedliche Motoren, Rechts- oder Linkslenker oder mit oder ohne Klimaanlage anbieten zu können, finden einige Hersteller auch Lösungen, ohne die Karosserievarianz zu erhöhen, wohingegen andere für jede Konfiguration eine eigene Karosserie aufbauen. Eine Korrelation zwischen der Anzahl der Karosserietypen und der angebotenen externen Varianz ist dementsprechend nicht erkennbar [Holweg 2004].

Eng mit der Variantenzahl verknüpft ist die **Komplexität des Materialflusses**. Sie hängt zum einen von der Anzahl der möglichen Vorgänger und Nachfolger eines Arbeitssystems ab. Zum anderen steigt diese mit der Anzahl der Rückflüsse im Materialfluss [Lödding 2005]. Rückflüsse sind in der Fahrzeugproduktion trotz der Linienfertigung häufig vorzufinden. So führen Ausschleusungen aufgrund von Nacharbeit im Lackprozess bei schwerwiegenden Fehlern zu erneutem Lackieren der Karosserie (sogenannter Mehrfachlackierung). Der Anteil solcher Mehrfachlackierungen hängt beträchtlich von der aufzutragenden Farbe ab [Herold 2004].

In Bezug auf die Anzahl der Vorgänger und Nachfolger ist das Bild der Fahrzeugfertigung differenziert. Einzig in der Endmontage ist von einer sehr niedrigen Materialflusskomplexität zu sprechen, da jede Montagestation in der Regel nur einen Vorgänger und einen Nachfolger besitzt. Auf den anderen Fertigungsstufen und im Montage-Finish-Bereich mit den Qualitätsprüfungen verhält sich dies anders. Aufgrund der steigenden Anzahl von Fahrzeugderivaten innerhalb einer Modellreihe (Limousine, Kombi, Cabrio, Sport Utility Vehicle etc.) sehen sich die OEMs gezwungen, Mehrproduktlinien zu installieren.

Da diese Fahrzeugderivate zum Teil aber sehr unterschiedliche Fertigungsinhalte besitzen, werden Prozessschritte, die gegenüber den Hauptprodukten unterschiedliche Taktzeiten aufweisen, in Nebenstationen implementiert. Häufig können Linien dediziert nur für eine Serie genutzt werden. Aus Flexibilitätsgründen werden seltener auch (teurere) Linien installiert, auf denen mehrere Serien laufen können [Meyr 2004].

Im Lackprozess kann dies aufgrund neuer Farbtechnologien sogar zu komplett neuen Fertigungsstraßen führen. Nachdem sich diese „Nebenlinien“ zu unterschiedlichen Zeitpunkten letztlich wieder mit dem Hauptfluss vereinigen, haben viele Arbeitssysteme in der Automobilfertigung mehr als einen Vorgänger und Nachfolger. Demzufolge kann man in der Fahrzeugproduktion von einer **mittleren bis hohen** Materialflusskomplexität sprechen.

In der Regel fragen die Kunden die Produkte eines Unternehmens ungleichmäßig nach, so dass Bedarfsraten-Schwankungen entstehen. In einer Lagerfertigung müssen die **Kundenbedarfsschwankungen** zur Gewährleistung eines gleichmäßig hohen Servicegrades über den Sicherheitsbestand abgepuffert werden. In der Fertigung, im Besonderen in der Kundenauftragsfertigung verursachen Bedarfsraten-Schwankungen **Schwankungen im Kapazitätsbedarf**. Nach Lödning verfügen die Unternehmen über zwei Möglichkeiten, auf Schwankungen des Kapazitätsbedarfs zu reagieren:

- Nutzung der Kapazitätsflexibilität, um den Schwankungen des Kapazitätsbedarfs zu folgen
- Einsatz der Belastungsflexibilität, um die Schwankungen des Kapazitätsbedarfs zu verringern

Als Konsumgüterhersteller sind die Automobilhersteller in besonderem Maße von **starken Kundenbedarfsschwankungen** betroffen. Die Ursachen dafür sind mannigfaltig: konjunkturell bedingte Änderungen des Kaufverhaltens, saisonale Gründe, der Lebenszyklus eines Fahrzeugmodells, Technologieinnovationen, Gesetzes- oder Umweltvorschriften. Die Schwankungen der Bedarfsraten haben zwei unterschiedliche Ausprägungen: die Auftragsmenge im zeitlichen Verlauf und die Auftragszusammensetzung, den sogenannten Modellmix.

Die Kompensation der Auftragsmengenschwankungen und teilweise auch der Auftragszusammensetzung (siehe Abschnitt 4.4.1) erfolgt durch die

Lieferterminfestlegung gegenüber Kunden. Ausdruck findet dies in unterschiedlichen Lieferzeiten für annähernd gleiche Fahrzeugkonfigurationen. Der Hintergrund dessen ist, dass Produktionslinien meist dediziert nur für eine Serie genutzt werden können. Aus Flexibilitätsgründen werden seltener auch (teurere) Linien installiert, auf denen mehrere Serien laufen können und die als Ausgleich für Nachfrageschwankungen der Serien dienen [Meyr 2004].

Die Linien sind so ausgelegt, dass diese nur bei einer gewissen Mindestauslastung (je Arbeitsstation) auf Dauer rentabel betrieben werden können [Stautner 2001]. Eine Kapazitätserhöhung durch eine Neuinstallation von Linien kann nur langfristig erfolgen, da hierfür eine Vorlaufzeit von zwei bis drei Jahren nötig ist [Meyr 2004].

Kurzfristige Kapazitätssteigerungen sind lediglich durch die Produktion über Pausen hinweg möglich. Die Bandgeschwindigkeit lässt sich in der Regel – auch mittelfristig – kaum variieren. Aufgrund des hohen Automatisierungsgrades und der damit verbundenen geringen kurzfristigen Änderungsmöglichkeit ist die **Kapazitätsflexibilität als sehr niedrig** einzustufen. Lediglich durch unterschiedliche Schichtmodelle besteht die Möglichkeit der Einflussnahme, sofern diese noch nicht ausgeschöpft ist.

Die Arbeitsbelastung eines Werkers an einer Arbeitsstation hängt von den Ausstattungsmerkmalen eines Auftrags ab. Die Zusammensetzung der Aufträge im Modellmix beeinflusst somit die Belastungsflexibilität. Folgen zu viele Fahrzeuge mit gleicher Ausstattung unmittelbar hintereinander, so kann dies zum Abdriften eines Werkers und damit zur Überlastung einer Arbeitsstation (oder zu Leerzeiten an anderen Stationen) führen [Meyr 2004].

Die Arbeitszeitflexibilität variiert mit der Vorlaufzeit, die zur Umsetzung von Maßnahmen zur Kapazitätsanpassung nötig ist: Die Jahresarbeitszeit und die Flexibilität der Wochenarbeitszeit lassen sich über entsprechende Vereinbarungen mit dem Betriebsrat mittelfristig variieren. Kurzfristig können Modellmixschwankungen durch Personal, das alternativ verschiedenen Arbeitsstationen zugeordnet werden kann (sogenannte bandexterne „Springer“ oder bandinterne „Floater“), in begrenztem Maße ausgeglichen werden [Meyr 2004]. Deshalb kann in der Automobilfertigung von einer **mittleren Belastungsflexibilität** gesprochen werden.

In Tabelle 2-1 werden die steuerungsrelevanten Merkmale der Automobilproduktion und deren Ausprägung nochmals zusammengefasst dargestellt.

Kriterium	Ausprägungen				
	Werkbankprinzip	Baustellenprinzip	Werkstattprinzip	Inselprinzip	Fließprinzip
Fertigungsprinzip	Einmal-Fertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	<b>Serienfertigung</b>	Massenfertigung	
Fertigungsart	Chargenfertigung	losweiser Transport	Überlappte Fertigung	<b>One-Piece-Flow</b>	
Teilefluss	sehr niedrig	niedrig	mittel	<b>hoch</b>	<b>sehr hoch</b>
Variantenanzahl	sehr niedrig	niedrig	mittel	hoch	<b>sehr hoch</b>
Materialflusskomplexität	sehr niedrig	niedrig	mittel	hoch	<b>sehr hoch</b>
Schwankung des Kapazitätsbedarfs	sehr niedrig	niedrig	mittel	<b>hoch</b>	sehr hoch
Kapazitätsflexibilität	<b>sehr niedrig</b>	niedrig	mittel	hoch	sehr hoch
Belastungsflexibilität	sehr niedrig	niedrig	<b>mittel</b>	hoch	sehr hoch

Tabelle 2-1: Steuerungsrelevante Fertigungsmerkmale der Automobilproduktion (in Anlehnung an [Lödding 2005])

## 2.2 Entwicklungstrends in der Automobilindustrie

Um die aktuelle Wettbewerbsposition gegenüber den Konkurrenzunternehmen zu verteidigen oder sogar auszubauen, bedarf es fundierter Kenntnisse der sich abzeichnenden Entwicklungstrends. Denn mit einer frühzeitigen Anpassung an künftige Marktanforderungen und -entwicklungen wird die Grundlage für die Erzielung von Wettbewerbsvorteilen geschaffen. Nachfolgend werden einige wichtige Trends erläutert, denen sich die Unternehmen, insbesondere die der Automobilindustrie bereits heute und noch intensiver in naher Zukunft stellen müssen.

### Steigende Kundenanforderungen und zunehmender Individualisierungstrend

Viele Konsumenten lassen sich in der heutigen Zeit aufgrund ihres Kaufverhaltens nicht mehr einem bestimmten Marktsegment zuordnen. Vielmehr ist mit dem sogenannten hybriden Konsumenten ein neuer Kundentypus entstanden, der in Bezug auf sein Kaufverhalten eine gespaltene Ansicht vertritt [Hüttenrauch 2008].

## 2 Rahmenbedingungen der Automobilproduktion

---

Dies bedeutet, dass der Kunde nach zwei gegensätzlichen Konsummustern handelt. Zum einen legt dieser bei seiner Kaufentscheidung großen Wert auf ein angemessenes Preis-Leistungs-Verhältnis. Zum anderen wünscht dieser hervorragende Qualität und präferiert Markenartikel.

Der hybride Charakter der Kundenanforderungen wird ergänzt durch zunehmende Individualisierungswünsche der Konsumenten, die durch eine gute Informationsverfügbarkeit und Vergleichsmöglichkeiten im Internet begünstigt werden. Auf diese Weise schärft sich der Blick des neuen Verbrauchertyps. Die Forderung der Kunden nach individuellen Lösungen führt – wie Abbildung 2-2 zu entnehmen ist – zu einer gegenläufigen Entwicklung von Produktvielfalt und Produktionsvolumen. Während die Produktvielfalt kontinuierlich zunimmt, verkleinert sich das Produktionsvolumen je Variante.

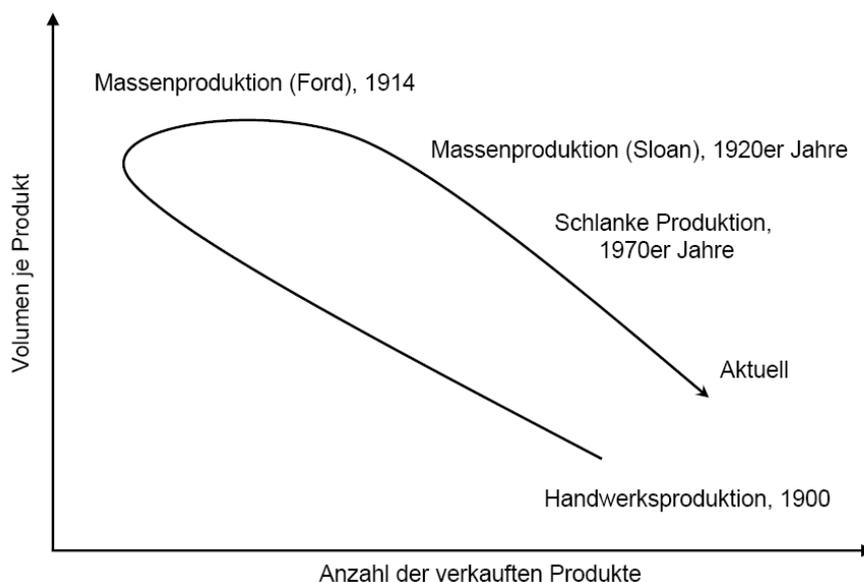


Abbildung 2-2: Entwicklung der Produktvielfalt und des Produktionsvolumens (in Anlehnung an [Womack 1992])

### Verkürzung der Produktlebenszyklen

Neben einer hohen Kundenorientierung zeichnet sich in der Automobilindustrie eine zunehmende Verkürzung der Produktlebenszyklen ab. Diese Entwicklung lässt sich durch empirische Studien belegen [Schwenker 2008]. Angetrieben wird diese durch technologische Innovationen, wobei die Innovationsgeschwindigkeit vom Markt vorgegeben wird. Einen wichtigen Wettbewerbsvorteil sichern sich Unternehmen,

die bei der Markteinführung die Position des Zeitführers einnehmen [Beckmann 2008].

### **Erreichen der Grenzen des Automatisierungsgrades**

Ein weiterer Trend spiegelt sich in der Stagnation des Automatisierungsgrades in den Montagebereichen wider. Sowohl technologische und wirtschaftliche Restriktionen als auch weltweite Überkapazitäten sprechen zurzeit gegen Investitionen in eine weitere Automatisierung. Demzufolge werden bei der Fahrzeugmontage auf absehbare Zeit manuelle Tätigkeiten vorzufinden sein [Bullinger 1999].

### **Renaissance des Lean-Managements**

Lean-Management gilt seit den 1990er Jahren als radikale Veränderung der unternehmerischen Denkansätze – es bedeutet, „Werte ohne Verschwendung zu schaffen“. Das Ziel ist es, alle Aktivitäten, die für die Wertschöpfung notwendig sind, optimal aufeinander abzustimmen und überflüssige Tätigkeiten zu vermeiden. Dies hat bei der ersten Lean-Welle bei Unternehmen weltweit zur Verschlankung im Sinne von Rationalisierung und Personalentlassung geführt. Aufgrund der anhaltenden Erfolge japanischer Unternehmen, allen voran von Toyota, erlebt „lean“ eine Renaissance. Erkennbar wird dies unter anderem an der Ausweitung der Lean-Aktivitäten auch auf indirekte Bereiche.

Die bisherigen Anstrengungen hatten sehr unterschiedliche Erfolge. In Europa konnten z. B. die Arbeitsstunden pro Fahrzeug zum Teil um 50 % gesenkt werden [Holweg 2004]. Die Produktivitätsergebnisse liegen dennoch weiter deutlich hinter denen der internationalen, insbesondere der japanischen Konkurrenten [o. V. 2007]. Hier gilt in Zukunft umso mehr, das bestehende System aus zwei Perspektiven zu überprüfen und zu verbessern: aus Sicht der Kunden, deren Wunsch nach Verfügbarkeit, Individualität, Qualität und Preisgestaltung (Business on Demand) es möglichst optimal zu erfüllen gilt, und aus Sicht des Unternehmens, das profitabel arbeiten und seine Wettbewerbsfähigkeit verbessern muss.

Das Ergebnis sind Prozesse mit hoher Kundenorientierung, da die gezielte und flexible Erfüllung des Kundenwunschs die Grundlage für wirtschaftliches Arbeiten und hohe Effizienz ist. Genaue Prozessdefinitionen und Schnittstellenbeschreibungen, klare Verantwortlichkeiten, frühe Reaktion auf Fehler und einfache Organisationsmethoden führen zu stabilen Prozessen, in denen qualitativ hochwertige Produkte entstehen.

### **Restrukturierung des Wertschöpfungsnetzwerks**

Der Strukturwandel des Wertschöpfungsnetzwerks in der Automobilindustrie ist geprägt von einer Vielzahl neuer Entwicklungen. Ein wesentlicher Aspekt ist die Reduzierung der Fertigungstiefe aufseiten der Fahrzeughersteller. Seit 1980 ist ein Sinken des Eigenfertigungsanteils von ca. 38 % auf aktuell knapp unter 25 % zu verzeichnen [Beckmann 2008].

Der Outsourcing-Trend scheint vorerst allerdings gestoppt, da seit 1998 kein nennenswerter Rückgang mehr zu beobachten ist. Gleichwohl existieren auch Prognosen, nach denen bis 2010 der Anteil der Zulieferer an der Wertschöpfung um 15 % weiter steigt [Dannenbergh 2004]. Vertraut man den Aussagen verschiedener Studien, so ist bis 2010 ebenfalls mit einer deutlichen Reduzierung der Lieferanten-Anzahl von zurzeit 5.500 auf 3.500 zu rechnen [Beckmann 2008].

Verantwortlich für diese Entwicklung ist zum einen der Umstand, dass die Fahrzeughersteller zunehmend die Beschaffung fertiger Module favorisieren, um den Umfang von Montagetätigkeiten zu verringern. Außerdem gewinnt die Single- oder Dual-Sourcing-Strategie immer mehr an Bedeutung, wonach einzelne Teiletypen weltweit nur noch von einem oder zwei Lieferanten bezogen werden.

Ein weiteres Restrukturierungsmerkmal ist die fortschreitende Internationalisierung von Produktionsstätten mit der Konsequenz, dass die Grenzen eines Produktionssystems häufig nicht mehr denen eines Produktionsstandortes entsprechen. Vielmehr lässt sich ein Produktionssystem künftig charakterisieren als ein Netzwerk aus mehreren Produktionsstätten, die sich zu einer virtuellen Fabrik zusammenfassen lassen [Baumgärtner 2006].

Aufgrund des stagnierenden Automobilabsatzes in den Ländern der Triade ist eine Fokussierung auf Wachstumsregionen wie Asien, Osteuropa oder Südamerika essentiell, um die eigene Marktposition zu festigen. Allerdings ist eine wettbewerbsfähige Produktion nur vor Ort möglich, weswegen die Hersteller um einen raschen Aufbau von Produktionskapazitäten in diesen Regionen bemüht sind. Eine Folge dieser globalen Ausdehnung ist ein immer komplexer werdendes Wertschöpfungsnetzwerk, was unter anderem auf den Aufbau neuer Kooperationsbeziehungen zurückzuführen ist [Beckmann 2008].

Der Trend zur Netzwerkbildung ist kein unternehmensinternes Phänomen, sondern spiegelt sich in der Gründung unternehmensübergreifender Partnerschaften ebenso wider. Innerhalb eines solchen Netzwerks lassen sich drei Stufen unterscheiden:

- Systemlieferant
- Subsystemlieferant oder Hersteller von Komponenten oder Modulen
- Hersteller von Einzelteilen

Diese drei sogenannten Leistungseinheiten liefern jeweils einen eigenständigen Wertschöpfungsbeitrag und verhalten sich weitgehend autonom. Über Kunden-Lieferanten-Beziehungen sind einzelne Leistungseinheiten miteinander verknüpft, wobei jeder Netzpartner nur von seinen direkten Abnehmern mit konkreten Aufträgen versorgt wird [Wiendahl 2002].

Das Denken in Netzwerken wird auch deutlich aus dem Versuch der Automobilhersteller, Differenzierungsmerkmale gegenüber der Konkurrenz zu definieren. Zu diesem Zweck werden nicht selten neue Wertschöpfungspartner integriert. Vor dem Hintergrund der Kundenorientierung werden z. B. Zusatzdienste angeboten, die von einer Fahrzeugkonfiguration per Onlineanwendung hin zu Telematikdiensten reichen [Beckmann 2008].

### **Zunehmende Bedeutung der logistischen Leistung**

Ein Trend, der in den letzten Jahren immer deutlicher in den Vordergrund gerückt ist, ist die Entwicklung der logistischen Kompetenz zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor. Heute entscheiden besonders im Premiumsegment neben dem Angebot an maßgeschneiderten, individuellen Produktvarianten und Serviceleistungen vielfach die Lieferfähigkeit bei kurzen Auftragsdurchlaufzeiten, die Termintreue und die Flexibilität bei kurzfristigen Änderungswünschen über den Markterfolg. „Jeder Kunde erhält sein individuell konfiguriertes Fahrzeug zum vereinbarten Liefertermin“ [Graf 2004], lautet die Antwort der deutschen Automobilhersteller.

Die derzeitigen Logistiksysteme erweisen sich jedoch als kostenintensiv und ressourcenverschwendend. Aufgrund der mittelfristig weiter steigenden Rohstoff- und Energiekosten wird es daher unumgänglich, die Effizienz und die Effektivität aller Logistikprozesse zu erhöhen, um das Ziel einer schlanken Logistik voranzutreiben [Meißner 2009a].

### **2.3 Anforderungen an die Automobilproduktion**

Aus den in Abschnitt 2.2 beschriebenen Entwicklungstrends ergibt sich eine Vielzahl von Anforderungen, die es seitens der Fahrzeughersteller umzusetzen gilt, um die Grundlagen für einen nachhaltigen Markterfolg zu schaffen. Im Folgenden werden einige dieser Anforderungen diskutiert.

#### **Kundenorientierte Reorganisation im Supply Chain Management (SCM)**

Aufgrund der zunehmenden Wettbewerbsintensität und des Verhaltens immer anspruchsvollerer Kunden entwickelt sich neben guter Produktqualität und Innovationsstärke vor allem eine ausgeprägte Kundenorientierung zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor. Die neuen Kundenanforderungen inkludieren die Möglichkeiten einer individuellen Fahrzeugkonfiguration, größtmöglicher Flexibilität gegenüber Änderungswünschen und einer termingerechten Auslieferung des Fahrzeugs. Diese Herausforderungen, die nicht nur die Fahrzeughersteller, sondern vielmehr auch ganze Liefernetzwerke betreffen, bedingen eine entsprechende Anpassung oder Erweiterung der bestehenden logistischen Prozesse und Systeme [Gehr 2007].

Als Beispiel für diese Reorganisation im SCM sei das KOVP-Programm von BMW angeführt. Demzufolge orientieren sich sämtliche Produktions- und Vertriebsprozesse daran, rechtzeitig zu einem vereinbarten Termin ein individuell konfiguriertes Fahrzeug an den Kunden auszuliefern [Meyr 2004]. Für die DLZ von der Fahrzeugeinplanung bis zur Auslieferung wird bei BMW ein Durchbruchziel von zehn Tagen anvisiert. Hierbei wird dem Kunden die Möglichkeit eingeräumt, bis sechs Tage vor dem Montagestart Änderungen der Auftragskonfiguration vorzunehmen (vgl. dazu [Beckmann 2008] und [Bauer 2008]).

Die infolge des Individualisierungstrends steigende Anzahl von Produktvarianten erfordert eine Strategie, wonach die Produktion eines Fahrzeugs erst nach Eingang eines konkreten Kundenauftrags angestoßen wird (Manufacturing on Demand). Auf diese Weise wird die Absetzbarkeit der Produkte auch auf dynamischen Märkten sichergestellt [Wiendahl 2002].

#### **Veränderungsfähigkeit von Produktionssystemen**

Eine weitere essentielle Voraussetzung für den Umgang mit verkürzten Produktlebenszyklen und der fortschreitenden Individualisierung ist die strukturelle Veränderungsfähigkeit sowohl der Aufbau- und Ablauforganisation als auch der

Produktionssysteme. Bei diesen spielt insbesondere der Faktor der Wandlungsfähigkeit eine entscheidende Rolle [Baumgärtner 2006]. Die Wandlungsfähigkeit ist dabei definiert als Maß für die Fähigkeit, sich an verändernde Rahmenbedingungen anzupassen, die sich aus den beiden Komponenten „Flexibilität“ und „Reaktivität“ zusammensetzt.

Der flexible Charakter eines Fertigungssystems spiegelt sich in der Überdimensionierung einzelner Gestaltungsaspekte wider, um den in Zukunft zu erwartenden Entwicklungen bereits antizipativ zu begegnen. Allerdings ist die flexible Auslegung eines Produktionssystems zum Teil mit beträchtlichen Investitionskosten verbunden, weshalb es gilt, Flexibilitätskorridore zielführend zu implementieren.

Neben dem Vorsehen einer gewissen Flexibilität müssen Systeme auch reaktive Eingriffe ermöglichen. Es muss sichergestellt werden, nachhaltige und mehrdimensionale Veränderungen außerhalb vordefinierter Szenarien durchführen zu können [Reinhardt 1999]. Der Gedanke der Wandlungsfähigkeit eines Produktionssystems orientiert sich weniger an totaler Effizienz, sondern erfordert vielmehr eine bestimmte Redundanz und gestalterische Freiräume. Anstelle einer Orientierung am kurzfristigen Erfolg rückt die langfristige Wirksamkeit des Erfolgs in den Vordergrund [Wiendahl 2002].

### **Schnelligkeit, Mobilität und Wirtschaftlichkeit von Unternehmen**

Um Wettbewerbsvorteile zu erzielen, werden neben der Wandlungsfähigkeit von Systemen weitere Anforderungen an die Unternehmen gestellt. Ein Erfolgsfaktor ist die Schnelligkeit eines Unternehmens bei der Markteinführung neuer (Time-to-Market) und der Lieferfähigkeit bereits auf dem Markt platzierter Produkte (Time-to-Customer). Eine Verkürzung der Markteinführungszeit kann z. B. durch eine frühe Integration von Wertschöpfungspartnern in den Produktentwicklungsprozess und eine Verbesserung des Anlaufmanagements erreicht werden (vgl. z. B. [Beckmann 2008]).

Im Zuge der Adaption an eine dynamische Umwelt wird die Mobilität von Unternehmen zu einem bedeutenden Charakteristikum. Mobilität impliziert in diesem Kontext schnelle und kostengünstige Standortverlagerungen bei geringem Aufwand.

Eine wesentliche Rolle spielt ferner auch die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens. Um effizient zu agieren, gilt es, Investitionen und damit Kapitalbindung zu minimieren und gleichermaßen Potentiale zur Reduzierung der operativen Betriebskosten zu identifizieren.

### **Komplexitätsmanagement**

Die Lieferbeziehungen innerhalb eines Wertschöpfungsnetzwerks sind geprägt von hoher Komplexität. Dieser Umstand wird aus der Betrachtung der Zuliefererseite eines OEM deutlich, die vom Rohstofflieferanten bis zum Komponentenhersteller sieben Stufen umfasst. Nach der Fertigstellung eines Fahrzeugs beim OEM durchläuft es noch zwei bis drei weitere Distributionsstufen, bevor die Übergabe an den Endkunden erfolgt.

Um die Komplexität zu beherrschen, ist zum einen eine klare Rollenverteilung zwischen den einzelnen Mitgliedern des Netzwerks erforderlich, wobei dem Fahrzeughersteller die Rolle des Koordinators übertragen wird. Zum anderen ist ein erfolgreiches Komplexitätsmanagement unerlässlich, um die Prozesszuverlässigkeit zu erhöhen. Hierbei gilt es, sich Herausforderungen wie Planabweichungen, Störungen wegen Fehlteilen, Dokumentationsfehlern oder Systemausfällen und Qualitätsmängeln zu stellen [Beckmann 2008].

### **Entwicklung von Konzepten der Lean-Logistics**

Ein zusätzliches Handlungsfeld stellt die Entwicklung zukunftsfähiger Lean-Konzepte zur Realisierung schlanker Logistiksysteme dar. Bis dato verfügen weder die produzierende Industrie noch die Logistikdienstleister über fundierte Methoden, um eine unternehmensübergreifend schlanke Logistik zu konzipieren und in der Praxis umzusetzen. Bei der Erarbeitung der Konzepte ist darauf zu achten, sich nicht auf lokale Optima zu beschränken, sondern das Gesamtoptimum unter Einbeziehung der Hersteller, Zulieferer und Logistikdienstleister zu erreichen. Zu diesem Zweck muss die Gestaltung der Schnittstellen verbessert und eine ganzheitliche Betrachtung der Versorgungskette nach Lean-Aspekten angestrebt werden [Meißner 2009b].

## 2.4 Zielsystem: Stabile Auftragsfolge

Das Konzept der stabilen Auftragsfolge fokussiert sich auf die Optimierung des Kundenauftragsprozess durch Stabilisierung der Produktionslogistik. Der Begriff „Auftragsreihenfolgenkonzept“<sup>1</sup> fasst unterschiedliche Produktionssteuerungskonzepte zusammen, deren gemeinsames Ziel es ist, bereits mehrere Tage vor dem Endmontagestart die Produktionsreihenfolge beim OEM festzulegen und an alle Prozessbeteiligten des Wertschöpfungsnetzes, insbesondere die Zulieferer weiterzugeben. Der Planungshorizont für die Festlegung der Reihenfolge liegt in der Praxis bei 4 bis 20 Tagen vor dem Endmontagestart.

Da Auftragsinhalt, Reihenfolge und Produktionstermine nach Abschluss der Sequenzbildung nicht mehr geändert werden können, spricht man von einem „order freeze“. Die Phase bis zum Produktionsstart wird als „frozen zone“ oder „frozen period“ bezeichnet [Weyer 2002]. Die Grundvoraussetzung dafür ist die damit einhergehende Begrenzung der Möglichkeit des Kunden, den Auftrag zu ändern, der sogenannten Änderungsflexibilität. Das Ziel ist es dann, durch einen termingerechten Produktionsprozess im Karosseriebau und der Lackierung die stabile Auftragsfolge zu gewährleisten.

Um die Steuerung in stabiler Reihenfolge zu ermöglichen, werden die Kundenaufträge bei der Einplanung mit einer Reihenfolgennummer versehen, anhand derer die Produktionssteuerung bei der Reihenfolgensteuerung Soll- und Ist-Position der Kundenaufträge ermitteln und entsprechend eingreifen kann. Das Ziel aller Hersteller ist es, eine Reihenfolgenstabilität von mindestens 98 % in der Montage zu erreichen.

Durch den festen Einplanungshorizont kann die Information über die fixe Auftragssequenz in der Montage verlässlich an das Wertschöpfungsnetz weitergegeben werden. Der verbindliche Materialabruf bei den Zulieferern findet somit bereits mehrere Tage vor dem Produktionsstart statt, während der verbindliche Abruf der JIS-Umfänge erst aktuell beim Montageeinlauf erfolgt und sonstige Materialien meist in mehrstufigen Lagerketten abgewickelt werden. Dies hat zur Folge, dass alle Materialströme in der Montage exakt determiniert und somit optimiert gestaltet werden können (vgl. Abbildung 2-3).

---

<sup>1</sup> Auftragsreihenfolgenkonzept wird synonym mit „Konzept der stabilen Auftragsfolge“ verwendet.

## 2 Rahmenbedingungen der Automobilproduktion

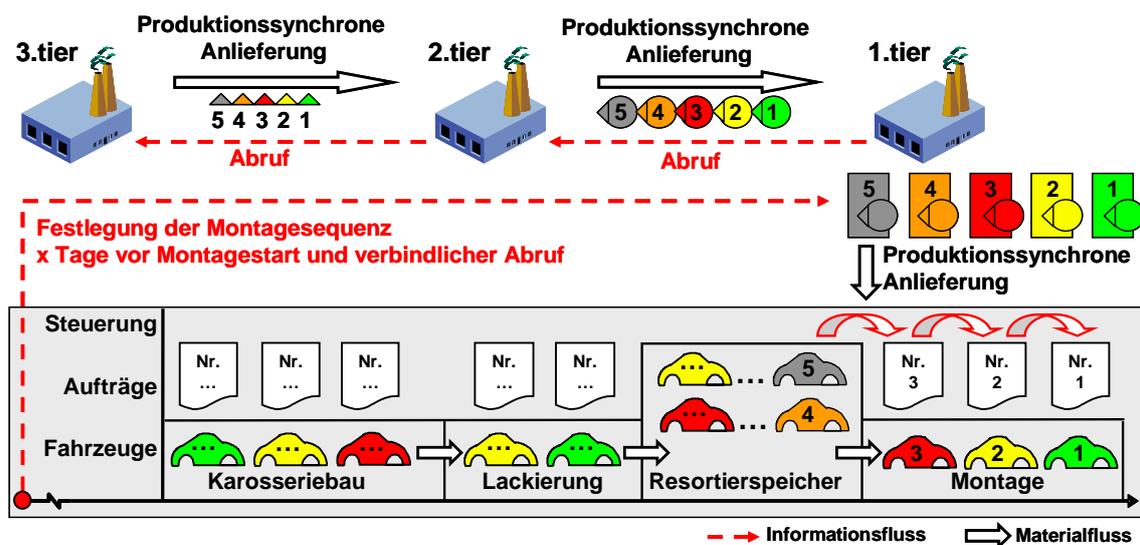


Abbildung 2-3: Steuerung nach stabiler Auftragsfolge [o. V. 2006b]

Die Vision von einem kontinuierlichen Fluss ist, eine unternehmensübergreifende synchronisierte Belieferung und Produktion zu erreichen, so dass „die benötigten Teile in notwendiger Stückzahl zum geforderten Zeitpunkt hergestellt, transportiert, weitergegeben, gemanagt, verbessert usw.“ [Takeda 2004] werden. Zusammengefasst kann die stabile Montagesequenz der Fahrzeugwerke so Schwankungen der Versorgungskette aufgrund von Unsicherheiten glätten, Bestände und DLZ reduzieren sowie den am Wertschöpfungsnetzwerk Beteiligten eine höhere Prozessflexibilität und -effizienz ermöglichen. In Kapitel 3 werden die Chancen und Risiken detailliert erläutert.

### 2.5 Einflussfaktoren auf die stabile Auftragsfolge

Systemeinflüsse, die zur Verwirbelung der Montagereihenfolge führen, können unterschiedlicher Natur sein. Hier sollen neben den Kategorien „Planung“ und „Umsetzung“ drei Bereiche unterschieden werden: „Prozess“, „Produkt“ und „Infrastruktur“, wobei sich „Prozess“ in „Prozesssteuerung“, „Qualität“ und „Logistik“ weiter unterteilen lässt.

In Abbildung 2-4 sind unterschiedliche Ursachen zusammengefasst wiedergegeben. Die Darstellungsform ist an ein Ursache-Wirkungs-Diagramm nach Ishikawa<sup>1</sup> angelehnt [Ishikawa 1984]. Die möglichen und bekannten Ursachen

<sup>1</sup> Werkzeug zur systematischen Ermittlung von Problemursachen aus dem Qualitätsmanagement.

(Einflüsse), die zu einer bestimmten Wirkung (Problem) führen, sind in Haupt- und Nebenursachen zerlegt und in einer übersichtlichen Gesamtbetrachtung grafisch strukturiert wiedergegeben. Die Strichstärke der Hauptursachen gibt eine erste Gewichtung der Problembereiche an.

Nachfolgend werden die einzelnen Einflüsse kurz erläutert. In der Automobilproduktion können die Ausprägungen der Einflussfaktoren unterschiedlich ausfallen und hängen stark von den tatsächlichen Rahmenbedingungen ab.

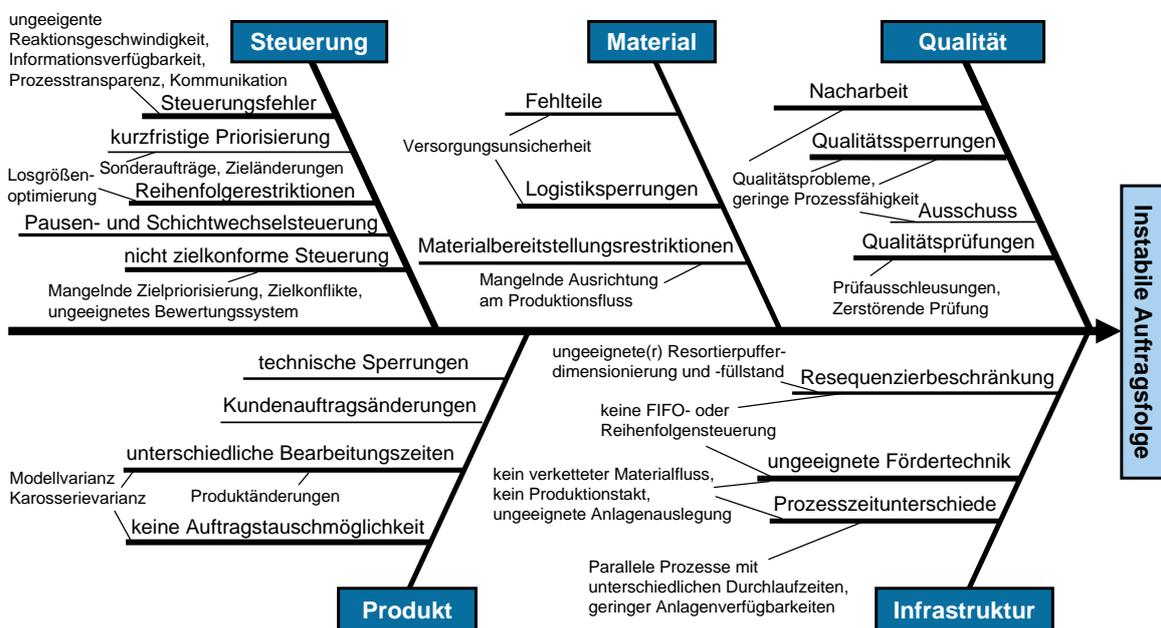


Abbildung 2-4: Einflussfaktoren für die Auftragsreihenfolge im automobilen Produktionsprozess [Günthner 2007b]

Einflussfaktoren für den Prozess sind im Bereich „Steuerung“ z. B. Zielkonflikte. Neben übergeordneten Zielen wie der Reihenfolgentreue und der Ausbringung können auch die Ziele der Prozesssteuerung zwischen den einzelnen Gewerken miteinander kollidieren. Ein Beispiel wäre, wenn die Farbblockbildung für die Lackiererei mit den Zielen der Montagesequenzbildung kollidiert. Aus dem Bereich „Qualität“ können Qualitätsprüfungen und Nacharbeit Ursachen für Verwirbelungen aufgrund von Ausschleusungen aus der Linie sein.

Auch das „Produkt“ nimmt signifikanten Einfluss auf die Auftragsreihenfolge. Bei der Umsetzung einer späten Auftragszuordnung ist die Karosserievarianz ein entscheidender Stellhebel, um eine hohe Reihenfolgenstabilität zu erreichen. Im

Bereich „Infrastruktur“ können z. B. DLZ-Schwankungen aufgrund unterschiedlicher Bearbeitungsgeschwindigkeiten und Verfügbarkeiten der Anlagen sowie insbesondere aufgrund nicht abgestimmter Parallelprozesse entstehen. Nachteilig für die Stabilität der Auftragsfolge ist die durch das Zusammenführen solcher Prozesse entstehende Sequenzverwirbelung.

### **2.6 Fazit: Instabilität und Ineffizienz in automobilen Produktionslogistikprozessen**

Die Automobilproduktion ist der Kernprozess der Kunde-Kunde-Aktivitäten und stellt durch eine auftragsindividuelle BTO-Massenproduktion im One-Piece-Flow die Versorgung der Kundenbedarfe sicher. Die Volatilität im Marktgeschehen ist in der Automobilindustrie sehr ausgeprägt, und die daraus resultierenden Nachfrageschwankungen können durch Kapazitätsflexibilität seitens der Hersteller nur bedingt kompensiert werden.

Als Entwicklungstrend ist eine zunehmende Individualisierung zu beobachten, die zur Erhöhung der Komplexität der Produktionslogistik und zum Bedarf an schneller Anpassungsfähigkeit der Produktionssysteme führt. Die Intensivierung der Verlagerung der Fertigungstiefe auf die Zulieferer, einhergehend mit einer konsequenten Ausrichtung auf den Kunden, in der Lean-Production und Lean-Logistics ist eine weitere Herausforderung. Diese Anforderungen erfordern einen Fokus auf determinierte DLZ im gesamten Kundenauftragsprozess.

Zurzeit vorhandene Instabilitäten der OEM-Produktionslogistikprozesse verursachen durch DLZ-Schwankungen Ineffizienz im gesamten Wertschöpfungsnetzwerk. Die Konsequenzen daraus sind hohe Fahrzeug-WIPs, ein enormer Steuerungsaufwand und eine signifikante Erhöhung der Auftragsdurchlaufzeiten. Verletzungen der fixierten und mit dem Wertschöpfungsnetz kommunizierten Auftragsfolge müssen durch investitionsintensive Sequenzrichter, im Produktionsprozess in Form von Karosenspeichern und im Versorgungsprozess durch Teileresequenzierung, ausgeglichen werden. Mögliche Potentiale können durch solche und andere Kostenrisiken schnell egalisiert werden.

Um das Ziel einer stabilen Auftragsfolge in der Endmontage zu erreichen, müssen die negativen Einflussfaktoren für die operative Auftragsfolge minimiert oder eliminiert werden. Insbesondere müssen Maßnahmen zur Bekämpfung von

## 2.6 Fazit: Instabilität und Ineffizienz in automobilen Produktionslogistikprozessen

Ursachen sowie unvermeidlichen Folgen und Auswirkungen ergriffen werden (siehe Abbildung 2-5). Das Erste ist Aufgabe der Produktions- und Fabrikplanung, das Zweite erfordert die Entwicklung und Umsetzung von Produktionssteuerungsstrategien.

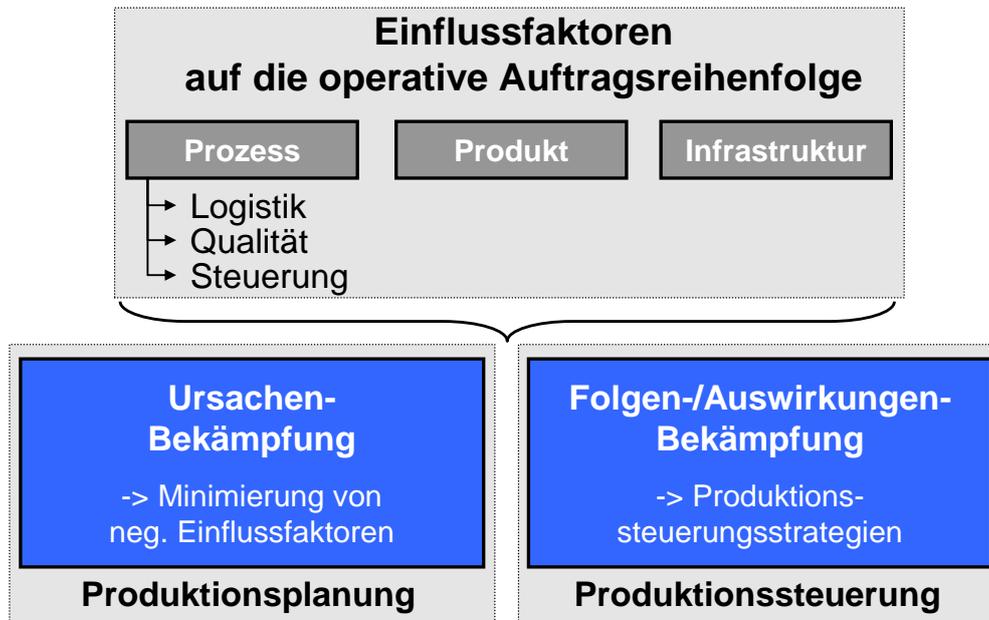


Abbildung 2-5: Aufgaben der PPS zur Minimierung der Einflussfaktoren auf die Auftragsreihenfolge [Günthner 2007b]

Durch die Umstellung auf ein Auftragsreihenfolgenkonzept kann in der Produktion ein zusätzlicher Aufwand entstehen, um die genannten Einflussfaktoren zu minimieren. Zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit eines Auftragsreihenfolgenkonzepts müssen diesem Aufwand entsprechende qualitative und monetäre Potentiale gegenüberstehen. Diese Potentiale werden im folgenden Kapitel erörtert.

### **3 Chancen und Risiken der stabilen Auftragsfolge in der Automobilproduktion**

Trotz großer Anstrengungen der Automobilindustrie liegen nach wie vor Schwierigkeiten bei der Stabilisierung des komplexen Produktionsprozesses vor. Vorhandene Umsetzungsprinzipien des Konzepts der stabilen Auftragsfolge scheinen nur sehr bedingt tauglich, da es innerhalb des komplexen Wertschöpfungsnetzwerks der Fahrzeugindustrie immer wieder zu Verwirbelungen der Reihenfolge kommt. Diese müssen durch investitionsintensive Sequenzrichter im Produktionsprozess in Form von KarosSENSPEICHERN und im Versorgungsprozess durch Teileresequenzierung, ausgeglichen werden. Mögliche Potentiale können durch solche und andere Kostenrisiken schnell egalisiert werden.

Die zentralen Fragen zur Bewertung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts lauten, welche Potentiale sich in der Praxis tatsächlich ergeben und ob diese die möglichen Risiken übersteigen. Aufgrund der Komplexität der Wertschöpfungsnetzwerke bei Automobilen und der unterschiedlichen Ausprägungen der Produktions- und Zulieferkette gestaltet sich eine allgemeingültige quantitative (kostenmäßige) Bewertung zurzeit schwierig.

In Abschnitt 3.1 werden grundlegende Möglichkeiten hierzu zur Verfügung gestellt. Darauf aufbauend wird ein theoretisches Bewertungsmodell zur monetären Quantifizierung von Potentialen konzipiert. In einer empirischen Analyse werden in Abschnitt 3.2 die theoretischen Ergebnisse durch Einschätzung der tatsächlichen Potentiale überprüft.

#### **3.1 Theoretische Analyse**

Alle Varianten des Konzepts der stabilen Auftragsfolge verfolgen das gleiche Ziel: eine Festlegung des genauen Produktionstermins und somit der genauen Reihenfolge, in der die Erzeugnisse in der Endmontage produziert werden, bereits bei der Auftragseinplanung mehrere Tage oder Wochen vor dem Produktionsstart (siehe Abschnitt 2.4). Durch die fixe Reihenfolge der Erzeugnisse sind die in die Produktion einlaufenden Materialströme determiniert und können optimiert gestaltet werden.

Wird die Auftragsreihenfolge als verbindlicher Abruf an die Lieferanten übermittelt, so ergeben sich durch die stabile Planungsgrundlage Vorteile gegenüber anderen Produktionssteuerungskonzepten. Der Lieferant der ersten Stufe kann mit den

frühzeitigen und verlässlichen Abrufdaten seine eigene Produktion und die Belieferung des OEM optimieren. Diese Verfahrensweise setzt sich in der Logistikkette fort und ermöglicht die Optimierung der Produktions- und Logistikprozesse im gesamten Wertschöpfungsnetzwerk [Grinninger 2007].

Die verbindliche Festlegung der Montagereihenfolge bei der Auftragseinplanung führt zu einer Einschränkung der Änderungsflexibilität gegenüber dem Kunden. Dies muss, ebenso wie der Aufwand zur strikten Einhaltung der Montagesequenz, abgewogen werden mit den Rationalisierungspotentialen in der Wertschöpfungskette [Grinninger 2007].

Um den Untersuchungsgegenstand systematisch zu betrachten, wird vom Ist-Zustand im Prozessabschnitt ausgehend der jeweilige Zielzustand (Ursache) ermittelt. Die Grundlage für eine profunde Darstellung des Status quo ist eine Prozessanalyse, idealerweise abgestimmt auf die Anforderungen der Reihenfolgenbewertung (vgl. [Grinninger 2006]). Darauf aufbauend wird der direkte (Bedarfsveränderung) und indirekte (Folge) Veränderungsbedarf bestimmt, um dadurch den Einfluss auf die Kosten und die Kostentreiber zu bewerten. Zur monetären Quantifizierung werden vereinfachte Berechnungsformeln entwickelt. Im konkreten Einzelfall ist eine Detaillierung notwendig, letztlich auch abhängig von der zugrundeliegenden Kostenrechnungs-/Datengrundlage.

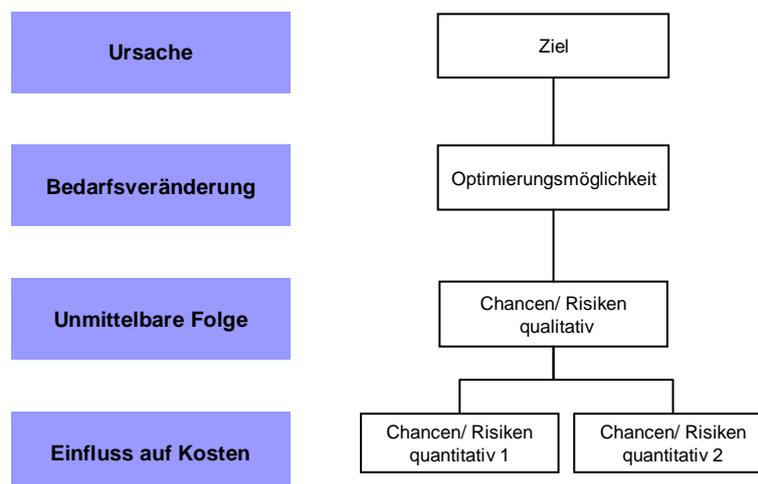


Abbildung 3-1: Vorgehen zur Ermittlung der Chancen und Risiken eines Auftragsreihenfolgenkonzepts

Im Folgenden werden die Chancen und Risiken eines Auftragsreihenfolgenkonzepts entlang des Kundenauftragsprozess von der

Kundenbestellung bis zur Fahrzeugauslieferung qualitativ bewertet. Abbildung 3-2 gibt Aufschluss über die Unterteilung in die drei untersuchten und bewerteten Hauptprozesse.

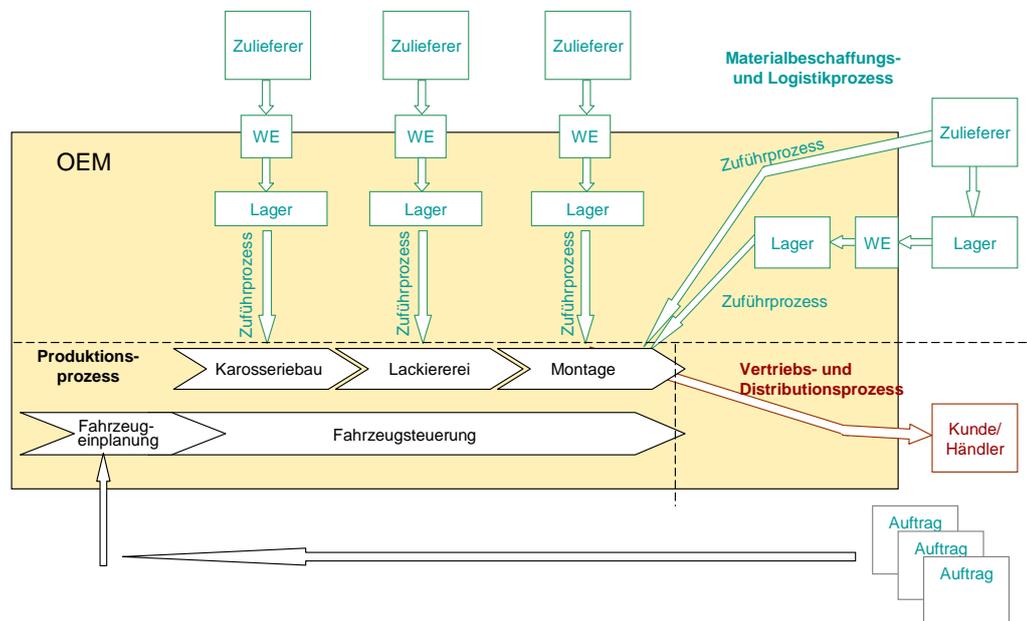


Abbildung 3-2: Untersuchungsgegenstand zur Ermittlung der Chancen und Risiken

#### 3.1.1 Chancen und Risiken im Materialbeschaffungs- und Logistikprozess

Das Marktumfeld der Automobilindustrie hat sich in den letzten Jahren wie in Abschnitt 2.1 beschrieben drastisch verändert: Die Lebenszyklen der Fahrzeuge haben sich bei gleichzeitig zunehmender Ausstattungsvielfalt verkürzt. Die Kunden erwarten eine termingerechte und schnelle Lieferung sowie attraktive Preise für individuelle Fahrzeuge. Dabei sollen dem Kunden Änderungswünsche bis kurz vor der Endmontage des bestellten Fahrzeugs erfüllt werden.

Die Diversifikation der OEMs bei den Fahrzeugbaureihen führt zu einer Vielzahl von Produktanläufen in relativ kurzer Zeit und erfordert flexible Abläufe auf gesamtheitlicher Prozessebene. Hinzu kommt, dass die Fertigungstiefe der Automobilbauer weiter abnimmt und infolgedessen der Anteil fremdbezogener Fahrzeugkomponenten steigt [Dannenber 2004]. Der intensive Preiskampf zwischen den Herstellern zwingt, Prozesskosten in allen Bereiche des Produktlebenszyklus zu senken.

Vor diesem Hintergrund kommt der Logistik eine ständig zunehmende Bedeutung zu, die über das Erreichen des Teilziels „Versorgungssicherheit bei kurzen und stabilen Durchlaufzeit“ neben der Produktion einen wesentlichen Anteil am Erfolg des Kunde-Kunde-Prozesses hat. Künftig stellen die Versorgungsprozesse der Lieferketten ein wesentlich wichtigeres Wettbewerbskriterium dar, da diese die Zielgrößen Zeit, Qualität und Kosten in weiten Bereichen zu beeinflussen vermögen [Beckmann 2008].

Bei der Einführung neuer Produktionssteuerungskonzepte ist die Integration der Logistik als zentrales Rückgrat mit der Aufgabe der Steuerung und Koordination der Material- und Informationsflüsse daher elementar. Inwieweit die Stabilisierung der OEM-Wertschöpfungskette die Materialbeschaffungs- und -bereitstellungsprozesse beeinflusst, wird im Folgenden erläutert.

Die Beschaffungslogistik übernimmt die Aufgabe der Versorgung des Unternehmens mit den für die Leistungserstellung erforderlichen Zulieferteilen. Die logistische Aufgabe bei der Materialversorgung für die Produktion besteht darin, Kapazitäten zu planen, zur Verfügung zu stellen und zu nutzen. Dies dient der Sicherstellung der notwendigen Güter- und Informationsflüsse. So sind insbesondere die folgenden Teilaufgaben durchzuführen:

- Versorgungsplanung, Bedarfsermittlung, Disposition und Belieferung
- Wareneingang, Lagerung, innerbetrieblicher Transport [Schulte 2005] und Bereitstellung

Ein neben der Versorgungssicherheit weiteres Ziel ist es, möglichst wenig Handhabungs-, Transport-, Lager- und Kapitalbindungskosten zu verursachen und somit die Beschaffungskosten zu senken. Abbildung 3-3 verdeutlicht den Anteil der Logistikkosten am Herstellereinkaufspreis bei einer Supply Chain übergreifenden Betrachtung. So können die logistischen Gesamtkosten bei einzelnen Modulen, auf den Herstellereinkaufspreis bezogen, bei bis zu 24 % liegen.

### 3 Chancen und Risiken der stabilen Auftragsfolge in der Automobilproduktion

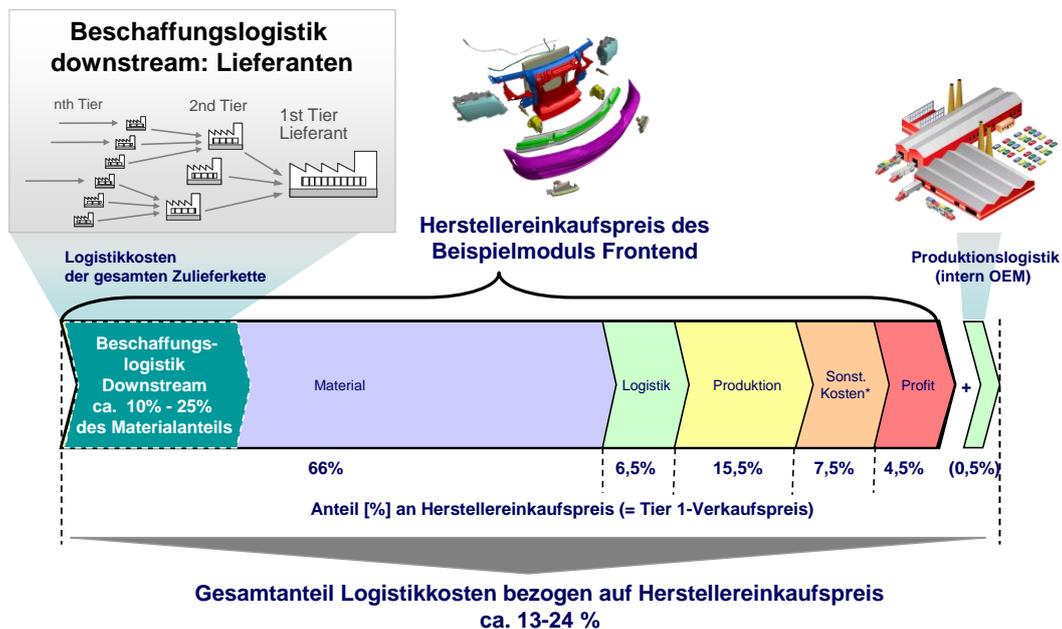


Abbildung 3-3: Anteil der Beschaffungslogistikkosten am Einkaufspreis [Günthner 2007a]

Eine Lösung zur Kostenreduzierung ist die produktionssynchrone Versorgung. Bei diesem Konzept wird die Auftragsauslösung bedarfsgerecht durch die Fertigung veranlasst. In der Automobilproduktion sind zurzeit drei Belieferungsformen üblich: die produktionssynchrone JIT- oder JIS-Belieferung, die Anlieferung über ein Versorgungszentrum oder einen Lieferantenpark und die ein- bis mehrstufige Lageranlieferung (siehe Abbildung 3-4). Der Trend geht zu einer Zunahme der produktionssynchronen Belieferung (vgl. z. B. [Queiser 2006]).

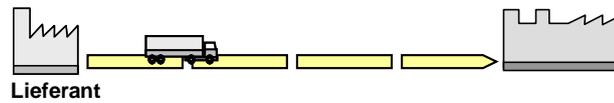
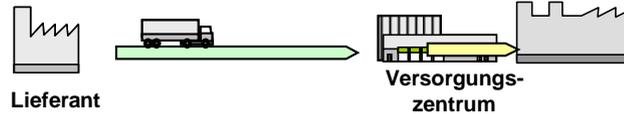
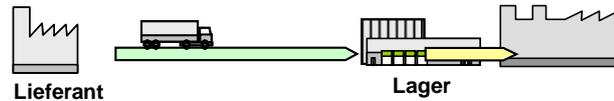
**Direktanlieferung JIS/JIT:****Anlieferung über Lieferantenpark/ Versorgungszentrum:****Konventionelle Lageranlieferung:**

Abbildung 3-4: Vorwiegende Versorgungsprozesse bei OEMs (in Anlehnung an [Bauer 2008])

Bei der JIT-Belieferung werden werthaltige Teile und Komponenten mit geringer Varianz und großem Volumen zeitnahe produziert. Idealerweise erfolgt die Lieferung ohne Zwischenlagerung zum Bedarfszeitpunkt an den Einbauort am Montageband. Dadurch reduziert sich der Bedarf an Lagerhaltung, was sich positiv auf Bestände und Handhabungskosten auswirkt. Auf diese Weise beziehen Automobilhersteller ca. 40 % ihres Volumens, Automobilzulieferer ca. 15 % ihrer Teile [Beutner 2006].

Die JIS-Belieferung erweitert das JIT-Prinzip, indem diese für eine zeitpunkt- und sequenzgenaue Anlieferung am Verbauort sorgt (vgl. z. B. [Thun 2007]). Diese Belieferungsform wird üblicherweise auf Komponenten und Modulen mit großer Variantenvielfalt angewendet. Mit JIS können sowohl die Bestände als auch der Handhabungsaufwand beim OEM minimiert werden. Das Ziel ist es letztlich, eine lagerlose und zugleich wertschöpfungssynchrone Versorgung zu realisieren. Bei der lagerbasierten Versorgung werden die Teile in einem produktionsnahen Lager gepuffert, das entweder vom Automobilhersteller, vom Lieferanten oder vom Logistikdienstleister meist bestandsbezogen gesteuert wird. Lange Zeit war die zweistufige Lagerhaltung mit Lagern beim Zulieferer und beim OEM üblich.

Mittlerweile setzen sich gemeinsame Lager durch, die vom Lieferanten verwaltet werden. Seit Anfang der 1990er Jahre gibt es in der europäischen Automobilindustrie sogenannte Lieferantenparks, Industrieparks, Versorgungszentren oder Verkehrszentren. Von diesen integrierten

Versorgungsstrukturen (im Folgendem kurz als „Lieferantenpark“ bezeichnet) gibt es in Europa mittlerweile nahezu 40 realisierte Projekte [Schraft 2005]. Anhand der Teilprozesse der Beschaffungslogistik werden im Folgenden die Chancen und Risiken eines Auftragsreihenfolgenkonzepts im Materialbeschaffungs- und Logistikprozess systematisch erörtert.

#### **3.1.1.1 Chancen im Materialbeschaffungs- und Logistikprozess**

Den im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen neuen Anforderungen an die OEMs stehen bedeutende Unsicherheitsfaktoren im Zuliefernetzwerk gegenüber. Zum einen sind dies die OEM-internen Produktionsrisiken von Ressourcenausfall oder Qualitäts- oder Ausbeuteschwankungen, und zum anderen ergeben sich diese aus externen Unsicherheiten aufgrund von Bedarfs- und Nachfrageschwankungen [Wagner 2006] sowie von Beschaffungsrisiken im globalen Liefernetzwerk. Dies schlägt sich in einer unzureichenden oder sich permanent verändernden Planungsgrundlage nieder, die von den OEMs über die Zulieferer unterschiedlicher Wertschöpfungsstufen weitergereicht wird.

Für die Versorgungskette hat dies zur Konsequenz, dass Bedarfsprognosen, aber auch kurzfristige Bedarfsmeldungen unzuverlässig sind, was weitreichende Folgen für das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk hat. Die ungenaue Planungsgrundlage führt zu hohen Flexibilitätsanforderungen an die Zulieferer und zur „Unsicherheitsbearbeitung“ auf allen Wertschöpfungsstufen.

Eine wesentliche Grundlage jeder Kunden-Lieferanten-Beziehung ist die Kommunikation der Bedarfe. In der Automobilindustrie erfolgt diese elektronisch über einen EDI in Form wöchentlich aktualisierter langfristiger Prognosen (LAB) mit einem Bedarfshorizont von vier bis zwölf Monaten, von täglich aktualisierten kurzfristigen Bedarfsmeldungen (FAB) mit einem Horizont von fünf bis 19 Arbeitstage und bei JIT-/JIS-Prozessen von taktgebundenen produktionssynchronen Teileabrufen (PAB) mit einem Horizont von wenigen Stunden. Auftragsreihenfolgenkonzepte bewegen sich mit der zeitlichen Fixierung des Auftragsinhalts und der Reihenfolge im Terminhorizont des FABs und des PABs, die im Folgenden bewertet werden.

In Abbildung 3-5 werden zwei in wöchentlichem Intervall versendete FAB eines Zulieferers für unterschiedliche Produkte in absoluten Mengen und relativ in % miteinander verglichen.

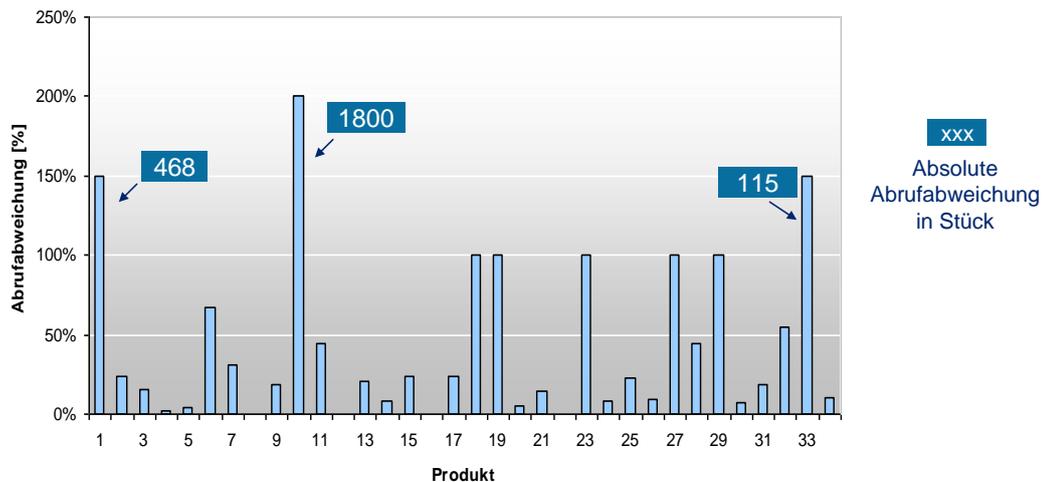


Abbildung 3-5: Bedarfsschwankungen bei OEMs (in Anlehnung an [o. V. 2005])

Auf dieser Grundlage führt der Zulieferer mit seinem PPS-System seine Produktionsplanung durch. In der Produktionsprogrammplanung erfolgt die Festlegung der zu produzierenden Enderzeugnisse nach Art, Menge und Termin, in der Mengenplanung die der zu fertigenden Teile und Baugruppen sowie der zu beschaffenden Materialien und in der Termin- und Kapazitätsplanung die Bestimmung der Start- und Endtermine für die Arbeitsvorgänge inklusive der dafür notwendigen Ressourcen (Maschinen, Mitarbeiter) [Schulte 2005].

Um die in Abbildung 3-5 dargestellten Mengenänderungen zumindest teilweise abzumildern, werden in der Regel Schwankungsbreiten zwischen beiden Wertschöpfungspartnern einer Lieferbeziehung vereinbart. Diese Schwankungsbreite beläuft sich auf ca. 10–20 % vom Indexwert 100. Der Zulieferer verpflichtet sich, innerhalb dieser Schwankungsbreite kurzfristige Mengen- und Zeitänderungen zu realisieren [Monsees 2007].

Die Qualität des Ergebnisses aus der Mengen-, Termin und Kapazitätsplanung auf der Basis schwankender Kundenbedarfe ist unzureichend, um die Kostenziele (niedrige Personal-, Betriebs-/Transportmittel und Bestandskosten) bei Einhaltung der Qualitäts- (hoher Lieferfähigkeit und Termintreue) und Leistungsziele (geringere Durchlaufzeit bei hohem Durchsatz) zu erreichen. In Abbildung 3-6 wird die Konsequenz für den Wertschöpfungsprozess grafisch dargestellt.

### 3 Chancen und Risiken der stabilen Auftragsfolge in der Automobilproduktion

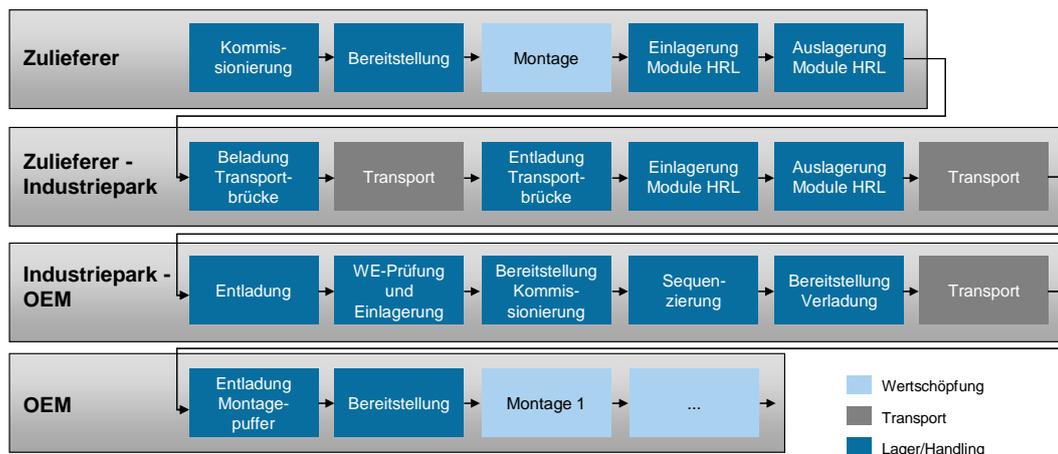


Abbildung 3-6: Exemplarischer Wertschöpfungsprozess vom Lieferanten zum OEM ohne Auftragsreihenfolgenkonzept

Die Supply Chain ist geprägt von ressourcenintensivem Lagern/Puffern, Handling und Transportieren von Teilen. Der Einsatz von Auftragsreihenfolgenkonzepten bei den OEMs hat das logistische Ziel, durch einen frühen und verlässlichen Abruf der Bedarfe die Informations- und Materialflüsse zu stabilisieren. In der Planung der Versorgungsketten bis hin zur operativen Materialbelieferung ergeben sich daraus die folgenden Vorteile.

#### Versorgungsplanung bis Belieferung

Auftragsreihenfolgenkonzepte unterstützen die **Standortflexibilität von Zulieferern**, insbesondere von JIT-/JIS-Lieferanten. So müssen Lieferanten oder Logistikdienstleister nicht mehr zwingend im regionalen Umfeld angesiedelt werden, da längere Transportzeiten planbar sind. Die Gründe für die bisherige OEM-nahe Ansiedlung von Lieferanten liegen unter anderem in der Kurzfristigkeit des Materialabrufs. So bedingen die erst zum Endmontagestart festgelegte Auftragsreihenfolge und die kurze Vorlaufzeit bis zum Einbau des Zulieferteils, dass im Lieferantenpark noch letzte Wertschöpfungsschritte, Kommissionierungen und Sequenzierungen vorgenommen werden müssen [Weyer 2002].

In Abhängigkeit von der Dauer der „frozen period“ und der Produktion des Zulieferteils spielt die Entfernung zwischen Automobilhersteller und Zulieferer daher nur noch eine untergeordnete Rolle. Für Zulieferer, die mehrere Werke eines oder mehrerer Automobilhersteller in einer Region beliefern, kann die Zusammenlegung von Produktionsstandorten realisiert werden, was zu erheblichen Synergieeffekten führen kann, da z. B. mehrfache Verwaltungen der üblicherweise jeweils werksnah

angesiedelten Standorte reduziert oder einzelne Fertigungsgewerke besser ausgelastet werden können. Besonders in einer Region wie Süddeutschland mit mehreren räumlich nahen Automobilproduktionsstandorten von OEMs ist dies denkbar.

Aufgrund der gewonnenen Standortflexibilität könnten Zulieferer von einem zentralen Standort aus verschiedene OEM-Fabriken beliefern. Höhere Transportkosten infolge der längeren Transportwege können durch die Fixkostendegression beim Lieferanten überkompensiert werden [Nickel 2008].

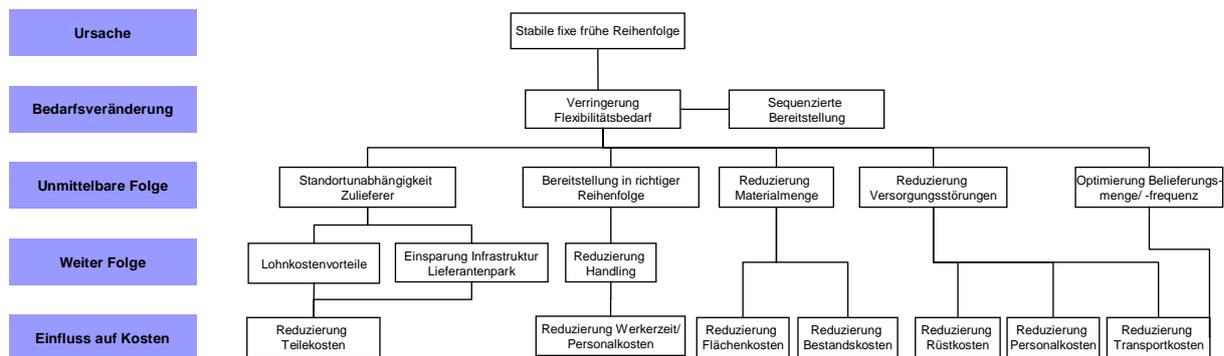


Abbildung 3-7: Potentiale im Materialbeschaffungs- und Logistikprozess – Versorgung bis Belieferung

Ein erweiterter „Sourcing-Radius“ kann für die OEMs auch durch die Produktion und Sequenzierung an Niedriglohnstandorten erhebliche positive Auswirkungen auf die Einkaufspreise haben. Niederschlag findet die Möglichkeit, die Grenze der JIT-Belieferung zu erweitern, im Begriff des Long-Distance-JIT [Hartel 2006]. Der Kostenvorteil der Verlagerung in Niedriglohnländer wird auf 15–20 % geschätzt [Schröder 2004]. Jedoch ist bei der Umsetzung auf die steigenden Transportkosten und die eventuelle Erhöhung des Versorgungsrisikos zu achten.

Das Beispiel eines erweiterten JIT-Radius zeigt Abbildung 3-8. So konnte BMW die Kabelbaumproduktion nach Rumänien verlagern [Bauer 2008]. Bei der Daimler AG im Werk Bremen erfolgt der Perlenkettenabruf z. B. bis zum Lieferanten zweiter Stufe, der aus Stuttgart über eine Vormontage in Hamburg das Werk JIS beliefert [Tracht 2006]. Des Weiteren ergibt sich für die Lieferanten die Möglichkeit, die eigene Versorgung zu optimieren, denn die in Bezug auf Planungssicherheit und Vorlauf bessere Bedarfsvorschau kann der Lieferant erster Stufe an seine Zulieferer (Tier-2) entsprechend weitergeben.

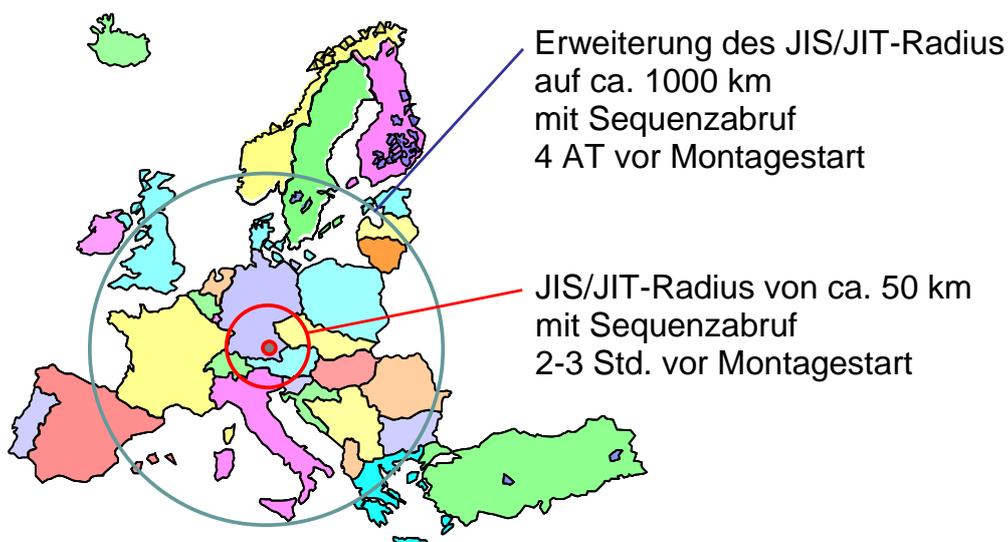


Abbildung 3-8: Erweiterter JIT-/JIS-Belieferungs-Radius durch das Auftragsreihenfolgenkonzept am Beispiel von BMW [Bauer 2008]

Ein weiteres Potential des Konzepts der stabilen Auftragsfolge liegt in der Möglichkeit der **Ausweitung der produktionssynchronen Versorgung**. Insbesondere durch eine Vergrößerung der sequenzgenauen Belieferungsumfänge kann der Handhabungsumfang bei der Materialbereitstellung in der Montage signifikant verringert werden. Interne Kommissionier- und Sequenziervorgänge entfallen bei Direktlieferung. Allerdings ist die exakte Einhaltung der Montagesequenz notwendig.

Unter der Prämisse einer hohen Reihenfolgengüte in der Montage sind so verbrauchsoptimale Materialbestände zu erreichen, da die produktionssynchrone Anlieferung direkt vom Zulieferer erfolgen kann. Besonders bei JIT- und JIS-Umfängen, deren Anteile aufgrund der immer kundenindividuelleren Fahrzeugkonfigurationen stetig steigen, können Sicherheitsbestände und werksnahe Handhabung und Wertschöpfung deutlich reduziert werden. Die Notwendigkeit OEM-naher Lieferantenparks nimmt ab (zur monetären Bewertung der Effekte siehe (Gl. 3-5), (Gl. 3-6) und (Gl. 3-7)).

Durch die Stabilisierung der OEM-internen Produktionsreihenfolge mit frühzeitig fixierten und stabilen Bedarfen können in der „frozen period“ auch die **Produktions- und Logistikprozesse der Lieferanten optimiert** werden. Unter der Voraussetzung, dass die Lieferzeit des Zulieferers kürzer als die Zeit der „frozen

period“ bis zum Montagetakt des Lieferteils in der Fahrzeugproduktion ist, ergibt sich diese Möglichkeit zumindest für die Tier-1-Lieferanten<sup>1</sup>. Der stabile frühzeitige Abruf des Bedarfs ermöglicht die Verringerung der vorgehaltenen Personalflexibilität sowie die Entkopplung von Sonderschichten und Arbeitszeiten beim OEM.

Durch die längere Zeitspanne zwischen Abruf und Anlieferung ist es dem Zulieferer möglich, nach dem konkreten Abruf des Bauteils mehr Produktionsprozess als bisher durchzuführen oder mit dessen Fertigung erst zu beginnen. Unter Umständen ist es dem Zulieferer auch möglich, nicht mehr in Losgrößen mit anschließender Kommissionierung und Sequenzierung, sondern bereits in der Fahrzeugreihenfolge zu produzieren. Infolgedessen kann wegen der sinkenden Logistikkosten in der Beschaffung der **Einkaufspreis der Zulieferteile gesenkt** werden. Das monetäre Potential ( $K_{\text{Teil}}$ ) darin ergibt sich aus der Differenz zwischen den Teilepreisen mit ( $K_{\text{Teil-mit}}$ ) und denen ohne ( $K_{\text{Teil-ohne}}$ ) Auftragsreihenfolgenkonzept.

$$K_{\text{Teil}} = K_{\text{Teil-ohne}} - K_{\text{Teil-mit}} \quad (\text{Gl. 3-1})$$

Müssen bereits ausgelöste Bestellungen beschleunigt, geändert oder storniert werden, so entsteht ein zusätzlicher Versorgungsaufwand (sogenannte **Beschleunigungskosten**) [Melz 2004], um diese Versorgungsstörungen zu kompensieren. Diese Kompensationsaufwendungen können durch die Fixierung der Reihenfolge eliminiert oder **reduziert** werden. Beschleunigungskosten entstehen durch den Zusatzaufwand für Personal, Maschinen in Form von Rüstkosten und Transport in Form von Sonder- oder Expresslieferungen. Die Potentiale darin berechnen sich für den Personalzusatzaufwand ( $K_{\text{Personal}}$ ) aus dem Zeitbedarf pro Versorgungsengpasseingriff ( $t_v$ ) und den Personalkosten pro Zeiteinheit (PK) inklusive Zuschlägen.

$$K_{\text{Personal}} = t_v * PK \quad (\text{Gl. 3-2})$$

---

<sup>1</sup> „First tier supplier“ (englisch „tier“, Etage), wird für den Lieferanten erster Stufe verwendet, für die Lieferanten höherer Stufen dann analog Tier-2-, Tier-3- bis Tier-N-Lieferanten.

Die Kosten für notwendige Rüstvorgänge ( $K_{\text{Rüstvorgang}}$ ) ermitteln sich aus dem Rüstkostensatz (RK) und der Anzahl von Rüstvorgängen (r) aufgrund eines unregelmäßigen Eingriffs.

$$K_{\text{Rüstvorgang}} = r * RK \quad (\text{Gl. 3-3})$$

Für Teile mit geringer Varianz, die üblicherweise in ein- bis mehrstufigen Lagerketten in die Fertigung gebracht werden, ergeben sich Vorteile in der **Optimierung der Belieferungsmenge und -frequenz** sowie des Sicherheitsbestands. Die Kenntnis des exakten Teilebedarfs, sozusagen taktgenau, ermöglicht die kostenoptimierte Steuerung der Transporte durch die Ausschöpfung der Transportkapazitäten. Unnötige Leerfahrten können aufgrund der stabilen Planungsgrundlage vermieden werden. Monetär lässt sich die Optimierung der Belieferungsmenge und -frequenz in Form einer Reduzierung der Transportkosten ( $K_{\text{Transport}}$ ) berechnen. Diese werden aus einem Transportkosten-Satz (TK) und dem Delta des Transportvolumens ( $\Delta TV$ ) ermittelt.

$$K_{\text{Transport}} = \Delta TV * TK \quad (\text{Gl. 3-4})$$

#### **Wareneingang bis Bereitstellung**

Schwankende Bedarfsvorschaueen werden meist durch den Aufbau kapitalintensiver Sicherheitsbestände [Baumgärtel 2004] kompensiert, wodurch Lagerflächen, Materialhandling und operatives Logistikpersonal zusätzlich erforderlich werden [Grinninger 2006]. Nach einer Studie von Holweg und Pil haben die Zulieferer erster Stufe einen Bestand von durchschnittlich 22 Tagen, davon allein einen Fertigwaren-Bestand von 4,5 Tagen, um auf kurzfristige Bedarfsveränderungen reagieren zu können [Holweg 2004]. Der OEM selbst puffert im Werk oder in dessen Nähe noch einmal einen Bestand von durchschnittlich mehr als 4 Tagen.

Durch den frühen und verlässlichen Abruf der Bedarfe ermöglicht der Einsatz von Auftragsreihenfolgenkonzepten bei den OEMs, die Informations- und Materialflüsse zu stabilisieren und dadurch zur **Reduzierung von Sicherheitsbeständen** beizutragen. Die Aufgabe von Sicherheitsbeständen besteht darin, Verbrauchs- und Lieferterminabweichungen, Abweichungen der Liefermenge sowie Fehler oder Ungenauigkeiten bei der Lagerverwaltung aufzufangen und damit die Leistungsbereitschaft des Unternehmens zu gewährleisten [Schulte 2005]. Das

Senkungspotential gilt für alle Stufen der Wertschöpfungskette vom OEM bis zu den Tier-N-Lieferanten.

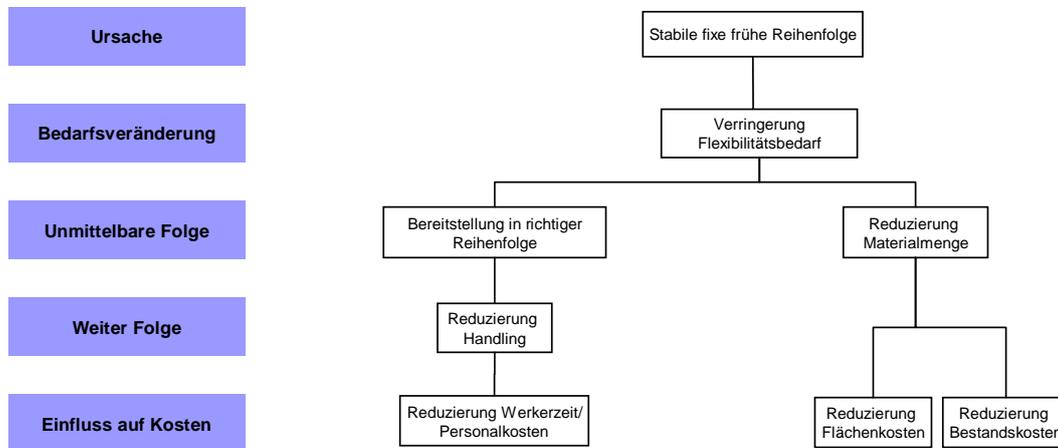


Abbildung 3-9: Potentiale im Materialbeschaffungs- und Logistikprozess – Wareneingang bis Bereitstellung

Monetär wirkt sich dies in der Reduzierung von Kapitalbindungskosten aus. Bei diesen Kosten handelt es sich nicht um tatsächliche, real anfallende, sondern um kalkulatorische Opportunitätskosten [Weber 1995]. Implizite Opportunitätskosten verursachen zwar keinen realen Zahlungsstrom, sind bei einer ökonomischen Betrachtung jedoch unbedingt einzubeziehen [Mankiw 2001]. Die Bestandskosten ( $K_{\text{Bestand}}$ ) werden aus dem kalkulatorischen Zinssatz ( $i$ ), dem Bestandsdelta in % ( $\Delta B$ ) und dem Lagerbestandswert ( $LBW$ ) ermittelt.

$$K_{\text{Bestand}} = i * \Delta B * LBW \quad (\text{Gl. 3-5})$$

Durch die Reduzierung der Bestände bedingt können sowohl in den Lagern als auch in den Pufferzonen **Logistikflächen reduziert** oder anderweitig genutzt werden. Die Flächenkosten ergeben sich aus dem Flächendelta ( $\Delta F$ ) und dem Flächenkostensatz ( $j$ ) der Kostenrechnung. Aufseiten der OEMs wird dies noch durch den steigenden Anteil sequenzierter Bauteile begünstigt, bei denen weder Bestand noch Fläche notwendig ist.

$$K_{\text{Fläche}} = \Delta F * j \quad (\text{Gl. 3-6})$$

Es lässt sich beim Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts auch eine **Reduzierung des Handlingsaufwandes** ableiten. Unter Handlingskosten werden

### 3 Chancen und Risiken der stabilen Auftragsfolge in der Automobilproduktion

alle Kosten zusammengefasst, die bei Umschlagvorgängen, Material zwischen Lager und Transportmittel oder zwischen verschiedenen Transportmitteln, anfallen. Trotz der Erhöhung des Automatisierungsgrades ist das Handling von Materialien immer noch sehr personalintensiv. Abbildung 3-10 gibt einen Überblick über die Handlingsstufen, die beim Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts entfallen, anhand eines exemplarischen Wertschöpfungsprozesses vom Lieferanten zum OEM.

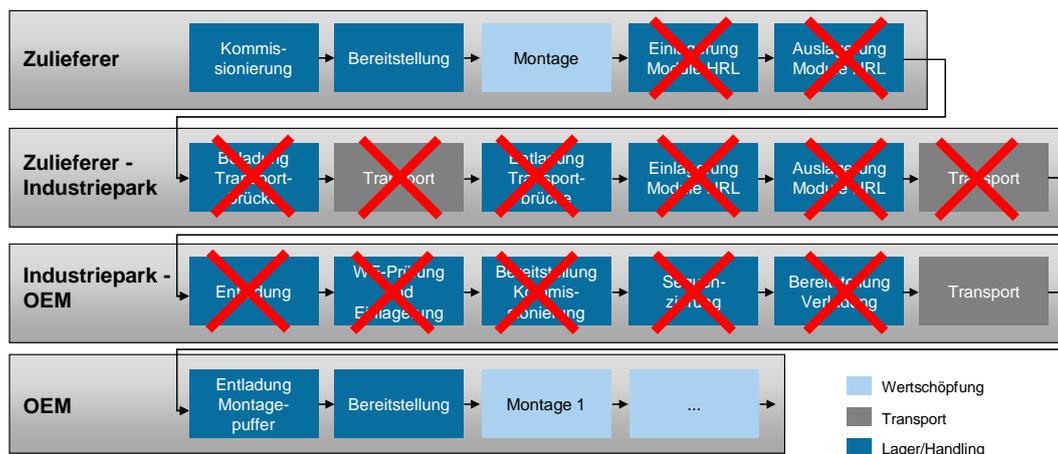


Abbildung 3-10: Exemplarischer Wertschöpfungsprozess vom Lieferanten zum OEM mit Auftragsreihenfolgenkonzept

Die Handlingskosten ( $K_{\text{Handling}}$ ) ergeben sich aus dem Delta zwischen den Handlingsstufen ( $\Delta H$ ) und dem Handlingskostensatz ( $k$ ).

$$K_{\text{Handling}} = \Delta H * k \quad (\text{Gl. 3-7})$$

Abbildung 3-11 fasst die direkten Vorteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts in der Materialversorgung aus Sicht des OEM zusammen.

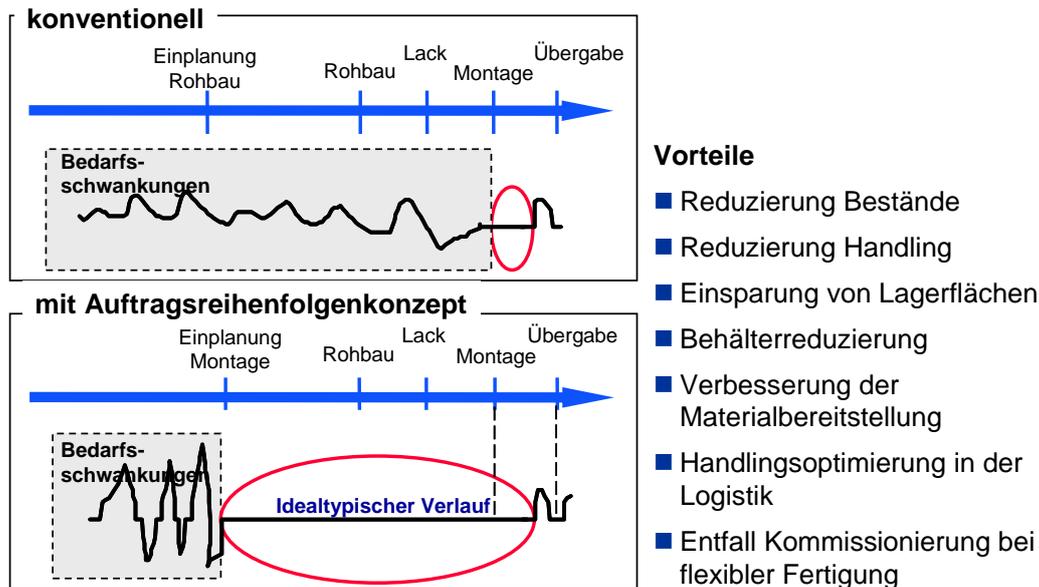


Abbildung 3-11: Vorteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts am Beispiel von BMW (in Anlehnung an [Bauer 2008])

### 3.1.1.2 Risiken im Materialbeschaffungs- und Logistikprozess

Ein besonderes Risiko im Materialbeschaffungs- und Logistikprozess stellt die tatsächlich erreichbare Reihenfolgengüte im OEM-Wertschöpfungsprozess dar. Sie ist im Vorfeld kaum prognostizierbar und macht die tatsächlichen Potentiale in der Beschaffung und Logistik daher schwer kalkulierbar. Insbesondere ist eine JIS-Belieferung nur sinnvoll, wenn der Materialbedarf exakt in der Verbaureihenfolge anfällt, in der dieser beim Lieferanten abgerufen worden ist. Andernfalls werden teure Umsequenzierungen im OEM-Werk notwendig. Abbildung 3-12 zeigt die möglichen Auswirkungen von Sequenzbrüchen.

Besonders bei auftragsbezogenen Bauteilen, die JIS angeliefert werden, erhöhen sich mögliche Logistikkosten durch ein notwendiges kurzfristiges Umsortieren der Soll-Sequenz-genau angelieferten Bauteile in die Ist-Sequenz. Die negativen Auswirkungen betreffen vor allem die im Bedarfsfall notwendigen Flächen und das zur Resequenzierung notwendige Personal. Zudem müssen Sicherheitsbestände und -flächen sowie Beschleunigungskosten in Kauf genommen werden. Auf ladungsträgerbezogene Bauteile hat ein Sequenzbruch, der zu einer Auftragsverspätung führt, keine direkten Auswirkungen, da diese Teile in auftragsunabhängig vorgesehenen Puffern bereitstehen. Eventuell wird jedoch ein höherer Sicherheitsbestand notwendig.

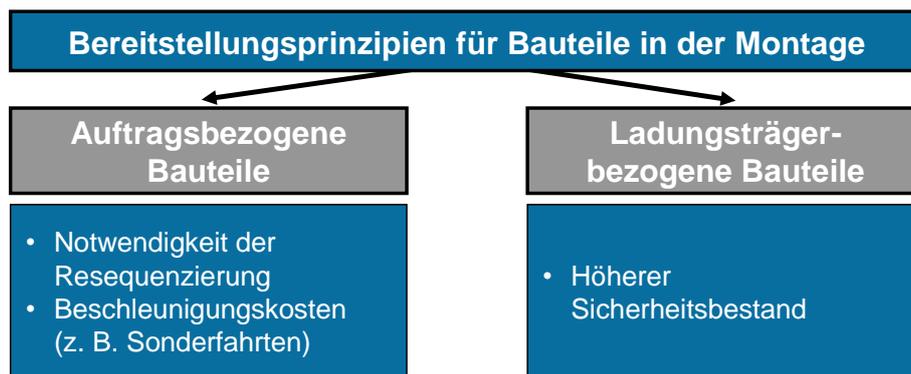


Abbildung 3-12: Auswirkungen von Instabilität der Auftragsfolge auf die Teileversorgung

Die Höhe der genannten Potentiale im Materialbeschaffungsprozess hängt zusammengefasst ab von

- der erreichbaren Reihenfolgengüte,
- dem Zeitpunkt des Abrufs zu Beginn der „frozen period“,
- dem Verbindlichkeitsgrad des Abrufs oder der Frage der Verantwortungsübernahme bei Sequenzabweichungen.

Die spezifische Ausprägung dieser Einflussgrößen bedingt das jeweils zu erwartende Potential in der Umsetzung stark.

### 3.1.2 Chancen und Risiken im Produktionsprozess

Der operative Fahrzeugherstellungsprozess beim OEM umfasst drei Produktionsstufen: Karosserie(roh)bau, Lackierung und Montage, ergänzt um den Auftragseinplanungs- und -steuerungsprozess als Start oder begleitenden Prozess. Anhand dieser Strukturierung werden im Folgenden die Chancen und Risiken erörtert.

#### 3.1.2.1 Chancen im Produktionsprozess

##### Fahrzeugeinplanung und -steuerung

Die Einplanung der Kundenaufträge in die Produktion bildet den Start des werkiternen Fahrzeugauftragsprozesses. Unter Beachtung verschiedenster Restriktionen wird eine Reihenfolgenplanung (Fahrzeugeinplanung) vorgenommen, in der jeder Auftrag mit einer eindeutigen Identifikationsnummer versehen wird. Die wesentliche Aufgabe der Fahrzeugsteuerung ist es, den Fertigungsprozess zu

überwachen und den Karossenfluss durch das Werk nach vorhandenen Restriktionen/Störungen zu steuern.

Für die Fahrzeugsteuerung ergibt sich durch das Auftragsreihenfolgenkonzept ein geändertes Anforderungsprofil. Zwar steht die produzierte Stückzahl nach wie vor an erster Stelle. Daneben ist jedoch auch die Einhaltung der Reihenfolge zu überwachen und bei deren Verletzung gegenzusteuern. Dies bedeutet jedoch nicht zwangsläufig einen Mehraufwand für die Fahrzeugsteuerung – im Gegenteil. Denn die durch die Einführung des Auftragsreihenfolgenkonzepts erhöhte Prozesstransparenz unterstützt die Arbeit der Fahrzeugsteuerung. Somit ist es trotz gestiegener Anforderungen möglich, dass sich die Anzahl der Steuereingriffe durch die Fahrzeugsteuerung reduzieren lässt.

$$K_{Steuer} = \Delta St * t_{st} * PK \quad (\text{Gl. 3-8})$$

Die Potentiale in der Fahrzeugsteuerung berechnen sich aus dem Delta der Steuereingriffe ( $\Delta St$ ) als Kostentreiber, multipliziert mit dem Zeitbedarf pro Steuereingriff ( $t_{st}$ ) und den Personalkosten pro Zeiteinheit ( $PK$ ).

### **Karosseriebau**

Der Karosseriebau lässt sich in die drei nacheinander ablaufenden verketteten Prozessabschnitte Unterbau/Bodengruppe, Aufbau/Karosseriegerippe und Anbauteile/Finish unterteilen. Lediglich der letzte Abschnitt ist von manuellen Tätigkeiten geprägt. Ansonsten liegt der Automatisierungsgrad bei über 80 % [Bauer 2008]. Die Fertigungsstruktur im Karosseriebau besteht aus einer Hauptlinie und mehreren, meist seitlich angeordneten, teils fördertechnisch verketteten Teilezuführlinien oder manuellen Materialbereitstellplätzen. Die fertigen Rohkarossen werden meist in einem KarosSENSpeicher an den nachgelagerten Lackprozess übergeben.

Der hohe Automatisierungsgrad bedingt, dass durch die Einführung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts im Karosseriebau lediglich Potentiale in Beständen an Teilen vorhanden sind. Diese Potentiale lassen sich auch in allen Prozessen finden, in denen Material konventionell am Verbauort bereitgestellt wird. Ausführungen dazu erfolgen im allgemeinen Abschnitt „Prozessübergreifende Potentiale“.

#### Lackierung

Die zwei wesentlichen Bereiche der Lackierung sind Grund-/Basislack und Dekor-/Deck-/Aufbaulack, in vielen Fällen getrennt durch einen Sortierspeicher zur Herstellung von Farbblöcken. Im Grundlackbereich erfolgt die Vorbehandlung der Karossen, die im Wesentlichen aus einer Reinigung und Entfettung der Oberflächen besteht. Anschließend werden eine kataphoresische Tauchlackierung zum Korrosionsschutz und der Unterbodenschutz aufgetragen. Der Decklackbereich beginnt mit dem Aufbringen des Füllers, was überwiegend automatisiert, teils aber auch manuell erfolgt. Im Anschluss daran werden der farbgebende Basis- und der Klarlack über Ringleitungen aufgebracht. Die farbige Rohkarosse wird ergänzt um wagenfarbige Anbauteile.

Da die Prozesse im Grundlackbereich meist nahezu unabhängig vom Fahrzeugtyp sind, hat eine Umsetzung des Auftragsreihenfolgenkonzepts keine unmittelbaren Auswirkungen auf die hier ablaufenden Prozesse. Im Dekor-/Deck-/Aufbaulackbereich sind demgegenüber Potentiale in nahezu allen Teilbereichen feststellbar. Zunächst ist hierbei die Größe der Farbblöcke zu nennen (vgl. Abbildung 3-13).

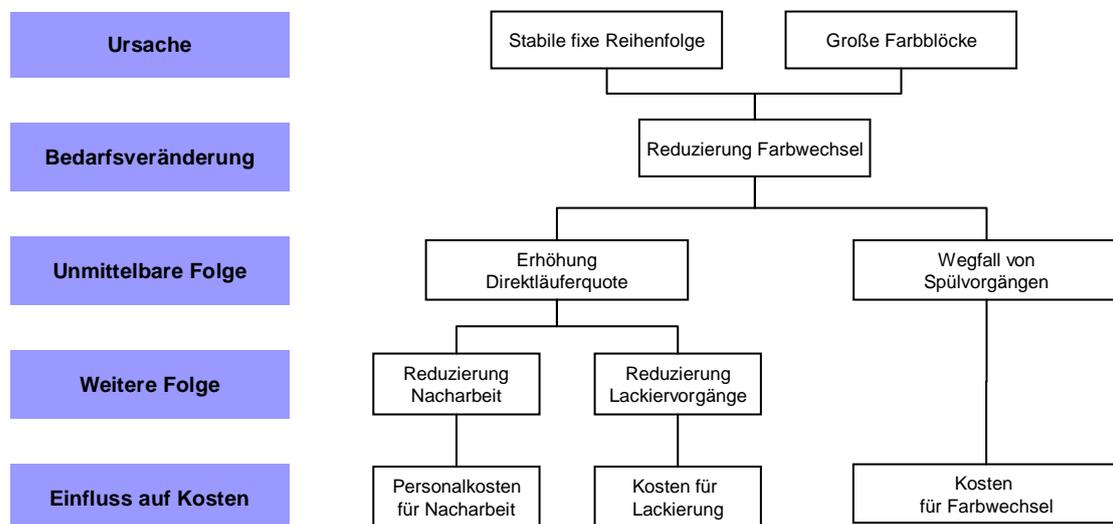


Abbildung 3-13: Potentiale in der Lackierung – Optimierung Anlageneinsatz

Sowohl beim Füllerlack als auch beim Basislack müssen vor jedem Farbwechsel die Ringleitungen gespült werden. Jeder Spülvorgang führt zu Kosten durch

Taktverlustzeiten<sup>1</sup>, zusätzlichen Materialbedarf und Entsorgungskosten für die ausgespülte Farbe. Zusätzlich zu den direkten Kosten für die Spülvorgänge ist beim Basislack zu beobachten, dass sich häufige Farbwechsel negativ auf die Lackqualität auswirken. Die Ursache dafür sind Ablagerungen von Farbpartikeln in den Filtern und an den Spritzdüsen der Anlage.

Eine Reduzierung der Farbwechsel führt somit nicht nur zu einer Reduzierung der direkten Kosten, sondern auch zu einer Erhöhung der Direktläuferquote<sup>2</sup>. Dies wiederum führt dazu, dass sich die Anzahl der Lackiervorgänge und die Nacharbeit reduzieren lassen. Das monetäre Potential in der **Reduzierung der Farbwechsel** ( $K_{\text{Farbe}}$ ) berechnet sich aus den Kosten pro Farbwechsel (FK), multipliziert mit der Änderung der Anzahl der Farbwechsel (f).

$$K_{\text{Bes tand}} = f * FK \quad (\text{Gl. 3-9})$$

Die Einsparungen durch die **Erhöhung der Direktläuferquote** ergeben sich aus der Änderung der Direktläuferquote ( $\Delta D$ ) in Form der Anzahl der Fahrzeuge, multipliziert mit den Kosten pro Lackiervorgang (LK).

$$K_{\text{Direktläufer}} = \Delta D * LK \quad (\text{Gl. 3-10})$$

Der Anteil aus der Nacharbeit fehlt in diesen beiden Gleichungen, da die Einsparungen durch die Reduzierung der Nacharbeit über den gesamten Prozess hinweg betrachtet werden. Dies gilt auch für die Berechnungen der Potentiale aus der Reduzierung der Nacharbeit aller weiteren Teilprozesse, ohne dass im weiteren Verlauf dieser Arbeit auf diese Besonderheit explizit hingewiesen wird.

Ähnliche Potentiale sind in Prozessen vorzufinden, in denen Anbauteile lackiert werden (sogenannten Lacknebenflüssen). Im Bereich des Dekors gibt es Potentiale, die zum einen aus einer gleichmäßigeren Auslastung und zum anderen aus einer verbesserten Materialbereitstellung herrühren. Da beide Potentiale aber in anderen Bereichen, wenn auch in geringfügig unterschiedlicher Ausprägung,

---

<sup>1</sup> Nichtwertschöpfend nutzbare Zeiten.

<sup>2</sup> Direktläuferquote, auch „first pass yield“, gibt den Anteil von Fahrzeugen ohne Nacharbeit und Ausschuss zum Ende eines Prozesses an.

ebenso vorzufinden sind, erfolgt die Erläuterung im Abschnitt „Prozessübergreifende Potentiale“.

#### **Montage**

Der Montagestart erfolgt durch die Entnahme einer lackierten Karosserie aus dem vorgelagerten Karosserienspeicher nach den Restriktionen der Montage, um einen baubaren Fahrzeugmix zu gewährleisten. Ohne Auftragsreihenfolgenkonzept werden bei der Auslagerung die Abrufe zu internen und externen JIS-Lieferanten erst zu diesem Zeitpunkt generiert. Die Endmontage ist als reine Fließfertigung mit geringem Automatisierungsgrad zu sehen, in der die Materialbereitstellung sowohl konventionell (unvereinzelt und sortenrein in Ladungsträgern), sequenziert (vereinzelt in Verbaureihenfolge) als auch in Teilekits/Warenkörben (Teile für einen Auftrag oder Montageschritt) erfolgt.

Wie in anderen Teilprozessen mit manuellen Arbeitsumfängen ergeben sich als Potentiale eine Optimierung der Materialbereitstellung, eine erhöhte Auslastung und eine Verbesserung der Qualität hinsichtlich Direktläufern.

#### **Prozessübergreifend**

Das Ziel jedes Unternehmens muss es sein, das Gesamtoptimum über den Prozess hinweg zu erzielen und nicht allein auf Einzeloptima abzielen. Das Auftragsreihenfolgenkonzept kann daher nicht nur als operatives Steuerungssystem aufgefasst werden, sondern auch als Managementphilosophie zur Umsetzung eines prozessorientierten, ganzheitlichen Managementansatzes. Nicht mehr die Optima der Einzelbereiche stehen im Fokus, sondern die Kundenaufträge und deren optimaler Durchlauf durch die Produktion rücken in den Mittelpunkt des Interesses. Die Unternehmensbereiche werden anhand zusätzlicher Kennzahlen in Bezug auf die Durchlaufzeit und Reihenfolgenstabilität gemessen.

Dadurch entsteht mehr **Transparenz** des Verbleibs der einzelnen Karosserien, aber auch des Gesamtprozesses. Fehler im Prozess, wie fehlende Teile oder überdurchschnittlich lange dauernde Nacharbeit, werden unmittelbar sichtbar, da die betroffenen Karosserien in der Reihenfolge zurückfallen. Prozessprobleme werden damit schneller entdeckt und können schneller behoben werden, was positive Auswirkungen auf die Prozesssicherheit hat. Ebenso folgt unmittelbar daraus eine Erhöhung der Prozessdisziplin, da jede Abweichung vom Soll-Prozess direkte Auswirkungen auf die erfolgsrelevanten Kennzahlen eines Bereichs hat.

Daher ist im gesamten Produktionsprozess eine Verbesserung der Qualität zu erwarten.

Eine weitere Folge des Auftragsreihenfolgenkonzepts ist eine Beruhigung des PP. Bereits bei den Potentialen im Dekor und der Montage wurde auf einen verbesserten Fahrzeugmix und die Möglichkeit einer frühzeitigen Kapazitätsplanung hingewiesen. Dies hat jedoch nicht nur monetär bewertbare Auswirkungen, sondern führt auch zu einer Glättung der Produktion. Das bedeutet, dass die Werker in der Montage zum einen weniger Belastungsschwankungen ausgesetzt sind und zum anderen genau wissen, wann Belastungsspitzen auftreten. Sie können somit ruhiger und kontrollierter arbeiten, was ebenfalls zu einer verbesserten Qualität führen dürfte.

Die Einflüsse auf die Qualität sind somit sehr vielschichtig und nicht gegeneinander abzugrenzen. In dieser Arbeit werden die **Einsparungen durch die Qualitätsverbesserung** ( $K_{NA}$ ) daher gesamtheitlich für die einzelnen Fertigungsbereiche (Karosseriebau, Lackiererei, Montage) betrachtet.

Die Reduzierung der Nacharbeitskosten pro Fahrzeug ergibt sich aus der Änderung der Nacharbeit in % ( $\Delta NA$ ), multipliziert mit den aktuellen Nacharbeitskosten (NAK) pro Fahrzeug.

$$K_{Nacharbeit} = \Delta NA * NAK \quad (\text{Gl. 3-11})$$

Ein weiteres Potential ergibt sich unmittelbar aus einem Kernziel des Auftragsreihenfolgenkonzepts: der Stabilisierung der Auftragsdurchlaufzeiten. Während das Fertigstellungsdatum eines Kundenauftrags aktuell starken Schwankungen unterworfen ist, ermöglicht eine stabile Reihenfolge dessen fast exakte Vorhersage. Die verringerte Schwankungsbreite der Auftragsdurchlaufzeiten entspricht der schmäleren Verteilungskurve in Abbildung 3-14 (grüne Kurve). Zudem wird die rot markierte Schleppe eliminiert, die stark verspäteten Aufträgen entspricht.

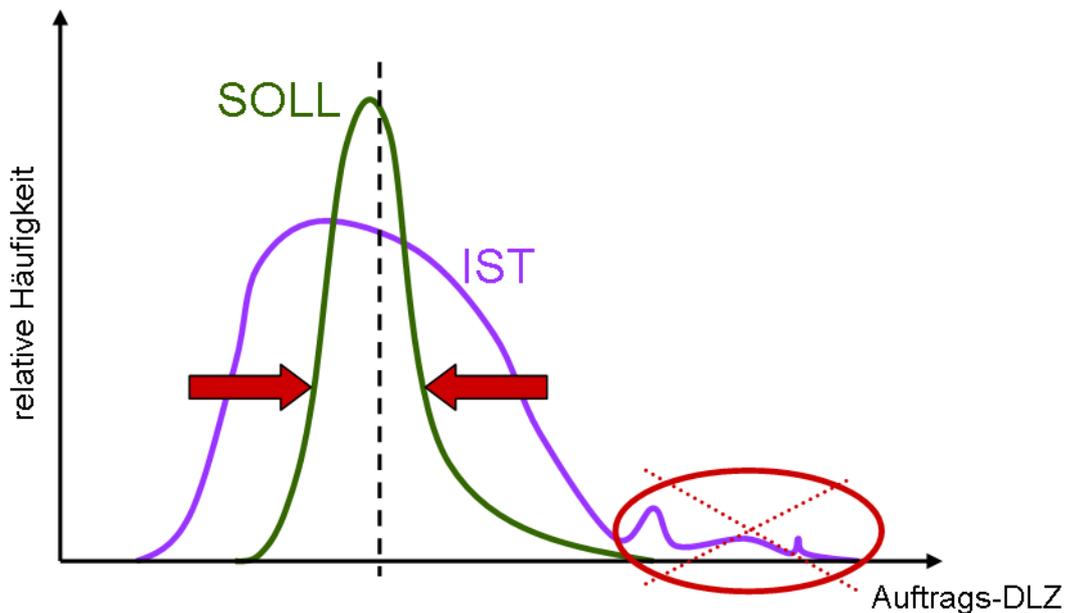


Abbildung 3-14: Prozessübergreifende Potentiale – Optimierung Durchlaufzeit

Die Stabilisierung der Durchlaufzeit darf hierbei nicht mit einer Verkürzung der mittleren Durchlaufzeit (gestrichelte schwarze Linie) verwechselt werden, die kein unmittelbares Ziel des Auftragsreihenfolgenkonzepts darstellt. Nichtsdestotrotz sind auch bei der mittleren Durchlaufzeit der Karosserien Änderungen zu erwarten. Ist die Änderung der Durchlaufzeit, z. B. aus Materialflusssimulationen, bekannt, so lässt sich daraus die **Änderung der Bestandskosten für Karosserien** ( $K_{\text{Karossenbestand}}$ ) wie folgt ermitteln.

Sie berechnen sich aus den kalkulatorischen Zinsen ( $m$ ), multipliziert mit dem Wert eines Fahrzeugs ( $WFZG$ ) und dem Quotient aus der Änderung der Durchlaufzeit ( $\Delta DLZ$ ) und der Taktzeit.

$$K_{\text{Karossenbestand}} = \frac{\Delta DLZ}{TZ} * WFZG * m \quad (\text{Gl. 3-12})$$

Ein weiteres prozessübergreifendes Potential liegt in der Optimierung des Kapazitätseinsatzes. Dadurch dass die Fahrzeugreihenfolge bereits frühzeitig festgelegt und stabil gehalten wird, kann sichergestellt werden, dass ein optimierter Fahrzeugmix bearbeitet wird. Einer beständigen Reaktion auf Belastungsschwankungen bei den Werkern wird somit entgegengewirkt. Zudem kann bereits frühzeitig eine Kapazitätsplanung der manuellen Arbeiten durchgeführt

und damit eine optimale Kapazitätsauslastung der Mitarbeiter (Erhöhung der Auslastung) erreicht werden.

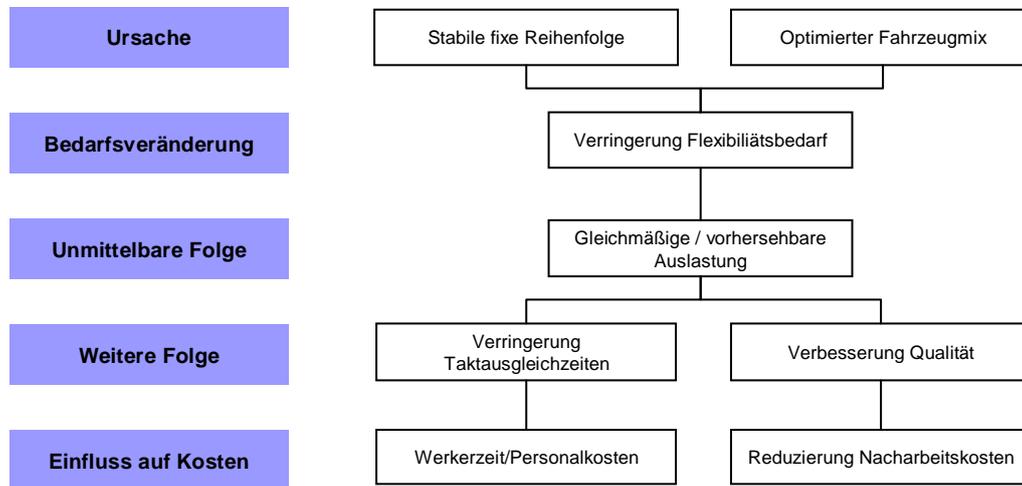


Abbildung 3-15: Prozessübergreifende Potentiale – Optimierung Kapazitätseinsatz

Daraus ergibt sich eine unmittelbare Einsparung von Werkerzeit und damit von Personalkosten. Für die Berechnung der **Einsparung durch Taktungleichzeiten** ( $K_{TA}$ ) ergibt sich die folgende Gl.:

$$K_{TA} = (FPK + FPGK) * \Delta TAZ \quad (\text{Gl. 3-13})$$

Das Potential berechnet sich aus den Fertigungspersonalkosten (FPK) pro Zeiteinheit und dem variablen Anteil der Fertigungspersonalgemeinkosten (FPGK) pro Zeiteinheit, multipliziert mit der Änderung der Taktungleichzeit pro Fahrzeug ( $\Delta TAZ$ ).

Durch die Determinierung der Materialbedarfe aufgrund der Reihenfolgenstabilität können Einzelteile sequenziert von internen oder im Idealfall von externen Zulieferern ohne Zwischenhandling bereitgestellt werden. Dies ermöglicht am Verbauort die Reduzierung von Suchvorgängen bei der Materialentnahme und den Vorgang des Abgleichs des Bauauftrags mit der Teile-/Lademittelkennzeichnung durch den Werker. Für die monetäre Bewertung der **Reduzierung von Abgleichvorgängen** ( $K_{AV}$ ) wird in dieser Arbeit die folgende Gl. verwendet:

$$K_{AV} = (FPK + FPGK) * \Delta t_{AV} \quad (\text{Gl. 3-14})$$

Zur Ermittlung der Kosten für Abgleichvorgänge werden die Fertigungskosten (Personal- und Gemeinkosten) mit dem Zeitbedarf pro Abgleichvorgang ( $\Delta t_{AV}$ ) multipliziert. Zur Ermittlung des Gesamtjahrespotentials erfolgt eine Multiplikation mit der Anzahl von Fahrzeugen und beteiligten Mitarbeitern pro Jahr.

Ein weiteres Potential besteht in einer deutlich schlankeren Materialbereitstellung an der Linie. Dadurch dass die Abfolge der Karosserien bekannt und stabil ist, kann die Materialmenge an der Linie reduziert werden oder, wie oben beschrieben, sequenziert bereitgestellt werden, da Positionsschwankungen bei den Karosserien in der Reihenfolge nicht mehr ausgeglichen werden müssen. Dies reduziert unmittelbar die Laufwege der Werker und damit die Personalkosten. Die Ersparnis der **reduzierten Laufwege**  $K_{\text{Laufwege}}$  berechnet sich über die Änderung der Wegezeit ( $t_{\text{Weg}}$ ) aus dem Delta der Wegezeit ( $\Delta W$ ) und der Geschwindigkeit – idealerweise ermittelt aus MTM<sup>1</sup>-Bausteinen. Die Fertigungskosten sind als zeitabhängiger Kostensatz zu verwenden.

$$K_{\text{Laufwege}} = (FPK + FPGK) * t_{\text{Weg}} \quad (\text{Gl. 3-15})$$

Zugleich führt die verbesserte Materialbereitstellung zu einer Reduzierung der Flächenkosten an der Linie (vgl. (Gl. 3-17)).

---

<sup>1</sup> Methods-Time Measurement, übersetzt Methodenzeit-Messung: MTM ist ein Instrument zur Beschreibung, Strukturierung, Gestaltung und Planung von Arbeitssystemen mittels definierter Prozessbausteine, die in Zeiten überführbar sind.

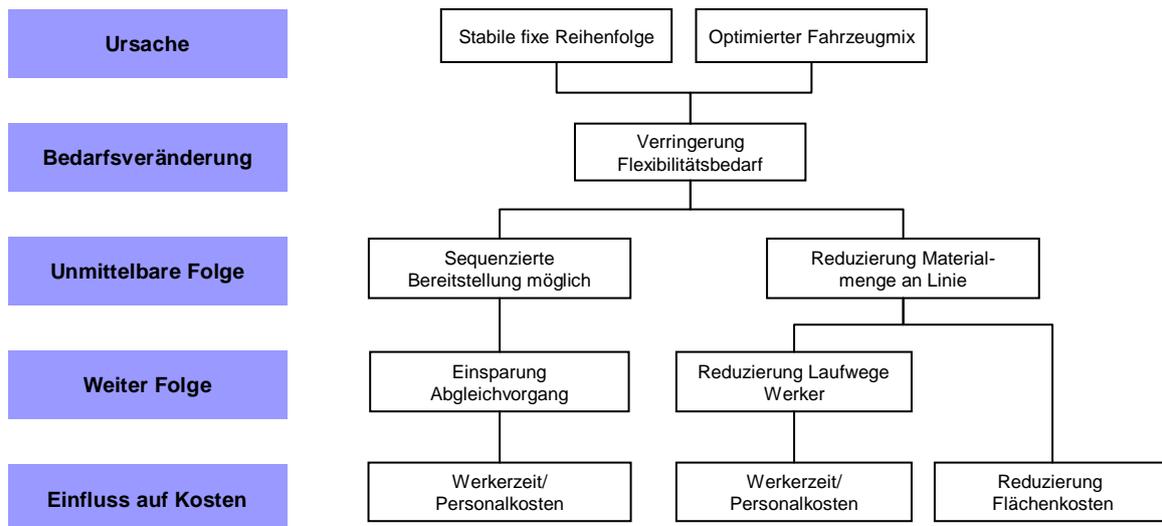


Abbildung 3-16: Prozessübergreifende Potentiale – optimierte Materialbereitstellung

Bei der Festlegung der verbauornahen Soll-Lager-/Pufferbestände gilt es, einen Zielkonflikt zu lösen. Je größer der Sicherheitsbestand ist, desto höher sind die Lagerhaltungskosten, aber desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit von Fehlmengen und der damit verbundenen Kosten. Zu diesen Kosten gehören z. B. Beschleunigungskosten für die kurzfristige Materialbeschaffung, wenn die Lagerbestände nicht ausreichen, oder Kosten eines Fertigungsausfalls wegen fehlenden Materials. Dieser Zielkonflikt ist in Abbildung 3-17 grafisch dargestellt.

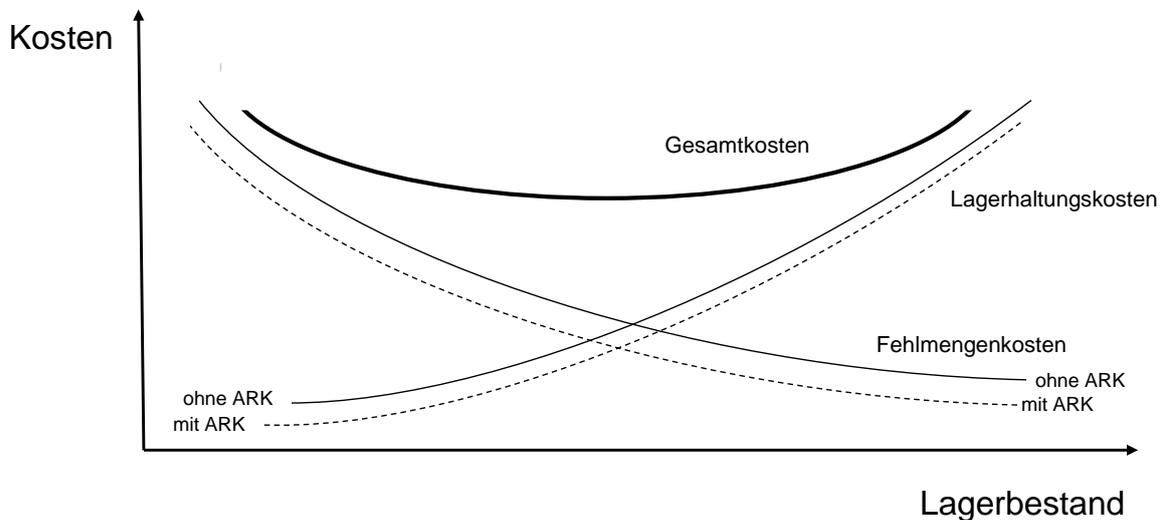


Abbildung 3-17: Zielkonflikt Lagerbestand (in Anlehnung an [Pfohl 2003])

Aufgrund der frühzeitigen fixen Festlegung der Fahrzeugreihenfolge ist eine exakte zeitliche Determinierung der Materialbedarfe an Baugruppen, Komponenten und Einzelteilen für die Senken im Karosseriebau möglich, so dass dadurch das Risiko von Fehlmengen gemindert wird. Dies ermöglicht die Reduzierung des zurzeit vorgehaltenen Flexibilitätsbestands an Teilen und somit des Lagerbestands. Kostentechnisch wirkt sich dies in Form einer **Reduzierung von Bestands-/Kapitalbindungskosten** ( $K_{\text{Bestand}}$ ) und **Lager-/Flächenkosten** ( $K_{\text{Fläche}}$ ) aus (siehe Abbildung 3-18).

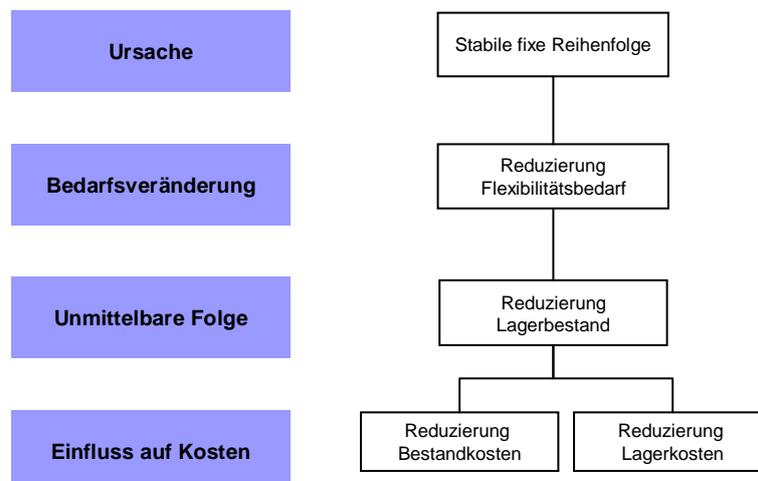


Abbildung 3-18: Prozessübergreifende Potentiale – Optimierung des Lagerbestand

Die Bestandskosten werden aus dem kalkulatorischen Zinssatz (i), dem Bestandsdelta in % ( $\Delta B$ ) und dem Lagerbestandswert (LBW) ermittelt.

$$K_{Bestand} = i * \Delta B * LBW \quad (\text{Gl. 3-16})$$

Die Flächenkosten ergeben sich aus dem Flächendelta ( $\Delta F$ ) und dem Flächenkostensatz (j) aus der Kostenrechnung.

$$K_{Fläche} = \Delta F * j \quad (\text{Gl. 3-17})$$

Zusammengefasst ergeben sich die folgenden Potentiale im PP.

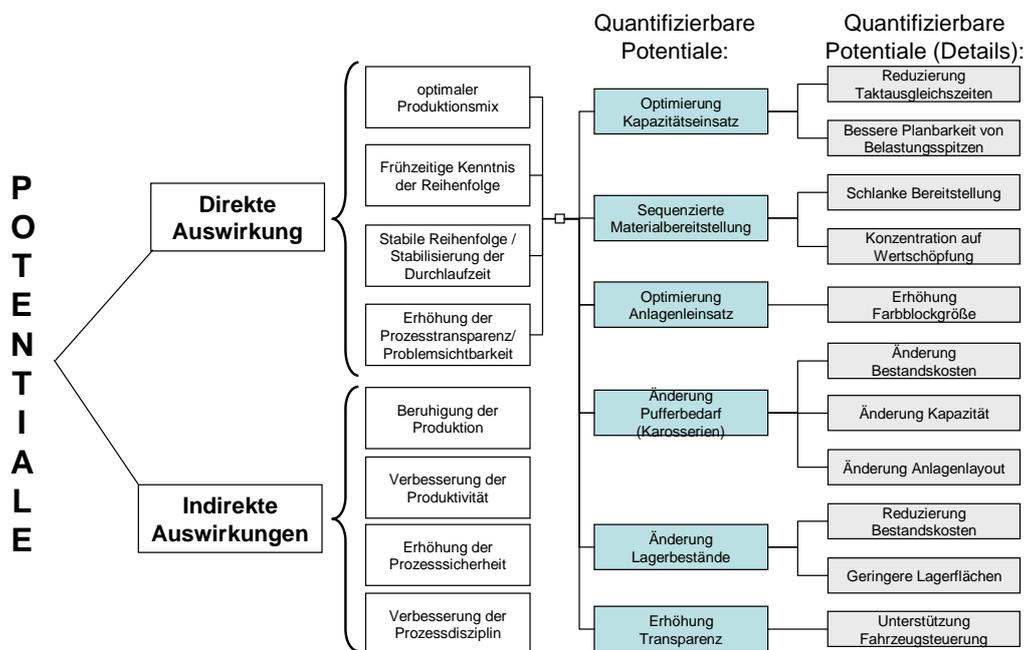


Abbildung 3-19: Potentiale im Produktionsprozess

### 3.1.2.2 Risiken im Produktionsprozess

Durch die Umstellung auf ein Auftragsreihenfolgenkonzept kann in der Produktion etwaiger zusätzlicher Aufwand entstehen, um die genannten Einflussfaktoren zu minimieren. Tabelle 3-1 stellt die Kostentreiber qualitativ im Überblick dar.

Um die mannigfaltigen Einflussfaktoren in den Griff zu bekommen, kann es insbesondere notwendig werden, sequenzerhaltende und -wiederherstellende Maßnahmen zu ergreifen. Diese umfassen z. B. zusätzliche Sortierpuffer für Karosserien, eine Änderung der Fertigungsstruktur wie eine Auflösung von

### 3 Chancen und Risiken der stabilen Auftragsfolge in der Automobilproduktion

Parallelprozessen zur Ein-Linien-Fertigung sowie einen sequenz-erhaltenden Materialfluss und damit eventuell die Abkehr von der Losgrößenfertigung hin zu einem Einzelstückfluss, was insbesondere in der Lackiererei zu zusätzlichem Aufwand führen kann.

Die Einführung neuer Steuerungssysteme, die Planung und Umsetzung des neuen Konzepts sowie eventuelle Notfallkosten durch Sequenzverwirbelungen können zu weiteren Kosten führen. Zudem kann die mögliche Umsetzung einer späten Kundenauftragszuordnung zur Karosserie Änderungen am Produkt bis zur Variantenreduzierung nach sich ziehen.

Karosserie-sortierpuffer	Sequenzhaltender Materialfluss	Minimierung Einflussfaktor Produkt	Steuerungssystem
<ul style="list-style-type: none"> <li>Anzahl Stellplätze</li> <li>Leistung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Änderungsumfang Materialflusssysteme</li> <li>Zusätzliche Fertigungskosten</li> <li>Zusätzliche Qualitätssicherungskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Produktionskostenerhöhung</li> <li>Produktkostenerhöhung</li> <li>Änderungsumfang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Komplexität der Steuerung</li> <li>Umfang der Steuerung</li> </ul>
Fertigungsstrukturkosten	Planungskosten	Umstellungskosten	Notfallkosten
<ul style="list-style-type: none"> <li>Änderungsumfang Fertigungsstruktur</li> <li>Änderungsumfang Prozess</li> <li>Prozessqualität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Umfang der Planung</li> <li>Zeitraum der Planung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schulungsaufwand</li> <li>Änderungsumfang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Handlingsaufwand</li> <li>Flächenbedarfe</li> <li>Bestandsumfang</li> <li>Resequenzierumfang</li> </ul>

Tabelle 3-1: Kostentreiber bei Umsetzung von Auftragsreihenfolgenkonzepten [Günthner 2007b]

#### 3.1.3 Chancen und Risiken im Vertriebs- und Distributionsprozess

Als Unternehmensziele der Distribution gelten die langfristige Sicherstellung des Absatzmarkts und die Gewährleistung der Kundenzufriedenheit. Für die Distributionslogistik ergeben sich daraus zwei Ziele [Ihme 2006]: Einerseits muss ein Lieferservice bereitgestellt werden, um die Kunden bedarfsgerecht mit Gütern zu versorgen. Dabei ist es die Aufgabe der Logistik, die richtige Menge der richtigen Objekte am richtigen Ort zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Qualität und zu den richtigen Kosten zur Verfügung zu stellen ("6R der Logistik" [Günthner 2007a]).

Andererseits müssen die Distributionskosten dabei so niedrig wie möglich gehalten werden. Das heißt, die Servicekosten, die von der Übernahme der Ware von der Produktion über alle Lagerstufen bis zur Auslieferung an die Kunden entstehen, müssen möglichst minimal gehalten werden [Ihme 2006]. Auftragsreihenfolgenkonzepte bieten dem Vertrieb probate Mittel zur Erreichung der Ziele.

### **3.1.3.1 Chancen im Vertriebs- und Distributionsprozess**

Die frühzeitige Festlegung der Kundenauftragsreihenfolge in Verbindung mit der konsequenten Einhaltung der Sequenz bis zur Übergabe an den Vertriebs- und Distributionsprozess führt zu stabilen Auftragsdurchlaufzeiten [Meißner 2007] und damit zu exakt prognostizierbaren Fertigstellungs- oder Lieferterminen. Im Gegensatz zur derzeitigen sukzessiven Konkretisierung des Liefertermins im zeitlichen Verlauf ermöglicht diese eine frühzeitige Festlegung des Ist-Liefertermins vor Kunde. Eine 100-%ige Liefertreue (zumindest bis ZP 8<sup>1</sup>) wird dadurch ebenfalls gewährleistet.

Als Argument für die Steigerung der Kundenzufriedenheit durch eine emotionale Bindung an den Hersteller ergibt sich für den Kunden darüber hinaus die Möglichkeit, den Produktionsfortschritt seines Fahrzeugs online zu verfolgen. In einem Kano-Modell würde dies einem Begeisterungsmerkmal entsprechen (siehe Abbildung 3-20).

---

<sup>1</sup> Der Zählpunkt 8 ist ein Auftragsstatuspunkt im KAP, der im Automobilwerk die Fertigstellung und Übergabe des Fahrzeugs an die Distribution darstellt.

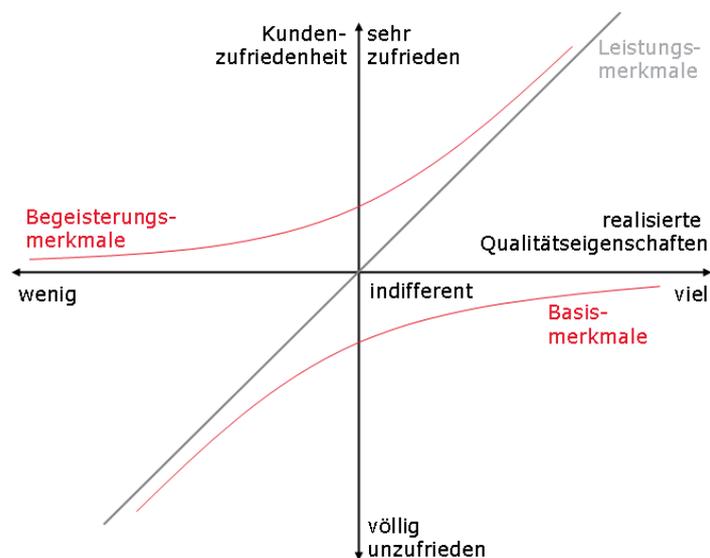


Abbildung 3-20: Kano-Modell [Lindemann 2007]

Weitere positive Effekte durch die frühzeitige Planbarkeit finden sich in der operativen Distributionslogistik von Komplettfahrzeugen.

In der Automobilindustrie hat der Distributionsprozess meist die folgenden Ausprägungen: Die Fahrzeuge werden an einem Produktionsstandort hergestellt und dann je nach Auslieferungsziel, national, innerhalb Europas oder nach Übersee, mit unterschiedlichen Transportmitteln, entweder mit LKW-Fahrzeugtransportern oder der Bahn, zu den Zielbahnhöfen transportiert. Von dort aus werden die Fahrzeuge mit nationalem Bestimmungsort an die Händler ausgeliefert, wo die Kunden ihre Fahrzeuge in Empfang nehmen können. Bei internationalen Überseezielen werden die Fahrzeuge auf besondere Fahrzeugtransportschiffe geladen und gelangen über weitere Zielbahnhöfe und erneut mit LKW-Fahrzeugtransportern zum Händler.

Eine weitere Auslieferungsmöglichkeit ist die direkte Übergabe des Fahrzeugs an den Kunden in einem dem Werk angeschlossenen Kundencenter. Nach der Prozessstrukturierung in der Distributionslogistik wird im Folgenden das Potential bewertet. Der Ausgangspunkt aller Distributionsprozesse ist die Fahrzeugbereitstellung. Die Fahrzeuge werden nach der Übernahme von der Produktion je nach Zielbahnhof und Transportmittel in unterschiedlichen Bereitstellungs- und Verladezonen transportiert.

#### 3.1.3.1.1 LKW-Verladung

Ist eine Verladereihe vollständig gefüllt, so ist diese bereit zur Abholung durch die Spediteure. Die einzelnen Verladereien sind dabei, wie oben beschrieben, nach Spediteuren und Zielbahnhöfen sortiert, damit jeweils ein LKW mit einer kompletten Ladung für einen Zielbahnhof beladen werden kann. Damit die bereitstehenden Fahrzeuge möglichst zeitnahe abgeholt werden und möglichst schnell ihren Bestimmungsort erreichen, werden die Spediteure frühzeitig in Form mindestens täglicher Spediteursmeldungen informiert. Eine Spediteursmeldung besteht dabei aus den folgenden Informationen:

- aktueller Belegungsstatus für alle relevanten Reihen
- Fahrzeuge im Zulauf für die nächsten zwölf Stunden
- Wochenvorschau für die nächste Kalenderwoche
- Wochenvorschau für die übernächste Kalenderwoche
- verladene Reihen seit der letzten Spediteursmeldung

Auf dieser Basis disponieren die Spediteure ihre LKW-Flotte, wobei eine vollständig gefüllte Reihe innerhalb eines definierten Zeitfensters ab erster Meldung abgeholt werden muss.

Für die LKW-Verladung ergeben sich einerseits Potentiale in einer höheren Füllgeschwindigkeit bei den Verladereien aufgrund der Voraussetzungen, die durch die Einführung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts erfüllt sind (siehe Abbildung 3-21). Andererseits hat der Spediteur erhebliche Vorteile durch die frühen und genaueren Informationen, die aus der „frozen zone“ resultieren (siehe Abbildung 3-22).

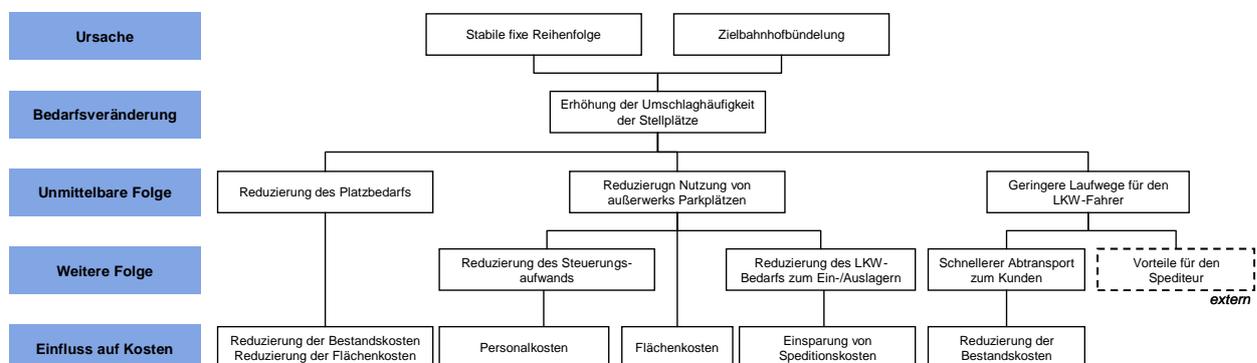


Abbildung 3-21: Potentiale in der LKW-Verladung – Optimierung Flächen- und Bestandskosten

Eine Erhöhung der Umschlaghäufigkeit bei den Verladereihen durch eine schnellere Füllung der Reihen und damit schnellere Freigabe der Reihen für den darauffolgenden Zielbahnhof hat zur Folge, dass für die Bereitstellung der Fahrzeuge weniger Verladereihen benötigt werden. Dadurch ergibt sich eine Reduzierung des Platzbedarfs an Bereitstellflächen und der Bestands- und Flächenkosten. Die **Einsparung der Flächenkosten** ( $K_{\text{Fläche}}$ ) ermittelt sich aus dem Flächenkostensatz ( $j$ ) und der Änderung des Flächenbedarfs ( $\Delta F$ ).

$$K_{\text{Fläche}} = \Delta F * j \quad (\text{Gl. 3-18})$$

Die Reduzierung von Verladereihen durch den höheren Umschlag führt zugleich zur Durchschnitts-WIP-Reduzierung von Fertigfahrzeugen. Dies zeigt die Bestimmung der durchschnittlichen Durchlaufzeit eines Systems durch das Gesetz von Little (Little's Law) [Hopp 2000]. Bei fester Taktzeit  $T_0$ , schwankt die Durchlaufzeit mit der WIP als die Anzahl der Fahrzeuge, die sich gleichzeitig im System befinden. Danach ergibt sich die mittlere WIP aus

$$\overline{WIP} = \frac{\overline{DLZ}}{T_0} \quad (\text{Gl. 3-19})$$

Die **Reduzierung der Bestandskosten** ( $K_{\text{Bestand}}$ ) wird aus dem kalkulatorischen Zinssatz ( $i$ ), dem Bestandsdelta in % ( $\Delta B$ ) und dem Lagerbestandswert (LBW) ermittelt.  $W$  entspricht dabei dem Wert eines Fertigfahrzeugs.

$$K_{\text{Bestand}} = i * \Delta B * LBW \quad (\text{Gl. 3-20})$$

Des Weiteren kann mit einer reduzierten Nutzung von Parkplätzen außerhalb des Werks gerechnet werden, die bei Überlastung des Bereitstellplatzes erfolgt. Mit einer Erhöhung der Umschlaghäufigkeit bei den Verladereihen vor Ort könnte die Auslagerung von Fahrzeugen in Außenlager reduziert werden. Einsparungen sind auch hier bei den Flächenkosten (siehe (Gl. 3-18)) und den Speditionskosten für die Ein- und Auslagerung zu sehen.

Dabei beinhaltet ein Aus-/Einlagerungsvorgang den Transport zum vorgesehenen Außenlager und den Rücktransport, um das Fahrzeug im Werk wieder zur Verladung an den endgültigen Zielort bereitzustellen. Die **Kosteneinsparungen beim Handling** ( $K_{\text{Handling}}$ ) durch den Spediteur berechnet sich also aus den Kosten

pro Aus-/Einlager-Vorgang ( $l$ ), multipliziert mit dem Delta zwischen den Aus-/Einlager-Vorgängen mit und denen ohne Auftragsreihenfolgenkonzept ( $\Delta AE$ ).

$$K_{\text{Handling}} = \Delta AE * l \quad (\text{Gl. 3-21})$$

Aus der Reduzierung der Auslagervorgänge resultiert ein geringerer Aufwand für die Fahrzeugdistributionssteuerung bei der Planung der Auslagerung. So kann ein Potential in der **Verringerung der Steuereingriffe** ( $K_{\text{Steuer}}$ ) nach (Gl. 3-22) errechnet werden.

$$K_{\text{Steuer}} = \Delta St * t_{st} * PK \quad (\text{Gl. 3-22})$$

Die Einsparungen beim Steueraufwand ergeben sich aus dem Delta der Steuereingriffe ( $\Delta St$ ), multipliziert mit der Dauer eines Steuereingriffs ( $t_{st}$ ) und den Personalkosten pro Zeiteinheit. Ein geringes Potential steckt auch in den Laufwegen, die ein LKW-Fahrer im Werk zurücklegen muss, um die einzelnen Fahrzeuge auf seinen Transporter zu laden. Je nach zugewiesener Verladereihe ist der Weg, der für das Verladen jedes Fahrzeugs zurückgelegt werden muss, unterschiedlich lang.

Bei einer Erhöhung der Umschlaghäufigkeit bei den Verladereihen kann auf die Nutzung „ladeplatzferner“ Verladereihen verzichtet werden. Somit verkürzen sich die Laufwege der LKW-Fahrer und die Zeit für die Verladung der Fahrzeuge. Daraus leiten sich ein schnellerer Abtransport zum Kunden und damit eine **Reduzierung der Bestandskosten** ab (siehe (Gl. 3-20)). Außerdem ergibt sich ein geringer Vorteil für den Spediteur, der mit einer kürzeren Abholzeit für die Fahrzeuge beim Automobilhersteller planen kann.

Aus der Umsetzung einer stabilen Auftragsreihenfolge lassen sich auch für die Speditionsunternehmen Potentiale ableiten, wie in Abbildung 3-22 dargestellt. Durch die Einführung eines Auftragsreihenfolgenkonzept („frozen zone“, fixiertes Zeitfenster für die Fahrzeugfertigstellung, Zielbahnhofs-bündelung der Fahrzeuge) ergibt sich die Möglichkeit einer frühen und genauen Information der Spediteure. Dabei erhalten die Spediteure rollierend eine Woche im Voraus die genaue Anzahl der Fahrzeuge, die täglich zur Abholung bereitstehen. Damit kann die Abholung der Fahrzeuge zeitnahe nach der Produktion geplant werden und somit ein schnellerer

Abtransport zum Kunden erfolgen. Hieraus resultieren **geringere Bestands- und Flächenkosten**.

Den Spediteuren bietet die Situation eine höhere Planungssicherheit und einen längeren Planungsvorlauf für die Fahrzeugabholung. Allerdings können die monetären Auswirkungen auf die Speditionskosten nur schwer bewertet werden. Daher wurden diese in das Potentialberechnungsmodell dieser Arbeit nicht aufgenommen und sind in Abbildung 3-22 zur Kenntlichmachung mit einer gestrichelten Linie versehen.

Ein weiterer monetär nicht direkt bewertbarer Effekt für den OEM besteht in einer besseren Verhandlungsgrundlage für die Rahmentransportverträge, die mit den Spediteuren für den Fahrzeugtransport ausgehandelt werden. Aufgrund des stabilen, fixen, genau determinierbaren Fahrzeugvolumens kann Ineffizienz infolge von Unsicherheiten bei Spediteuren reduziert werden [Günthner 2007b].

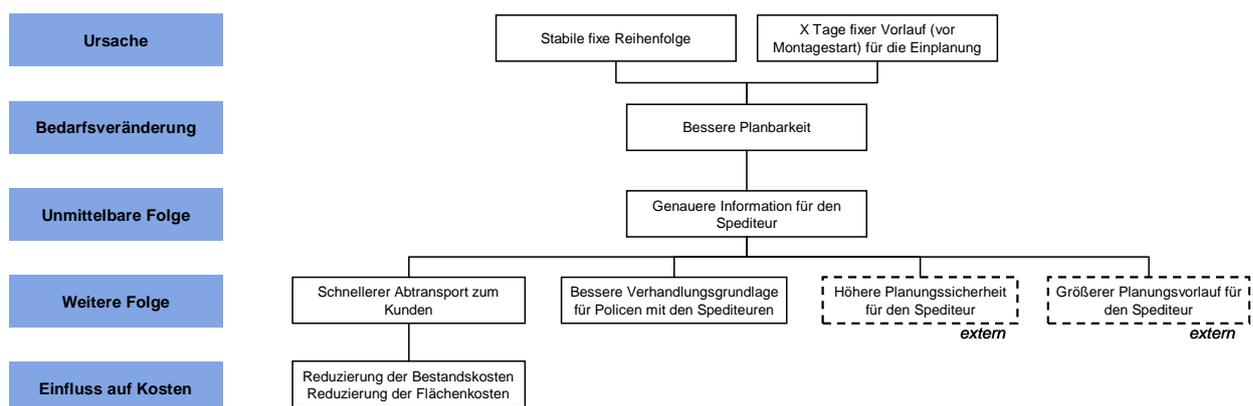


Abbildung 3-22: Potentiale in der LKW-Verladung – Optimierung Kapazitätseinsatz

#### 3.1.3.1.2 Zug-Verladung

Eine weitere Möglichkeit, wie die fertigen Fahrzeuge an ihren Bestimmungsort gelangen können, ist der Transport mit der Bahn. Dafür werden die Fahrzeuge direkt im Werk auf besondere Waggonen verladen und dann von der Bahn zu den Zielbahnhöfen transportiert.

Der vollständige Prozess der Zug-Verladung gestaltet sich wie folgt: Die Fahrzeuge, die für den Transport mit der Bahn vorgesehen sind, werden nach der Produktion direkt in die Vorsortierreihen für die Zug-Verladung gefahren und nach Zielbahnhöfen sortiert. Ist eine Verladereihe mit Fahrzeugen vollständig gefüllt, so steht diese zur Verladung auf einen Waggon bereit. Die Verladung erfolgt entweder

semiautomatisiert mit einer besonderen Verladetechnik (Schiebebühne) oder durch Mitarbeiter des OEM. Zur Disposition der leeren Waggonen wird meist wöchentlich der Bedarf an Waggonen geplant und beim Waggonanbieter bestellt.

Für die Zugverladung ergeben sich durch die Umsetzung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts wie bei der LKW-Verladung Potentiale aus einer Erhöhung der Füllgeschwindigkeit bei den Verladereihen am Bereitstellplatz (siehe Abbildung 3-23). Einzelfallbedingt resultieren mögliche Potentiale auch aus der optimierten Planung der Zusammensetzung der Züge (Erhöhung Ganzzüge<sup>1</sup>, Verbesserung des Zugverladeschemas).

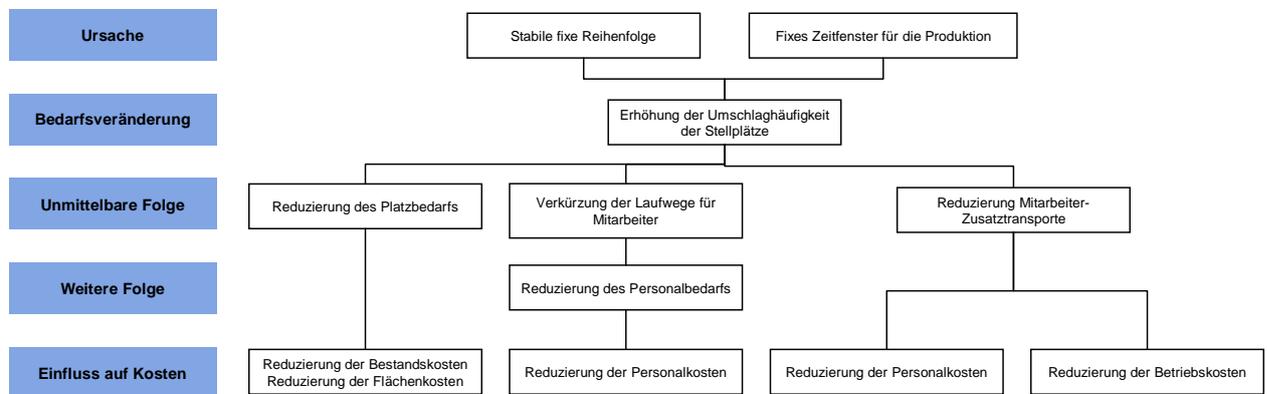


Abbildung 3-23: Potentiale in der Zug-Verladung

Die Fahrzeugfertigstellung durch die Produktion innerhalb eines fixierten Zeitfensters muss auch hier gewährleistet sein. Ebenfalls muss eine Bündelung der Fahrzeuge mit demselben Distributionsziel durchgeführt werden. Dabei sollen, wie bereits bei den Potentialen der LKW-Verladung geschildert, immer mehrere Fahrzeuge (eine Waggonladung) mit demselben Zielbahnhof so in die Montage eingesteuert werden, dass diese innerhalb eines vorab bestimmten Zeitfensters den ZP 8 erreichen.

Dadurch werden die Verladereihen schneller gefüllt, und es kann eine Erhöhung der Umschlaghäufigkeit erreicht werden. Infolgedessen können die Verladereihen schneller für den folgenden Zielbahnhof freigegeben werden und kann somit **Bereitstellfläche eingespart** werden. Die Berechnung des monetären Potentials erfolgt analog der LKW-Verladung in (Gl. 3-18).

<sup>1</sup> Ganzzüge beinhalten nur Fahrzeuge zu einem Zielbahnhof (Gegenteil: Buntzüge).

Auch für die Zug-Verladung ergeben sich Potentiale aus den Laufwegen der Mitarbeiter, welche die fertiggestellten Fahrzeuge in die Verladezone fahren. Werden hier aufgrund der Erhöhung der Umschlaghäufigkeit bei den Verladereihen nur die Verladereihen genutzt, die nahe dem Übergabepunkt von der Produktion liegen, so können Wegeeinsparungen erreicht werden. Für die **Kosteneinsparungen bei den Laufwegen** ( $K_{\text{Laufwege}}$ ) ergibt sich die folgende Gleichung

$$K_{\text{Laufwege}} = (FPK + FPGK) * \Delta W * t_{\text{Weg}} \quad (\text{Gl. 3-23})$$

Diese Einsparungen berechnen sich aus der Änderung des Weges ( $\Delta W$ ) und der Wegezeit ( $t_{\text{Weg}}$ ) – idealerweise ermittelt aus MTM-Bausteinen. Die Fertigungskosten sind als zeitabhängiger Kostensatz zu verwenden.

#### 3.1.3.1.3 Direkt-Abholung

Eine Alternative zur Auslieferung eines bestellten Neufahrzeugs zum Händler ist die Abholung in einem werknahen Kundencenter. Bereits bei der Bestellung eines Fahrzeugs beim Händler wird die voraussichtliche Woche der Auslieferung errechnet und dem Kunden mitgeteilt. Werkintern wird dieser Termin als ETA (Estimated Time of Arrival) bezeichnet und je nach freien Kapazitäten der Produktion festgelegt. Wurde das Fahrzeug in die Produktion eingesteuert und hat es die Montage erreicht, so wird mit dem Kunden ein fester Abholtermin vereinbart.

Bei manchen Fahrzeugen, wie z. B. Sonderanfertigungen oder Markteinführungsmodellen, erfolgt die Terminabsprache erst zum Zeitpunkt der Fahrzeugfertigstellung (ZP 8), da bei diesen Fahrzeugen mit einer geringeren Prozesssicherheit gerechnet wird. Mit dieser Vorsichtsmaßnahme soll die Einhaltung der Ausliefertermine sichergestellt werden.

In der Regel steht dem Kunden bei der Terminabsprache ein Zwei-Wochen-Fenster zur Verfügung, in dem der gewünschte Termin liegen kann. Allerdings ist die Kulanz als Unternehmensziel höchster Kundenzufriedenheit relativ verbreitet. Am Tag der Auslieferung werden die benötigten Fahrzeuge aus den Bereitstellreihen zum Kundencenter gebracht.

Für die Direkt-Abholung ergeben sich durch die Einführung einer stabilen Auftragsreihenfolge Potentiale aus der Standzeitenverkürzung bei Neufahrzeugen im Werk oder in Außenlagern.

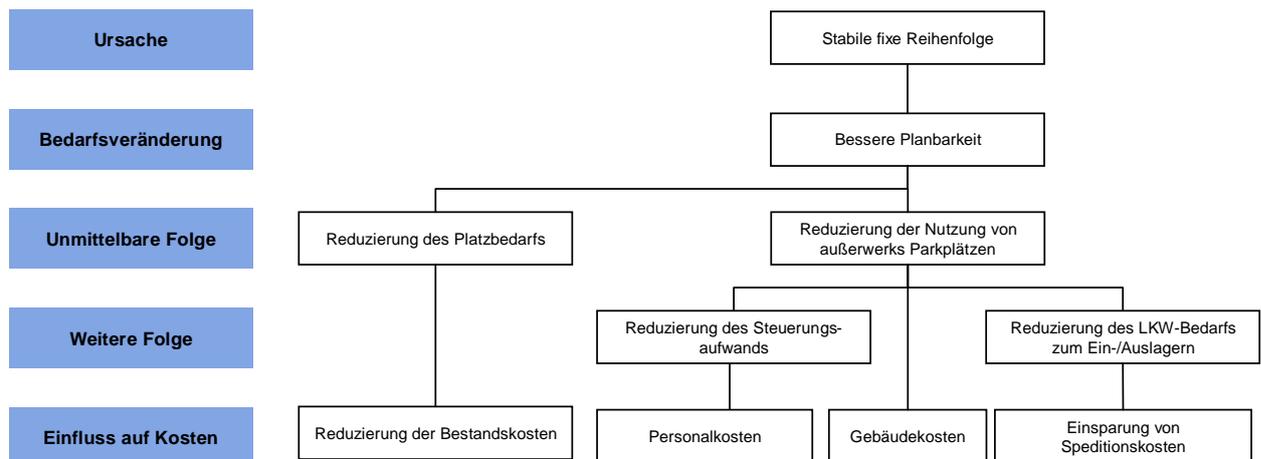


Abbildung 3-24: Potentiale in der Direkt-Abholung

Damit sich Potentiale auf der Basis einer zeitnahen Auslieferung fertiggestellter Fahrzeuge nach der Produktion ergeben, müssen zusätzlich zu den Eigenschaften eines Auftragsreihenfolgenkonzepts einige weitere Anforderungen erfüllt sein. Aufgrund schlecht kalkulierbarer Nacharbeit, deren Zeitbedarf erheblich schwankt, ist der Produktion ein fixiertes Zeitfenster gewährt, in dem die Fahrzeugfertigstellung erfolgen muss.

Zusätzlich kommen für die Kundencenterauslieferung noch Anforderungen an die Terminplanung mit dem Kunden hinzu. Hierbei sollte die Terminabsprache mit dem Kunden vor der Einplanung in die Produktion geschehen, damit die Einsteuerung in die Produktion zeitnahe der vereinbarten Ausliefertermine stattfinden kann. Als logische Schlussfolgerung daraus muss die Berechnung des Produktionsstarts für das jeweilige Fahrzeug durch Rückwärtsterminierung, von der vereinbarten Ausliefertermine ausgehend, erfolgen.

Sind alle genannten Anforderungen erfüllt, so können die momentanen durchschnittlichen Standzeiten im Werk verkürzt werden. Dadurch reduziert sich die Belegungsdauer bei den einzelnen Stellplätzen, die somit häufiger genutzt werden können. Ebenfalls kann die Nutzung extern angemieteter Parkplätze (außerhalb des Werks) reduziert werden. Analog der LKW- und Zug-Verladung können infolgedessen sowohl **Flächenkosten** (siehe (Gl. 3-18)) als auch **Speditionskosten**, die für die Ein- und Auslagerung der Fahrzeuge anfallen (siehe (Gl. 3-21)), eingespart werden. Außerdem entfällt der **Steuerungsaufwand** für die Planung und Durchführung der Auslagerung der Fahrzeuge (siehe (Gl. 3-22)).

### 3 Chancen und Risiken der stabilen Auftragsfolge in der Automobilproduktion

Abbildung 3-25 fasst die Veränderungen der Distributionslogistik des OEM zusammen.

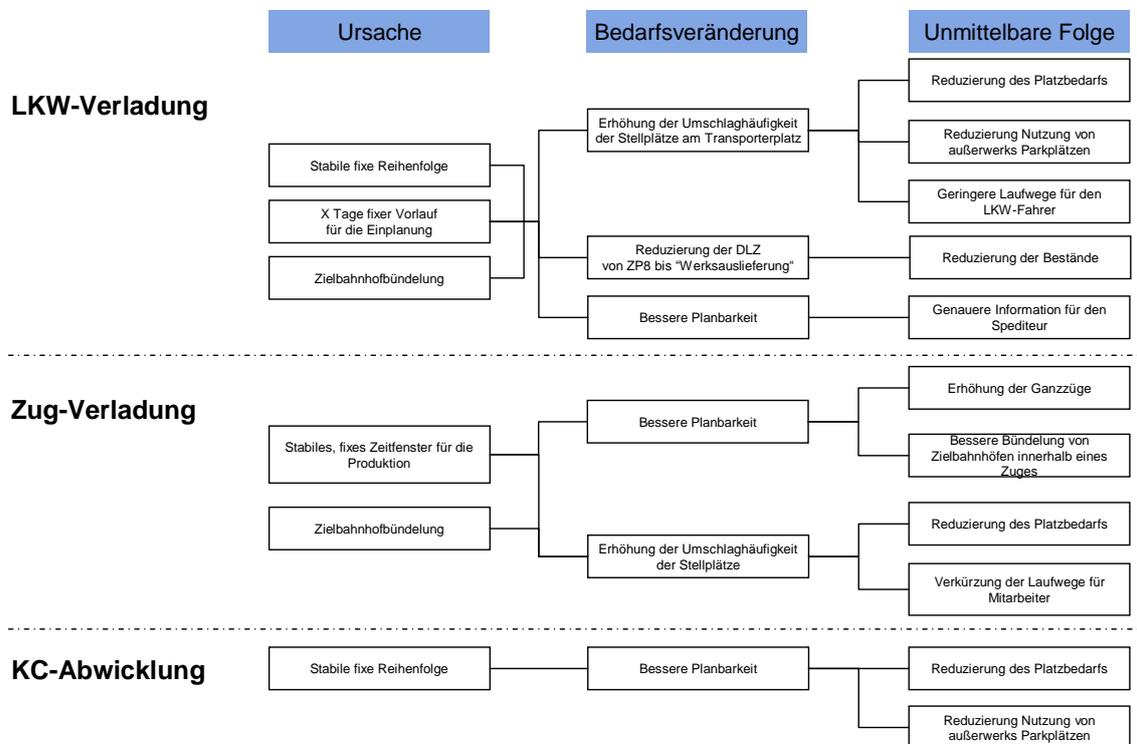


Abbildung 3-25: Potentiale im Distributionsprozess

Daraus ergeben sich zusammengefasst die folgenden Potentiale im Distributionsprozess:

- Erhöhung der Umschlaghäufigkeit bei Verladereihen
- geringerer Bedarf an Bereitstellfläche
- Verkürzung der Fahrzeug-Durchlaufzeit innerhalb der werkeinternen Distribution
- Senkung der Fahrzeugbestände
- zuverlässige Planungsgrundlage für Speditionen
- Erhöhung des Kapazitätseinsatzes bei der Fahrzeugbereitstellung
- Ausweitung der Direktzug-Strategie auf weitere Zielbahnhöfe

Für die Realisierung von Potentialen auf der Basis des Auftragsreihenfolgenkonzepts müssen neben den in Abschnitt 2.4 erläuterten

Voraussetzungen zusätzliche Anforderungen an den Vertriebs- und Distributionsprozess erfüllt sein. Die Umsetzung des Auftragsreihenfolgenkonzepts muss modellübergreifend für alle Fahrzeuge erfolgen, da der Distributionsprozess nicht segmentiert nach Fahrzeugmodellen, sondern nach Transportmitteln und Zielbahnhöfen erfolgt.

Der Fertigstellungsprozess in der Produktion (Montageende bis ZP 8) muss ein fixiertes Zeitfenster für die Übergabe einhalten. Dieses Fenster bietet einen gewissen Spielraum für die Produktion, um eventuelle Mängel am Fahrzeug durch Nacharbeit zu beseitigen oder prozessbedingte Verwirbelungen in der Produktion auszugleichen.

Eine weitere Anforderung bei Fahrzeugen, die für die LKW- oder Zug-Verladung vorgesehen sind, ist die Zielbahnhofs Bündelung durchschnittlich frequentierter Zielbahnhöfe. Das Ziel der Bündelung ist es, Fahrzeuge mit demselben Distributionsziel je nach Verladeart so zu verteilen, dass diese innerhalb eines definierten Zeitfensters den ZP 8 erreichen. Sinnvoll ist eine Zielbahnhofs Bündelung bei sogenannten B-Fahrzeugen (aus ABC-Analyse, Fahrzeugen mit durchschnittlich frequentiertem Zielbahnhof), da dabei der größte Nutzen für die Erhöhung der Füllgeschwindigkeit bei den Verladereihen erreicht werden kann.

Für die Direkt-Abholung sind zusätzlich zwei weitere Anforderungen an die Potentialumsetzung von Bedeutung. Zum einen sollte die Terminabsprache mit dem Selbstabholer vor der Einplanung in die Produktion erfolgen. Damit wird sichergestellt, dass das fertiggestellte Fahrzeug nicht unnötig lange auf dem Bereitstellplatz bereitsteht, sondern zeitnahe dem vereinbarten Termin ausgeliefert wird. Zum anderen muss der Produktionsstart eines Selbstabholerfahrzeugs mithilfe einer Rückwärtsterminierung, vom Kunden-Ausliefertermin ausgehend, festgelegt werden.

### **3.1.3.2 Risiken im Vertriebs- und Distributionsprozess**

Jedes noch so potentialbehaftete Konzept bringt in mehr oder weniger großem Umfang Risiken mit sich. Die Hauptgefahr einer – beim Auftragsreihenfolgenkonzept – frühzeitigen Kommunikation verbindlicher Termine besteht darin, dass diese aufgrund diverser Umstände nicht eingehalten werden könnten. Davon betroffen sind sowohl Abholtermine für Fahrzeuge im Werk als

### 3 Chancen und Risiken der stabilen Auftragsfolge in der Automobilproduktion

auch fix zugesagte Kunden-ETAs, wobei zwischen beiden ein direkter Zusammenhang besteht.

Verlässt ein Fahrzeug das Werkgelände z. B. nicht zum geplanten Zeitpunkt, dann ist auch die Einhaltung des Bereitstellungstermins beim Kunden in Gefahr. Es besteht meist die Möglichkeit, zeitkritische Fahrzeuge in den nachgelagerten werkexternen Prozessschritten bis zur tatsächlichen Kundenübergabe mit höchster Priorität (und Sonderaufwand) abzuwickeln, jedoch gelingt es nicht immer, Zeitrückstände aufzuholen. Die Gründe für einen verspäteten Abtransport eines Fahrzeugs zum Zielbahnhof können produktionsseitig oder auf ein verspätetes Eintreffen von Spediteuren oder Zügen/Waggons zurückzuführen sein.

Daraus ergeben sich die folgenden Risiken des Einsatzes eines Auftragsreihenfolgenkonzepts:

- keine vollständige Ausnutzung der vorhandenen Ladekapazitäten bei LKWs oder Waggons (Gefahr von Teil-Leer-Fahrten)
- Gefahr der Nichteinhaltung zugesagter Kundenliefertermine
- kurzfristige Erhöhung der Fahrzeugbestände
- kurzfristiger Mehrbedarf an Bereitstellfläche

Aus Sicht des Vertriebs können die verbindliche Festlegung der Montagereihenfolge bei der Auftragseinplanung und die daraus resultierende Einschränkung der Änderungsflexibilität gegenüber dem Kunden als Hauptrisiken angeführt werden. Diese könnten eine Schwäche des Konzepts sein, da die Änderungsflexibilität ein Differenzierungsmerkmal der Premiumautomobilhersteller ist. Eine vom Kunden möglicherweise kurzfristig nachgefragte Zusatzausstattung des Fahrzeugs oder eine Änderung z. B. des Motors oder der Innenausstattung ist meist zusätzlicher, hochwertigerer Art, so dass der Erlös pro Fahrzeug dadurch steigen kann.

Zum einen scheint das derzeitige Angebot an Änderungsflexibilität nach den Ergebnissen einer Studie die Nachfrage aber bei weitem zu übersteigen [Voigt 2007]. Allgemein wären 42 % der Käufer bereit, auf Änderungsflexibilität zu verzichten, weitere 45 % gegen Rabatt. Somit ist der Kundenwunsch nach Änderungsflexibilität nur von mittlerer Wichtigkeit (siehe Abbildung 3-26). Zum anderen werden zu einem Zeitpunkt direkt vor dem Produktionsstart von den Kunden kaum noch Änderungen des Auftragsinhalts gewünscht. Mögliche letzte

Änderungswünsche könnten noch rechtzeitig vor der Fixierung der Auftragsfolge und der verbindlichen Terminvereinbarung der Fahrzeugabholung mit dem Kunden vereinbart werden.

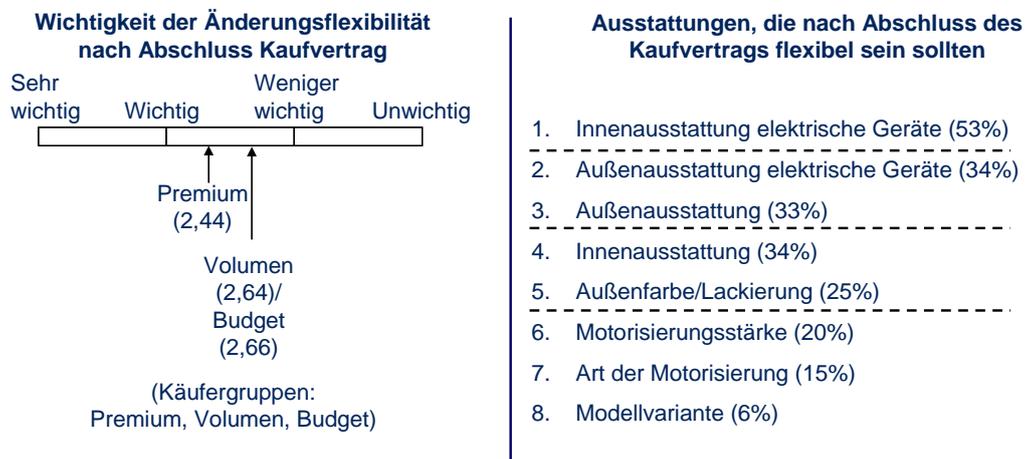


Abbildung 3-26: Bedeutung der Änderungsflexibilität für den Kunden [Voigt 2007]

## 3.2 Empirische Analyse

Das Ziel der vorliegenden empirischen Analyse ist es, die Hypothesen in Form der ermittelten qualitativen Chancen und Risiken des Einsatzes eines Auftragsreihenfolgenkonzepts in der Automobilindustrie aus Abschnitt 3.1 zu überprüfen.<sup>1</sup> Durch eine Befragung von Experten verschiedener Wertschöpfungsstufen, Unternehmensbereiche und Hierarchieebenen sollen zwei elementare Fragestellungen untersucht werden:

- Welche Chancen und Risiken bietet der Einsatz des Konzepts der stabilen Auftragsfolge in der Praxis tatsächlich?
- Welche positiven und negativen Einflüsse hat der Einsatz des Konzepts der stabilen Auftragsfolge auf die Wertschöpfungskette?

Als Grundlage für die Ergebnisdarstellung werden im Folgenden die Untersuchungsmethodik und die Verteilung der Befragten beschrieben.

<sup>1</sup> Die Ergebnisse der empirischen Untersuchung sind in Teilen bereits vorab veröffentlicht worden [Günthner 2009].

### 3.2.1 Untersuchungsmethodik

Nachfolgend wird das Vorgehen bei der Erstellung und Durchführung der Umfrage erläutert. Insbesondere werden das verwendete Untersuchungsmaterial, das Untersuchungsobjekt sowie der Ablauf und die Auswertung der empirischen Erhebung dargestellt.

#### 3.2.1.1 Untersuchungsmaterial

Die Untersuchung wurde in Form einer schriftlichen Befragung mithilfe eines selbst entwickelten zweisprachigen (deutschen und englischen) Fragebogens durchgeführt, der den Teilnehmern über einen Link im E-Mail-Anschreiben zur Untersuchung online zur Verfügung gestellt wurde. Zur Erstellung der Onlineumfrage wurde die Software Cont@xt der Information Factory AG verwendet. Der Aufbau des Fragebogens gliedert sich in vier Teile:

- Teil 1: Allgemeine Unternehmensinformationen
- Teil 2: Allgemeine Einschätzungen zum Konzept
- Teil 3: Abteilungsspezifische Beurteilung des Konzepts
- Teil 4: Ist-Situation im Unternehmen

Zu Beginn der Umfrage wurde neben der Erläuterung des Umfrageziels auch die Bedienung des Fragebogens kurz erläutert. In Teil 1 wurden die Teilnehmer zur Unternehmenszugehörigkeit (OEMs oder Zulieferer), zur eigenen Position im Unternehmen (Vorstand/Geschäftsführung, leitende Position oder Sachbearbeiter) und zur Anzahl der Mitarbeiter im Unternehmen oder am Standort befragt. Des Weiteren wurden die Zulieferer nach Produktgruppen klassifiziert (Module, Komponenten oder Einzelteile). Hieraus wird der dynamisch „personalisierte“ Charakter des Fragebogens deutlich, der sich dadurch fortsetzt, dass die Teilnehmer in den Teilen 2–4 Fragen in Abhängigkeit von ihren Antworten in Teil 1 gestellt bekamen.

Zur Einleitung der beiden zentralen Fragenteile 2 und 3 erfolgte eine detaillierte verbale und grafische Erklärung des Konzepts der stabilen Auftragsfolge unter anderem durch eine Gegenüberstellung der Situation in der Wertschöpfungskette mit und der ohne Einsatz des Konzepts. Die Entwicklung der Fragen zur allgemeinen und abteilungsspezifischen Einschätzung des Konzepts in diesen Fragenteilen beruht auf Hypothesen, die im Forschungsprojekt erarbeitet worden

sind. Dabei wurden zur Vergleichbarkeit und statistischen Auswertbarkeit überwiegend geschlossene Fragen gestellt.

In Teil 2 wurden hauptsächlich Multiple-Choice-Selektionsfragen [Bopp 2002] gestellt, also Fragen, bei denen aus mehreren Antwortmöglichkeiten eine Auswahl getroffen werden muss. Ergänzt wurde dieser Fragetyp um jeweils eine Möglichkeit einer offenen Eingabe. In der abteilungsspezifischen Einschätzung von Einflüssen des Konzepts auf den Unternehmensbereich wurden Skalenfragen eingesetzt, Fragen, bei denen die Probanden ihre Einschätzung auf einer Skala einordnen müssen [Bopp 2002]. Die Skalierung reichte von „nimmt stark ab“ (- - -), „nimmt ab“ (- -), „nimmt leicht ab“ (-) über „kein Einfluss“ (0) bis „nimmt leicht zu“ (+), „nimmt zu“ (++) und „nimmt stark zu“ (+++). Abbildung 3-27 zeigt exemplarisch eine solche Skalenfrage.

Teil 4 des Fragebogens rundete die Erhebung durch Fragen zur individuellen Unternehmenssituation ab.

Die Umfrage durch den Onlinefragebogen wurde ergänzt durch Einzelinterviews zur gezielten Erhebung von Detailinformationen.

deu eng  
Umfrage zum Thema "Chancen und Risiken der Stablen Auftragsfolge"

40 %

Teil 3 - Abteilungsspezifische Beurteilung des Konzeptes

Wie verändert sich bei Ihnen durch den Einsatz des Konzeptes der Stablen Auftragsfolge

	nimmt stark ab - - -	nimmt ab - -	nimmt leicht ab -	kein Einfluss 0	nimmt leicht zu +	nimmt zu ++	nimmt stark zu +++	Keine Angabe möglich
Qualität der Materialversorgung von Seiten Ihres Zulieferers	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Qualität der Materialversorgung zu Ihrem Kunden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Qualität der Anlauf- und Auslaufsteuerung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vormaterialbestand	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Vormaterialhandling	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Logistikpersonal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Logistikfläche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fehlteile	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sonderfahrten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fertigmateriahhandling	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fertigmaterialebestand	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abbildung 3-27: Beispiel einer Skalenfrage des Onlinefragebogens

Zusammenfassend ist die durchgeführte Studie als stark strukturiert und, da Reihenfolge und Intensität der Beantwortung vorgegeben sind, als standardisiert mit überwiegend geschlossenen Fragen zu bezeichnen [Atteslander 1995] und [Bopp 2002].

### 3.2.1.2 Untersuchungsobjekt

Das Ziel der Untersuchung ist die Ermittlung von Auswirkungen des Einsatzes von Auftragsreihenfolgenkonzepten auf die Wertschöpfungskette der Automobilindustrie. Hierbei ist grundsätzlich eine allgemeine Einschränkung vorzunehmen. Befragt wurden ausschließlich Mitarbeiter mit prozessplanenden oder -steuernden Funktionen (Angestellte) aus am Wertschöpfungsprozess unmittelbar beteiligten Unternehmensbereichen (Logistik/Materialversorgung, Einkauf/Beschaffung, Produktion, QS, Vertrieb/Distribution).

Elementar ist hierbei die Zusammensetzung der Teilnehmer aller Wertschöpfungsstufen, vom Automobilhersteller (OEM) bis zum Tier-N-Lieferanten. Darüber hinaus sollte eine Durchdringung über alle Hierarchiestufen hinweg durch eine Stichprobenerhebung erfolgen.

### 3.2.1.3 Untersuchungsdurchführung und -auswertung

Die Untersuchung wurde über einen Gesamtzeitraum von drei Monaten (November 2006–Januar 2007) durchgeführt. Die Rekrutierung der Teilnehmer erfolgte durch gezielte Auswahl vorhandener Kontakte (Experten) und persönliche Anschreiben per E-Mail. Insgesamt wurden 14.126 Teilnehmer persönlich aufgefordert, sich an der Umfrage zu beteiligen. Für die Auswertung der Ergebnisse wurde die Software SPSS des gleichnamigen Unternehmens verwendet. In allen Auswertungen werden neben den %-Angaben in Bezug auf die Grundgesamtheit oder das betrachtete Segment auch die Absolutwerte verwendet.

## 3.2.2 Verteilung der Befragten

Wie in Abschnitt 3.2.1.1 erläutert, ist bei einer Stichprobenerhebung die Abbildung der Grundgesamtheit entscheidend. Deshalb wird zunächst auf die Zusammensetzung der teilnehmenden Experten eingegangen. Diese wurden aufgefordert, Auskunft über die Unternehmenszugehörigkeit (OEMs oder Zulieferer), die eigene Position im Unternehmen (Vorstand/Geschäftsführung, leitende Position oder Sachbearbeiter) und die Anzahl der Mitarbeiter im Unternehmen oder am Standort zu erteilen.

### 3.2.2.1 Rücklaufquote

Der Fragebogen wurde von 1.156 Teilnehmern ausgefüllt. Die Bruttoreklaufquote lag bei 12,14 %, wobei 0,51 % der Angefragten die Antwort gaben, an der Studie

nicht teilnehmen zu wollen. Dafür wurden im Wesentlichen die folgenden Gründe genannt:

- grundsätzlich keine Teilnahme an externen Studien
- Geheimhaltung
- kein Experte

Die Responserate beträgt somit 11,63 %.

### 3.2.2.2 Verteilung nach Unternehmenszugehörigkeit

In Abbildung 3-28 ist die Verteilung der Befragten nach Unternehmenszugehörigkeit dargestellt. Im Vergleich zur Gesamtverteilung der Mitarbeiter in der Automobilindustrie mit einem Verhältnis von OEMs zu Zulieferern in Deutschland von 55 % zu 45 % [o. V. 2009] sind die OEMs unterrepräsentiert.

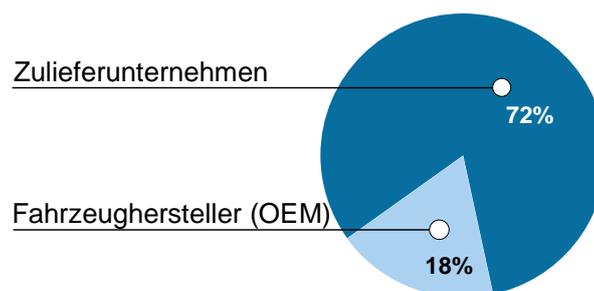


Abbildung 3-28: Verteilung der Teilnehmer nach Unternehmenszugehörigkeit

Im Fragebogen wurde des Weiteren nach der Anzahl der Mitarbeiter zum einen im gesamten Unternehmen und zum anderen am jeweiligen Standort gefragt. Die Spitzengruppe bilden, wie aus Abbildung 3-29 ersichtlich, Unternehmen mit insgesamt mehr als 5.000 Mitarbeitern (48,9 %). Dagegen haben 51,1 % der Unternehmen am Standort weniger als 5.000 Mitarbeiter. Als Indikator der Zentralisierung von Zuliefererstandorten ist zu erkennen, dass lediglich 16 % der Probanden aus Unternehmen mit einer Gesamtmitarbeiter-Anzahl kleiner als 250 kommen. Die am häufigsten vorzufindende Standortgröße, auf die Anzahl der Mitarbeiter bezogen, ist 500.

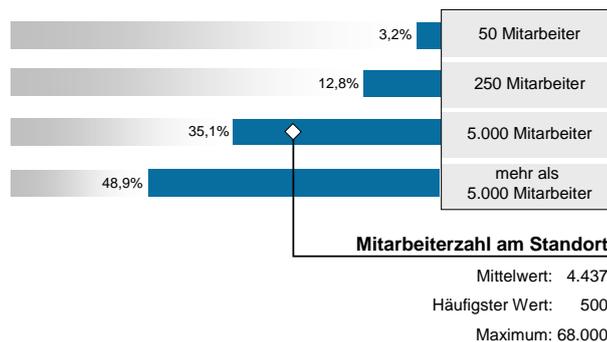


Abbildung 3-29: Verteilung der Teilnehmer nach Standortgröße

#### 3.2.2.3 Verteilung nach der Position im Unternehmen

Die Einführung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts als Rückgrat des Auftragsabwicklungsprozesses innerhalb der Automobilindustrie ist als strategischer Schritt zur Kundenorientierung zu werten. Die Unternehmenslenker auf den einzelnen Wertschöpfungsstufen sind hierbei die definierenden Organe auf dem Weg zur Strategieumsetzung. Elementar für die Aussagekraft einer allgemeingültigen Bewertung des Konzepts der stabilen Auftragsfolge ist demzufolge die Verteilung der Antworten nach der Position im Unternehmen.

Hierbei zeigt Abbildung 3-30, dass mehr als die Hälfte der Teilnehmer in ihren Unternehmen als „Entscheider“, also als Vorstand, Geschäftsführer oder in leitender Funktion tätig ist. Ergänzt wird dies durch eine repräsentative Anzahl von Sachbearbeitern, so dass die vorliegende homogene Verteilung über die verschiedenen Hierarchieebenen hinweg ein umfassendes Bild der Entscheidungskette ermöglicht.

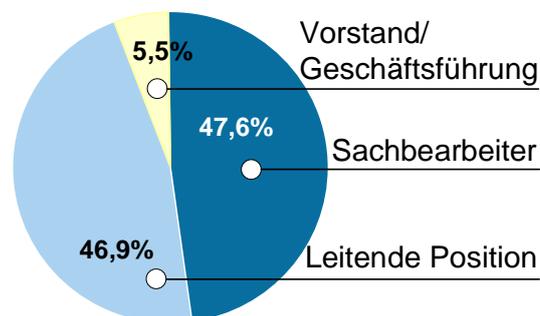


Abbildung 3-30: Verteilung der Teilnehmer nach Unternehmensposition

### 3.2.2.4 Verteilung nach Unternehmensbereich

Bereichsübergreifende Prozessveränderungen bringen immer „Gewinner“ und „Verlierer“ hervor. Eine Orientierung am Unternehmensoptimum führt dazu, dass einzelne Glieder des Unternehmensprozesses in ihrer Optimierungsfreiheit eingeschränkt werden. Dadurch werden Suboptima in Teilprozessen zugunsten übergeordneter Ziele beseitigt. Derartige Change-Management-Prozesse sind geprägt von emotionalen Bewertungen einzelner Prozesskettenglieder.

Grundlegend für eine fundierte Gesamtaussage ist demzufolge zum einen eine ausgewogene Verteilung der Teilnehmer über die Unternehmensbereiche hinweg. Zum anderen ist es wichtig, von jedem Unternehmensbereich Bewertungen zu erhalten, zumal in Teil 3 des Fragebogens eine abteilungsspezifische Beurteilung des Konzepts erfolgte.

Abbildung 3-31 zeigt die Verteilung der Grundgesamtheit, sowohl von Zulieferern als auch von OEMs, nach Unternehmensbereichen. Daraus wird ersichtlich, dass jeweils mehr als ein Viertel der Teilnehmer in der Logistik oder im Vertrieb arbeitet. Die große Anzahl von Antworten aus „anderen Bereichen“ ist durch die unterschiedlichen Organisationsstrukturen der Unternehmen bedingt.

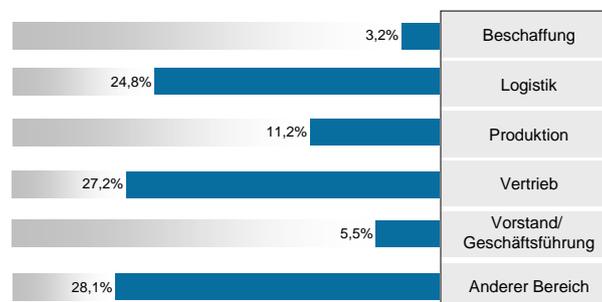


Abbildung 3-31: Verteilung der Teilnehmer nach Unternehmensbereich

### 3.2.3 Ergebnisse zu Chancen und Risiken des Konzepts

In diesem Abschnitt erfolgt die Ergebnisauswertung des zweiten Teils des Fragebogens. Das Ziel war die Evaluation von Chancen und Risiken des Auftragsreihenfolgenkonzepts. Dazu wurden den Probanden zwei Fragen mit jeweils vorgegebenen Antworten und als Ergänzung einem offenen Feld gestellt:

- Wo sehen Sie die Vorteile (Chancen) beim Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts?

- Wo sehen Sie die Nachteile (Risiken) beim Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts?

Hier waren Mehrfachnennungen der Teilnehmer möglich. Die Antwortvorgaben wurden durch Experteninterviews, Erfahrungsberichte und offene Pretests ermittelt.

#### 3.2.3.1 Chancen des Konzepts

Aufschluss über die Bewertung der einzelnen Chancen des Auftragsreihenfolgenkonzepts für die Automobilindustrie geben die folgenden Abbildungen der Antwortverteilung. Aufgrund der möglichen Mehrfachnennungen werden die Antworten in Relation zur Gesamtzahl der gegebenen Antworten in % dargestellt. Die 1.156 Teilnehmer gaben bei den Chancen insgesamt 9.662 Einzelantworten ab, also durchschnittlich ca. 8 von 22 möglichen Nennungen.

In den folgenden Abbildungen die logistischen, produktionsrelevanten und sonstigen Vorteile aus Gründen der Übersichtlichkeit getrennt dargestellt.

In Bezug auf die logistischen Faktoren wird deutlich, dass der Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts vor allem zur allgemeinen Stabilisierung des Materialversorgungsprozesses beiträgt. Ausdruck findet dies in den Spitzenwerten der Nennungen „Beruhigung der Lieferkette“ (74,1 %) und „Beruhigung der Lieferkette“ (74,1 %). Nahezu drei Viertel der Befragten sahen somit in einer allgemeinen Beruhigung der Supply Chain ein großes Potential zur Entspannung der täglichen logistischen Konflikte. Darüber hinaus nannten über 60 % der Befragten die „Reduzierung von Beständen“ (62,1 %) und die „Optimierung der Belieferungsfrequenz“ (63,4 %) als wesentliche Potentiale in der Logistikabwicklung beim Einsatz des Konzepts der stabilen Auftragsfolge.

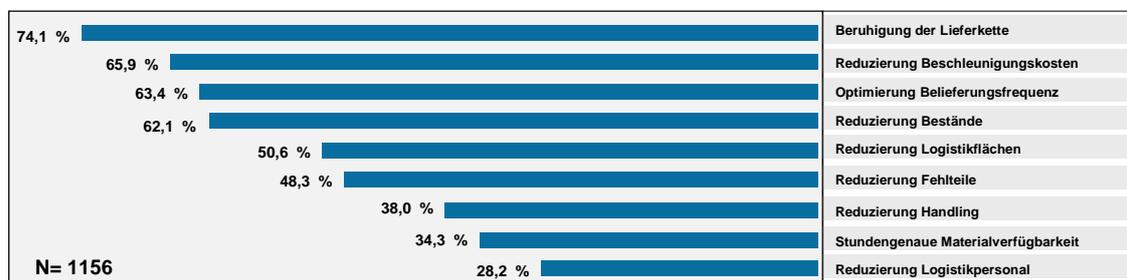


Abbildung 3-32: Vorteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts – logistische Faktoren

Im Gegensatz zu den logistischen Faktoren bewerteten die Befragten die Vorteile für produktionsrelevante Faktoren wesentlich weniger ausgeprägt. Lediglich im

„bedarfsgerechten Einsatz an Kapazitäten“ (50 %) und der „Beruhigung des PP“ (59,4 %) sah jeder Zweite Vorteile gegenüber den bestehenden Produktionssteuerungskonzepten.

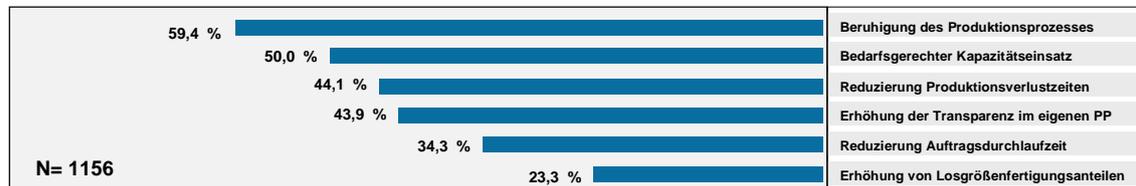


Abbildung 3-33: Vorteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts – produktionsrelevante Faktoren

Eine Verbesserung der Anlauf- und Auslaufsteuerung sowie eine allgemeine Erhöhung der Liefertermingenaugkeit oder -treue gegenüber dem Kunden wertete mehr als die Hälfte der Befragten als Potentiale gegenüber den konventionellen Systemen. Chancen zur Zusammenlegung von Produktionsstandorten bei den Zulieferern durch den Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts sahen hingegen nur 11,8 % der Befragten.

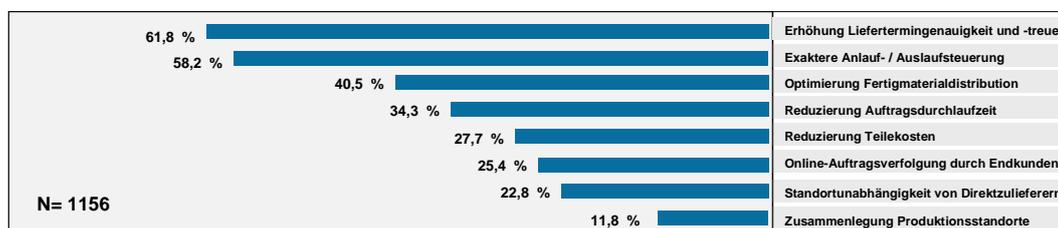


Abbildung 3-34: Vorteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts – sonstige Faktoren

### 3.2.3.2 Risiken des Konzepts

Analog der Bewertung der Chancen eines Auftragsreihenfolgenkonzepts in der Automobilindustrie ist in Abbildung 3-35 die Antwortverteilung über die Risiken zu sehen. Die 1.156 Teilnehmer gaben bei den Risiken insgesamt 2.438 Einzelantworten ab, also durchschnittlich ca. 2 von 8 möglichen Nennungen.

Über die Hälfte der Befragten sah einen Nachteil in dem Umstand, dass in Produktionssystemen mit stabiler Auftragsfolge Störungen einzelner Prozesse unmittelbar zu Kettenreaktionen führen. Dies drückt sich auch in der „Notwendigkeit ausgeprägter Notkonzepte“ (50,3 %) an zweiter Position aus. Über 43 % der Antworten werteten die „Reduzierung von Flexibilität in Prozessen“, über 48 % in Bezug auf „Auftragsänderungen“ als Nachteile des Steuerungsprinzips. Nur ca.

15 % der Befragten sind der Meinung, dass die Änderung der Fertigungsphilosophie von Stückzahl zu Reihenfolge Einbußen der Ausbringungsmenge verursache. 17 % sahen die Gefahr teurerer Einzelprozesse. Einen höheren Resequenzieraufwand beim OEM befürchteten knapp 20 % der Teilnehmer.

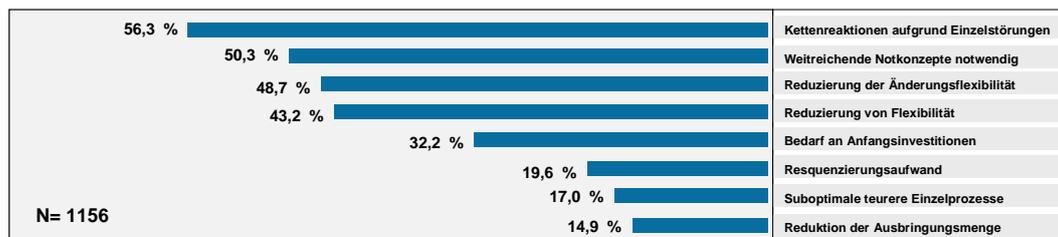


Abbildung 3-35: Nachteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts

#### 3.2.3.3 Qualitative Gegenüberstellung

Aus den Ergebnissen der Abschnitte 3.2.3.1 und 3.2.3.2 wird ersichtlich, dass insgesamt die positive Einschätzung des Konzepts überwiegt. Die Teilnehmer der Studie werteten die Vorteile höher als die ihnen gegenüberstehenden Risiken. Entscheidend für eine ganzheitliche Beurteilung des Konzepts der stabilen Auftragsfolge sind allerdings ein direkter Vergleich zwischen Vor- und Nachteilen sowie eine Bewertung der monetären Vorteilhaftigkeit für die einzelnen Unternehmensbereiche.

Allen Teilnehmern der Studie wurden die Fragen gestellt, in welchem Unternehmensbereich und in welcher Ausprägung diese Chancen und Risiken sehen. Dabei wurde nach der Stufe in der Wertschöpfungskette differenziert, nach entweder Fahrzeughersteller (OEM) oder Zulieferer. Die Ausprägungen der Vor- und Nachteile reichen von „keine“ über „geringe“ und „mittlere“ bis hin zu „großen“ und „sehr großen“.

##### 3.2.3.3.1 Vorteile und Nachteile des Konzepts für OEMs

Ob ein Auftragsreihenfolgenkonzept zum Einsatz kommt, entscheidet in sehr hohem Maße über das finanzielle Potential, das dadurch bei OEMs gehoben werden kann. Deshalb ist es von großem Interesse, wie die Vor- und Nachteile für die Unternehmensbereiche von OEMs von den Befragten eingeschätzt wurden. Abbildung 3-36 gibt detailliert Aufschluss über die Verteilung der Antworten. Deutlich zu erkennen ist, dass die positive Einschätzung der Vorteilhaftigkeit des

Konzepts für alle drei Bereiche – Beschaffung, Logistik und Produktion – deutlich überwiegt.

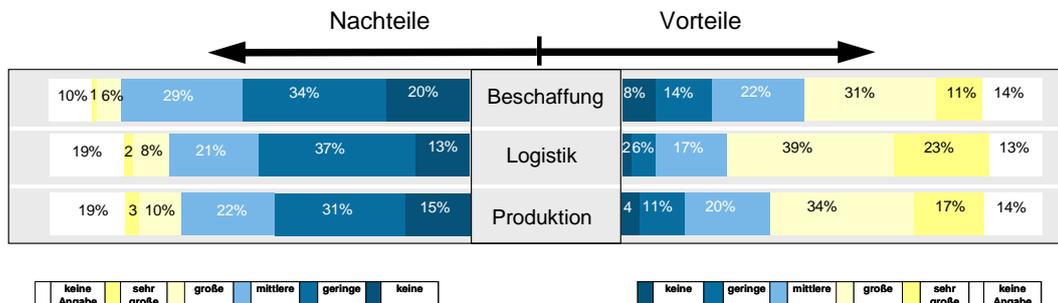


Abbildung 3-36: Vor- und Nachteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts für OEMs

### Materialbeschaffung (OEMs)

Für den Materialbeschaffungsprozess bei den OEMs bedeutet dies, dass 31 % der Befragten hohe Potentiale sahen, 11 % sogar sehr hohe. 625 Teilnehmer (54 %) der Studie konnten keine oder nur geringe Nachteile für den Einkaufsprozess erkennen. Lediglich 7 % der befragten Automobilhersteller konnten große oder sehr große negative Auswirkungen auf den Sourcing-Prozess bei den OEMs erkennen. Über 40 % waren der Meinung, dass beim OEM-Sourcing deutliche Potentiale vorhanden seien.

### Logistik (OEMs)

Ein noch positiveres Bild zeigt sich für den Logistikprozess. Dass der Schnittstellenbereich der Logistik am deutlichsten von einer frühzeitigen Festlegung und Stabilisierung der Auftragsreihenfolge profitiert, wird aus dem Umstand ersichtlich, dass 62 % der Interviewten dafür große oder sehr große Chancen sahen. Nur 2 % der Teilnehmer erkannten keine Vorteile für die Logistik. So sahen 45 % der Teilnehmer dafür auch keine (13 %) oder nur geringe Risiken (37 %), wenngleich 10 % der Experten der Meinung waren, dass die Logistik mit großen oder sehr großen Nachteilen zu kämpfen hätte. Insgesamt waren sich 85 % der Befragten darin einig, dass das Konzept der stabilen Auftragsfolge Vorteile für die Zielerreichung der OEM-Logistik bietet.

### Produktion (OEMs)

Für den Wertschöpfungsprozess bei Automobilen vom Karosseriebau über die Lackierung bis zur Endmontage sahen über 50 % der Experten große oder sehr große Vorteile des Konzepts. Eine Verbesserung für die Automobilproduktion, wenn

auch nur in geringer oder mittlerer Form sahen weitere 31 % der Experten. Dem gegenüber stehen die Antworten von 13 %, die deutliche Nachteile für die Produktionsprozesse bei den Fahrzeugherstellern erwarten. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass mehr als 60 % der befragten Experten durch den Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts mittlere bis sehr große Vorteile bei den OEMs erkennen konnten.

Noch deutlicher als bei der Beschaffung verhält sich dies in der Produktion und Logistik des Fahrzeugherstellers. Aus der frühzeitigen Fixierung und Stabilisierung der Auftragsreihenfolge geht die Logistik als stärkster „Gewinner“ hervor. Eventuell zu vermutende gravierende Nachteile für den Wertschöpfungsprozess bei den OEMs wurden von den Teilnehmern nicht oder nur in geringem Maße gesehen.

#### 3.2.3.3.2 Vorteile und Nachteile des Konzepts für Zulieferer

Das quantitative Gesamtpotential in der Wertschöpfungskette hängt in erheblichem Maße davon ab, ob durch die Stabilisierung des Wertschöpfungs-systems auch bei den Zulieferern Rationalisierungsmöglichkeiten bestehen. Abbildung 3-37 visualisiert die Antwortverteilung der Vor- und Nachteile für Zulieferer.

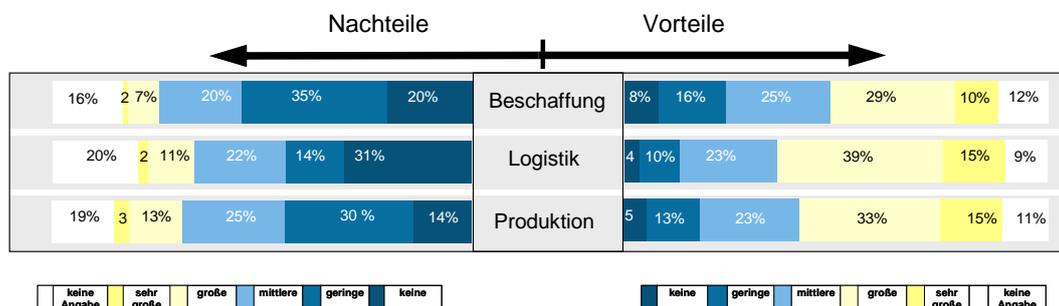


Abbildung 3-37: Vor- und Nachteile eines Auftragsreihenfolgenkonzepts für Zulieferer

#### Materialbeschaffung (Zulieferer)

Können die Automobilzulieferer die fixe Auftragsreihenfolge der OEMs nutzen und an ihre Vorlieferanten weitergeben, so führt dies auch bei den Herstellungskosten zu Einspareffekten. 29 % der Befragten sahen dadurch tatsächlich hohe Potentiale, 10 % sogar sehr hohe. Zusätzlich war ca. ein Drittel der Experten der Meinung, dass bei der Stabilisierung des OEM-Wertschöpfungsprozesses wenn auch nur geringe oder mittlere Vorteile vorhanden seien. Wesentliche negative Auswirkungen auf den Sourcing-Prozess wurden lediglich von 9 % der Befragten

gesehen. 636 der 1.156 an der Studie beteiligten Experten konnten keine oder nur geringe Nachteile für den Einkaufsprozess erkennen.

### **Logistik (Zulieferer)**

Die Logistik des Zulieferers profitiert nach Ansicht der Befragungsteilnehmer am meisten. Mindestens jeder Zweite erkannte mit dem Konzept der stabilen Auftragsfolge deutliche Potentiale in der logistischen Abwicklung. Lediglich 13 % der Teilnehmer erkannten gegenüber den herkömmlichen Prozessen keine Vorteile für die Supply Chain der Zulieferer. Dies wird durch die Meinung von ebenfalls 13 % der Experten bestätigt, die große oder sehr große Nachteile für die Logistik erwarteten.

### **Produktion (Zulieferer)**

Der Fertigungsprozess der Zulieferer beeinflusst die Zielfaktoren der Versorgung des OEM maßgeblich. Inwieweit durch eine frühzeitige Festlegung eines stabilen Produktionsprogramms durch die OEMs auch die Produktion bei den Lieferanten profitieren kann, schätzten die befragten Experten wie folgt ein: 48 % sahen in einer exakten und verlässlichen Determinierung von Produktionsterminen große oder sehr große Vorteile. Mehr als ein Drittel der Experten vermutete immerhin noch geringe bis mittlere Chancen. Jeder siebente Befragte erkannte demzufolge auch keine Risiken für den Herstellprozess bei den Zulieferern. Dagegen schätzten 14 % der Experten, dass sich durch das Konzept der stabilen Auftragsfolge große oder sehr große Nachteile für den Zulieferer ergäben.

### **3.2.4 Ergebnisse zum des Einflusses des Konzepts auf das Wertschöpfungssystem**

In diesem Abschnitt erfolgt die Darstellung der Auswertung des dritten Teils des Fragebogens, der sich mit der abteilungsspezifischen Beurteilung des Konzepts beschäftigt. Neben der Kenntnis der Chancen und Risiken ist es essentiell, auch die einzelnen Auswirkungen des neuen Produktionssteuerungskonzepts auf die betroffenen Bereiche zu ermitteln. Dazu wurde den Teilnehmern eine abteilungsspezifische Frage mit verschiedenen funktionscharakteristischen Ausprägungen und vorgegebener Antwortskala (siehe Abbildung 3-27) gestellt:

- Welchen Einfluss hat der Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts im Bereich Logistik/Materialversorgung?

- Welchen Einfluss hat der Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts im Bereich Produktion?
- Welchen Einfluss hat der Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts im Bereich Einkauf/Beschaffung?
- Welchen Einfluss hat der Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts im Bereich Vertrieb/Distribution?

Die Teilnehmer sollten dabei die Auswirkungen auf Ihren Bereich skizzieren. Es waren nur Einfachnennungen innerhalb der Antwortskala von „nimmt stark ab“ (- - -), „nimmt ab“ (- -), „nimmt leicht ab“ (-) über „kein Einfluss“ (0) bis „nimmt leicht zu“ (+), „nimmt zu“ (++) und „nimmt stark zu“ (+++) möglich.

#### **3.2.4.1 Einfluss des Konzepts auf die Logistik**

Über das Erreichen der Teilziele Versorgungssicherheit hat bei kurzen und stabilen Durchlaufzeit neben der Produktion die Logistik einen wesentlichen Anteil am Erfolg des Kunde-Kunde-Prozesses. Der Schlankheit und Stabilität der Logistik im komplexen Wertschöpfungsnetzwerk bei Automobilen stehen bedeutende Unsicherheitsfaktoren gegenüber. Zum einen sind dies die internen Produktionsrisiken von Ressourcenausfall und Qualitäts- oder Ausbeuteschwankungen, und zum anderen ergeben sich diese aufgrund externer Unsicherheiten durch Bedarfs- und Nachfrageschwankungen sowie Beschaffungsrisiken im globalen Liefernetzwerk.

Die ungenaue Planungsgrundlage führt zu einer „Unsicherheitsbearbeitung“ auf allen Wertschöpfungsstufen und zum Aufbau kapitalintensiver Sicherheitsbestände. Das Ergebnis sind hohe Kosten z. B. für Bestände von zehn und mehr Tagen in den vermeintlich schlanken Lieferketten der Automobilindustrie sowie Inflexibilität in den Prozessen und langen Auftragsdurchlaufzeiten [Holweg 2004]. Im Folgenden wird zur Frage des Einflusses des Konzepts auf die logistischen Leistungsgrößen die Einschätzung sowohl der Unternehmenslenker als auch der Mitarbeiter wiedergegeben.

##### **3.2.4.1.1 Einfluss aus Sicht von Vorständen und Geschäftsführern**

Neben der Standortwahl zur Verschaffung möglicher Lohnkostenvorteile (siehe Abschnitt 3.2.3.1) ist es für den Unternehmenserfolg ebenso entscheidend, wie „schlank“ der gesamte Wertstrom entlang der Supply Chain gestaltet werden kann. Abbildung 3-38 gibt Aufschluss über das Veränderungspotential in der Logistik

durch die Stabilisierung der Auftragsreihenfolge aus Sicht der Vorstände und Geschäftsführer von Zulieferern.

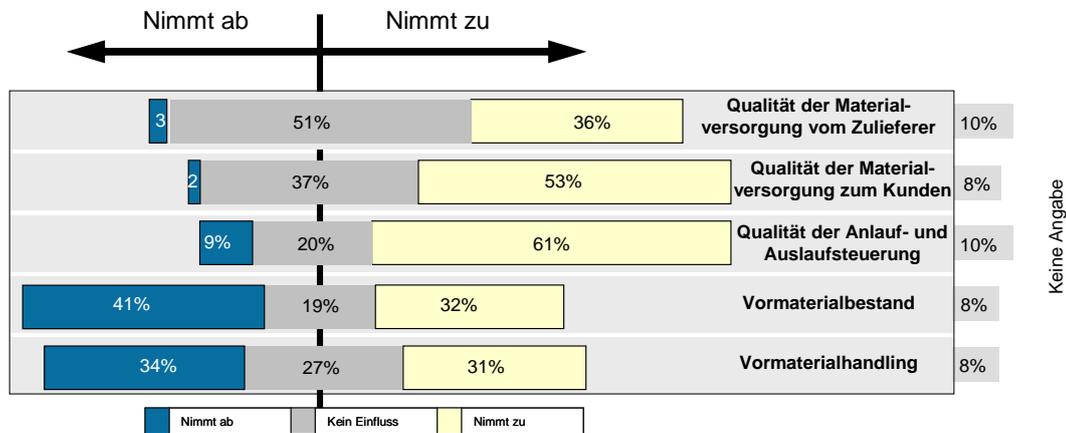


Abbildung 3-38: Veränderungspotential in der Logistik aus Sicht der Vorstände und Geschäftsführer

Über 50 % der befragten Unternehmenslenker der Zulieferer waren der Meinung, dass sich die Qualität der eigenen Materialversorgung durch ein Auftragsreihenfolgenkonzept nicht steigern lasse. Dies kann daran liegen, dass diese „Stabilität“ nicht an die eigene Supply Chain weitergegeben werden kann, zumal dafür der zeitliche Vorlauf des OEM-Abrufs nicht genügt. Das deutlichste Potential sahen die Vorstände und Geschäftsführer der Zulieferunternehmen in der Möglichkeit, die Qualität der Materialversorgung des Kunden zu verbessern.

Sowohl die OEMs als auch die Zulieferer sahen große Chancen, die Qualität der Anlauf- und Auslaufsteuerung zu verbessern. Besonders durch eine Ausweitung der Modellpaletten, eine Verkürzung der Produktlebenszyklen bei den OEMs und die damit verbundene Häufigkeit von Ramp-Ups bietet sich durch Auftragsreihenfolgekonzepte ein langer Hebel zur Prozessverbesserung. Darüber hinaus wurden auch Veränderungen im operativen Produktions- und Logistikprozess erwartet.

Die Stabilität der LAB der OEMs führe zu einer Anpassung der logistischen Abwicklung bei den Zulieferern. Sicherheitsparameter zur Deckung von Schwankungen könnten nach unten korrigiert werden, wodurch sich eine Reduzierung der Vormaterialbestände erzielen lassen könnte. 41 % der Befragten sahen hier Vorteile. Darüber hinaus könnten Zwischenstufen im Versorgungsprozess und somit Vormaterialhandlings eliminiert werden. Aus Sicht

der Wertstrombetrachtung führt dies zur Reduzierung von Durchlaufzeit und zur Vermeidung von Verschwendung.

#### 3.2.4.1.2 Einfluss aus Sicht der Mitarbeiter

Die Teilnehmer aus der operativen Logistik beurteilten die Konsequenzen einer Einführung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts für ihren Bereich durchweg positiv. Bei einem Vergleich der Antworten zeigt sich, dass die Mitarbeiter die Vorteile einer stabilen Auftragsfolge im operativen Geschäft noch deutlicher sahen als ihre Vorgesetzten.

Die Logistikmitarbeiter von Zulieferern bestätigten erhebliche Potentiale in der Qualitätsverbesserung der Materialversorgung der OEMs. Über 60 % der befragten Logistikmitarbeiter sind wie ihre Geschäftsführer und Vorstände der Meinung, dass der Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts zu einer Reduzierung von Sonderfahrten führe. Lediglich 14 % gingen von einer Erhöhung der Beschleunigungskosten aus.

Die Sicherheit der Planungsgrundlage bei einem Konzept der stabilen Auftragsfolge sahen 57 % der Teilnehmer als probates Mittel zur Eliminierung von Fehlteilen an. Darüber hinaus führe die Abrufsicherheit zur Reduzierung von Logistikflächen. Zurückhaltender waren die Logistikmitarbeiter bei der Bewertung des künftigen Personaleinsatzes – fast jeder Zweite sah hier keinen Einfluss. Abbildung 3-39 zeigt die Antworten der Mitarbeiter in der Logistik von Zulieferern.

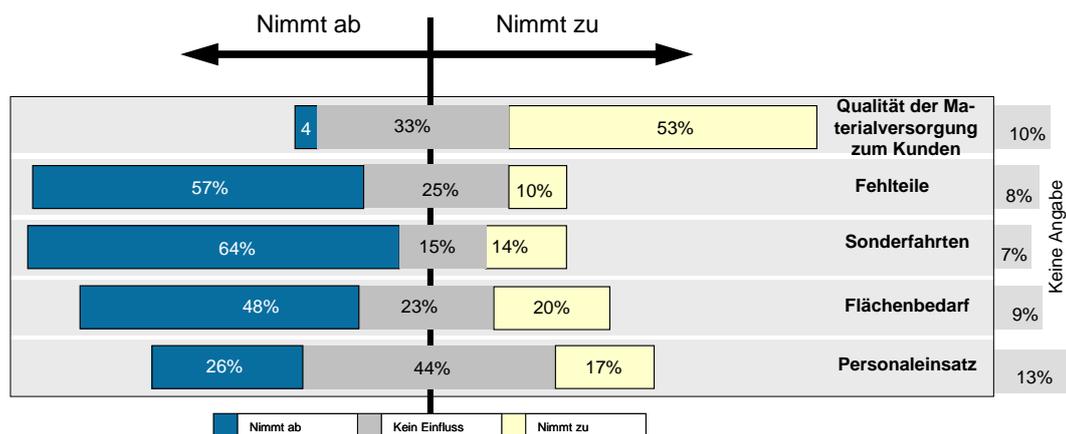


Abbildung 3-39: Veränderungspotential in der Logistik aus Sicht der Mitarbeiter von Zulieferern

Ein noch ausgeprägteres Bild zeigt sich bei der Einflussbewertung der Logistikmitarbeiter von OEMs (siehe Abbildung 3-40). Eine Qualitätsverbesserung

der Materialversorgung, entweder direkt vom Lieferanten oder intern am „point of fit“ am Montageband, erwarteten 79 % bzw. 91 % der Befragten. Dies verdeutlicht, dass nicht nur im vorgelagerten Wertschöpfungsprozess, sondern vor allem auch in der Logistik von OEMs deutliche Potentiale vorhanden sind. Durch die kontinuierliche Erweiterung der Modellpalette der OEMs bei Reduzierung der Produktlebenszyklen stellt die Bewältigung von An- und Ausläufen eine Herausforderung für die Logistik dar.

Über drei Viertel der befragten Logistikmitarbeiter waren der Meinung, dass die Qualität besser werde. Damit ließen sich Produkte schneller auf den Markt bringen, und zugleich könnten die Kosten für Materialüberhänge, Sonderfahrten etc. reduziert werden. Auswirkungen habe dies auch auf die Bestandssituation bei den OEMs. Das gebundene Vormaterial von Zulieferern lässt sich nach Ansicht von 69 % der Teilnehmer senken. Damit gehe die Reduzierung von Logistikflächen in Form von Lagerstellplätzen und Umschlagsbereichen einher – fast 80 % sahen hier Potentiale.

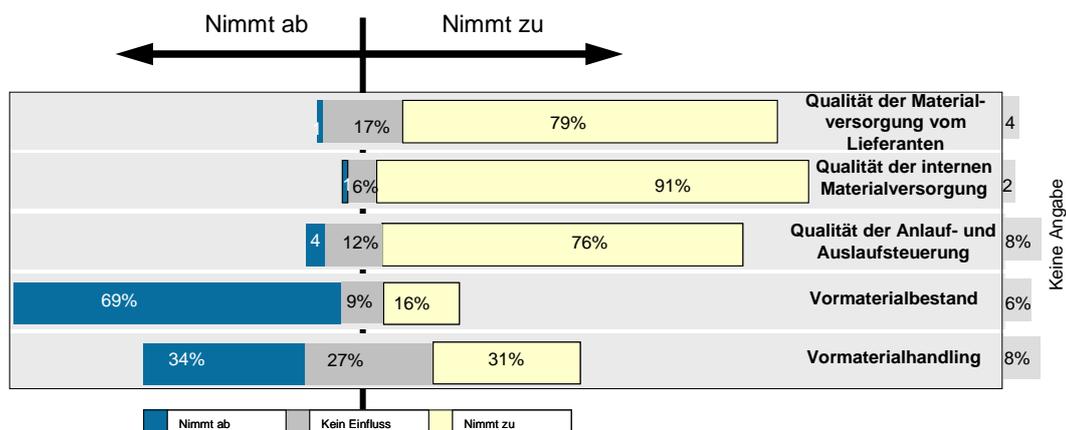


Abbildung 3-40: Veränderungspotential in der Logistik aus Sicht der Mitarbeiter von OEMs (1)

Abbildung 3-41 zeigt darüber hinaus die Bewertung der Potentiale in Personal, Fehlteilen, Sonderfahrten sowie Fertigmaterialebeständen und -handling. Obwohl die eigenen Arbeitsplätze betroffen sind, sahen fast zwei Drittel der Logistikmitarbeiter von OEMs künftig einen geringeren Personalbedarf in der Logistik. Dies liegt wohl auch daran, dass aufgrund der Reduzierung von Fehlteilen (73 %) und Sonderfahrten (72 %) weniger „trouble shooting“ erwartet wurde.

### 3 Chancen und Risiken der stabilen Auftragsfolge in der Automobilproduktion

Nur einen geringen Einfluss einer stabilen Auftragsfolge auf die Distributionslogistik konnte der Großteil der Befragten erkennen. So sah nur ein Drittel der Befragten Potentiale bei der Reduzierung von Handhabungsumfang und Fertigfahrzeugbestand in der Distribution. Begründet wird dies mit der Ausrichtung von Auftragsreihenfolgenkonzepten, bei denen primär die Sequenzeinhaltung bis zur Endmontage angestrebt wird. Möglichkeiten der Verringerung der erheblichen Verwirbelungen von der Endmontage bis zur Übergabe an die Fahrzeugdistribution werden in diesen Konzepten meist nicht berücksichtigt, obgleich einzelne OEMs auch hier bereits Anstrengungen zur Stabilisierung unternehmen.

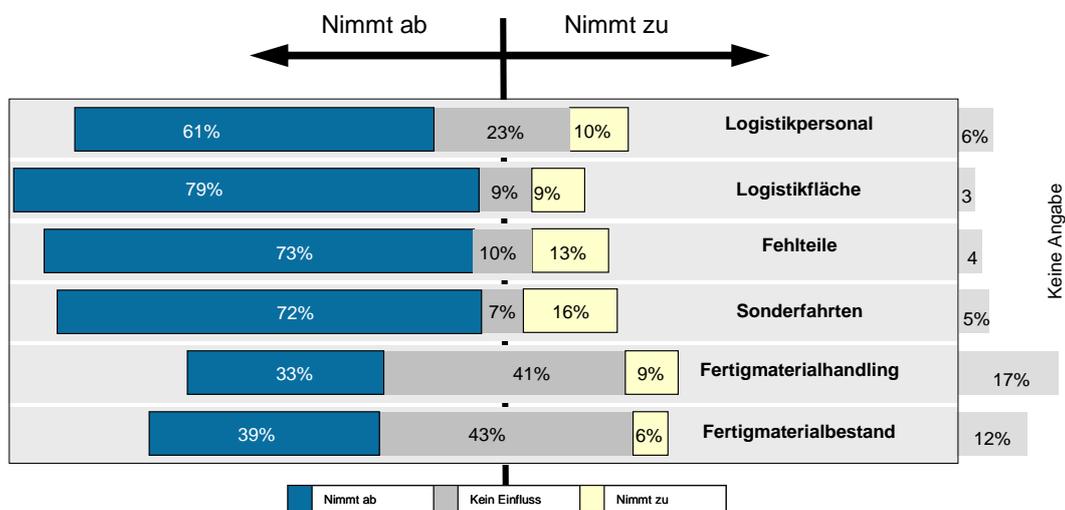


Abbildung 3-41: Veränderungspotential in der Logistik aus Sicht der Mitarbeiter von OEMs (2)

#### 3.2.4.2 Einfluss des Konzepts auf die Produktion

In der Automobilindustrie steht die Produktion vor neuen Herausforderungen. Um auf dem Weltmarkt konkurrenzfähige Produkte anbieten zu können, sind die Hersteller gezwungen, ihre Prozesse kontinuierlich zu verbessern und zugleich die Kosten zu senken. Welchen Einfluss die Einführung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts auf den Fahrzeug- und Teileherstellungsprozess hat, zeigt Abbildung 3-42.

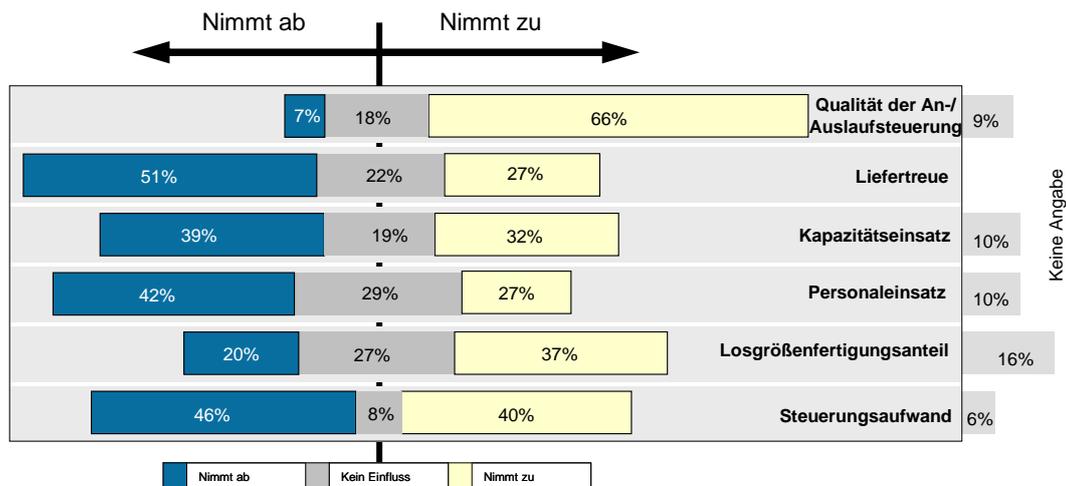


Abbildung 3-42: Veränderungspotentiale in der Produktion

Über 66 % der befragten Mitarbeiter aus der Produktion sahen (wie die Teilnehmer aus der Logistik) Potentiale in der Qualitätsverbesserung der Anlauf- und Auslaufsteuerung. Grundsätzlich erwartete jeder Zweite aufgrund der Vorgabe einer fixierten Produktionsreihenfolge eine Verbesserung der Liefertreue. Die restlichen Befragten konnten keinen Einfluss darauf erkennen oder sahen sogar negative Auswirkungen auf die Erfüllung der zeitlichen Kundenanforderungen. Sehr kontrovers wird die Thematik der Änderung des Steuerungsaufwands bewertet. Jeweils ca. 40 % erwarteten aufgrund der Determinierung von Bearbeitungsreihenfolgen bereits bei der Produktionseinplanung eine Steigerung oder Senkung des Steuerungsaufwands.

Für die Richtung der Einschätzung der Befragten ist wohl entscheidend, welches Konzept bei der Umsetzung gewählt wird. Die Perlenketten-Steuerung funktioniert nach dem einfachen FIFO-Prinzip. Die Realisierung einer flexiblen Auftragszuordnung macht ein kompliziertes IT-unterstütztes Steuerungssystem notwendig, das zu einem höheren Aufwand führen kann. Ein optimaler Ressourceneinsatz ist vor allem in Hochlohnländern wie Deutschland von entscheidender Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit. In Bezug auf die Optimierung des Personal- oder Anlageneinsatzes erwarteten 42 % bzw. 39 % der Befragten positive Effekte durch eine Stabilisierung der Produktionsfolge.

Um die notwendige Flexibilität gegenüber sich ändernden Kundenanforderungen zu erreichen, forcieren viele Unternehmen der Automobilindustrie bei ihren Lean-Manufacturing-Aktivitäten die Fertigung im Einzelstückfluss (One-Piece-Flow). Gegenläufig scheint hier die Erwartung von 37 % der Teilnehmer aus der

Produktion zu sein, die durch eine frühzeitige Festlegung und Kommunikation der Auftragsreihenfolge eine Erhöhung des Losgrößen-Fertigungsanteils vermuten, was z. B. bei der Lackierung von Karosserien in größeren Blöcken gleicher Farbe kostenmäßig vorteilhaft sein kann.

#### 3.2.4.3 Einfluss des Konzepts auf die Beschaffung

Die Herausforderung bei der Beschaffung liegt heute nicht mehr nur darin, das für die heimatische Fertigung benötigte Material und Zukaufteile möglichst gut und günstig einzukaufen. Für die meisten Unternehmen gilt es, ein weltweites Netz aus Versorgungsquellen und Werken zu entwerfen, zu realisieren und zu managen. Der Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts bietet auch hier Chancen und Risiken. In Abbildung 3-43 sind die Auswirkungen einer stabilen Auftragsfolge auf den Bereich der Beschaffung dargestellt.

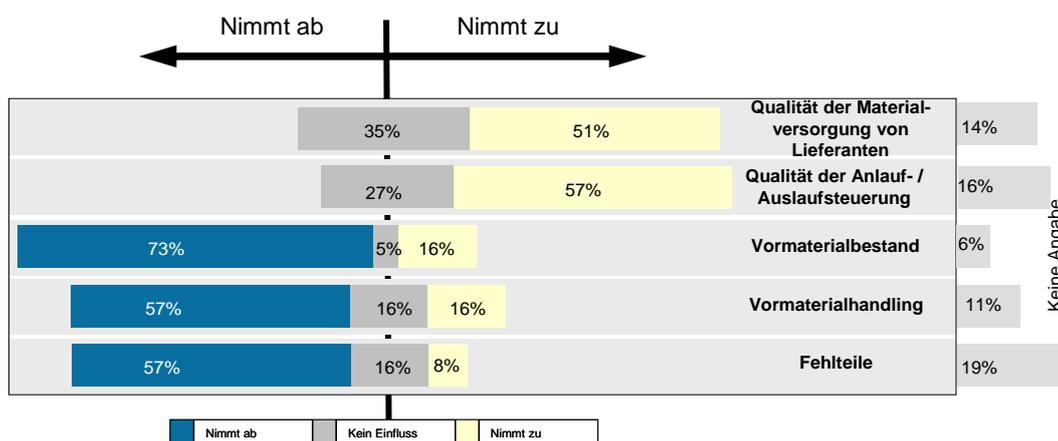


Abbildung 3-43: Veränderungspotentiale in der Beschaffung

Die Qualität der Anlauf- und Auslaufsteuerung und die der Materialversorgung gelten als wichtige Beurteilungskriterien bei der Lieferantenauswahl. Auch im Bereich der Beschaffung waren die Befragten (57 %) der Meinung, mit einem neuen Produktionssteuerungskonzept die Güte der Anlauf- und Auslaufsteuerung verbessern zu können. Kein Befragungsteilnehmer war der Ansicht, dass die Einführung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts zur Verschlechterung der Anlauf- und Auslaufsituation oder der Qualität der Materialversorgung führe. 51 % der Beschaffer beurteilten die Reihenfolgenstabilität als förderlich für die Güte der Materialversorgung.

Noch deutlich positiver wurde der Einfluss der Stabilität auf die Vormaterialbeschaffung gewertet. Die Reduzierung von Lagerbeständen wurde

neben der Reduzierung von Handhabungsvorgängen sahen die Einkaufsmitarbeiter als höchste Potentiale im Wertschöpfungsprozess. Letztlich führe dies auch zur Reduzierung der Beschaffungskosten. Die Planungssicherheit in Verbindung mit der frühzeitigen Kommunikation der Bedarfsinformationen an die Zulieferer führt nach Ansicht von 57 % der Einkäufer zur Reduzierung von Fehlteilen in der Automobilversorgungskette. Zusammengefasst ist die Beschaffung der Bereich, in dem die höchsten Potentiale durch die Verbesserung der logistischen Situation aufgrund einer stabilen Auftragsfolge gesehen wird.

### **3.2.4.4 Einfluss des Konzepts auf Distribution und Vertrieb**

Früher reichte es aus, Autos in einem adäquatem Preis-Leistungs-Verhältnis anzubieten, um eine hohe Kundenzufriedenheit zu erzielen. Heute entscheidet (besonders im Premiumsegment) neben dem Angebot an maßgeschneiderten individuellen Produktvarianten und Serviceleistungen eine Vielzahl weiterer Faktoren über den Markterfolg. An den Schnittstellen der Kunde-Kunde-Prozesse bei Automobilen, in den Vertriebs- und Distributionsprozessen der OEMs, führt die Einführung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts zu deutlich positiven Veränderungen.

Wesentliche Verbesserungen können durch die Erhöhung der Liefertreue (76 %) und der Kundenzufriedenheit (68 %) erreicht werden. Die befragten Vertriebsmitarbeiter der OEMs sahen durch eine Stabilisierung der Fahrzeugauftragsreihenfolge also deutliche Potentiale gerade in den entscheidenden Erfolgsfaktoren. Allerdings war mindestens jeder Zweite der Ansicht, dass durch eine frühzeitige Fixierung der Produktionsreihenfolge die Auftragspriorisierung zunehme. Im Gegenzug erwarteten 44 % der Befragten aufgrund der Stabilisierung der OEM-Wertschöpfung eine Reduzierung von Sonderfahrten bei der Fahrzeugdistribution.

### 3 Chancen und Risiken der stabilen Auftragsfolge in der Automobilproduktion

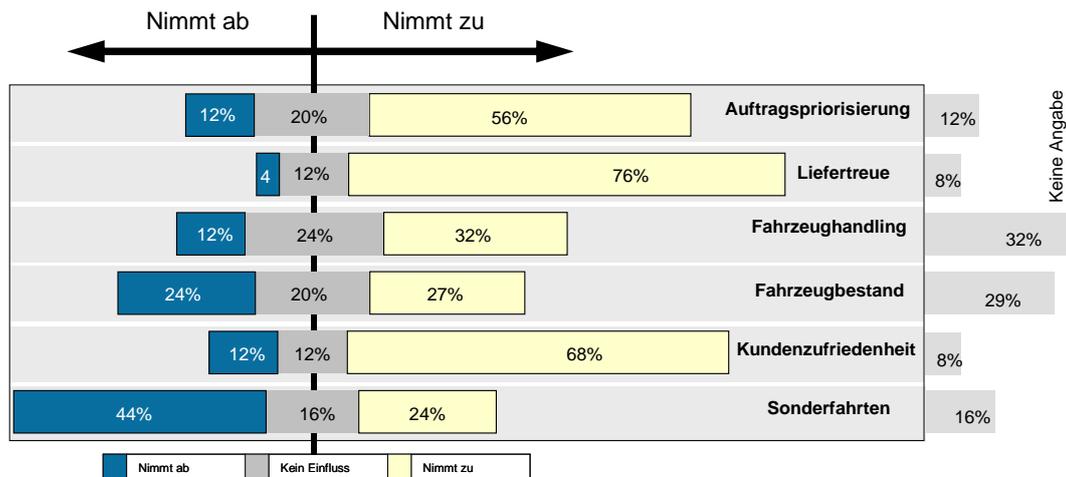


Abbildung 3-44: Veränderungspotentiale in der Distribution und dem Vertrieb aus Sicht der Mitarbeiter von OEMs

Ein ähnliches Bild (siehe Abbildung 3-45) zeigt sich aus Sicht der Mitarbeiter von Zulieferern. Eine Stabilisierung der Wertschöpfung bei Automobilen könne genutzt werden, um die logistische Kennzahl der Liefertreue positiv zu beeinflussen – dieser Meinung waren fast zwei Drittel der Befragten. Beim Fertigmateralhandling ist das Meinungsbild sehr differenziert, wenn auch die Mehrheit (31 %) eine Zunahme des Fertigmateralhandlings erwartete. Anders verhält sich dies beim Fertigwaren-Bestand, bei dem durch verlässliche OEM-Abrufe ein positives Veränderungspotential gesehen wurde. Kein eindeutiges Bild lässt sich bei der Veränderung der Belieferungsfrequenz zum OEM erkennen.

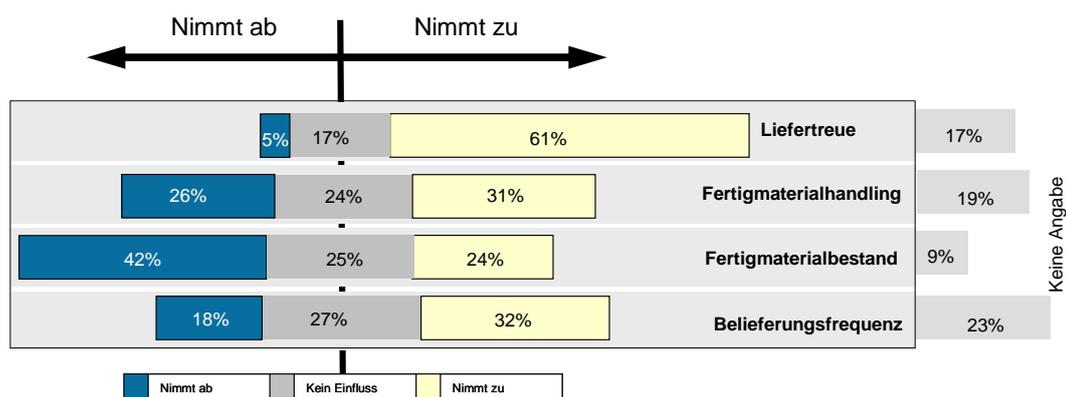


Abbildung 3-45: Veränderungspotentiale in der Distribution und dem Vertrieb aus Sicht der Mitarbeiter von Zulieferern

### **3.3 Fazit: Stabilität als Wettbewerbsfaktor**

Die vorliegende theoretische und empirische Bewertung der Chancen und Risiken des Konzepts der stabilen Auftragsfolge zeigt auf, dass die Nutzenpotentiale in allen untersuchten Unternehmensbereichen und auf allen untersuchten Wertschöpfungsstufen liegen.

Durch die frühe Festlegung kann die Information über die fixe Auftragssequenz in der Montage zur optimierten Steuerung der Produktions- und Logistikprozesse unmittelbar und verbindlich an das interne und das externe Zuliefernetzwerk weitergegeben werden. So kann die stabile Montagesequenz der Fahrzeugwerke Schwankungen in der Versorgungskette glätten und den Zulieferern eine höhere Prozessflexibilität und -effizienz ermöglichen. Durch die Minimierung der „Unsicherheitsbearbeitung“ und ihrer Auswirkungen im Wertschöpfungsnetzwerk eröffnen sich erhebliche Rationalisierungspotentiale sowohl in den internen Prozessen als auch im gesamten Zuliefernetzwerk.

Für die Zulieferer ergeben sich eine Prozess- und Standortflexibilität, die zu Effizienzsteigerungen führen kann. Insbesondere können innerhalb des Kundenauftragsprozess im Idealfall Auftragsdurchlaufzeiten minimiert und stabilisiert sowie kann eine hohe Termintreue gewährleistet werden. Die folgende Abbildung 3-46 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Potentiale eines Auftragsreihenfolgenkonzepts im Produktions-, Distributions- und Vertriebsprozess sowie im Materialbeschaffungs- und Logistikprozess. Diese Potentiale ergeben sich insbesondere aus den Zielen eines ganzheitlichen Auftragsreihenfolgenkonzepts:

- Umsetzen neuer Steuerungsstrategien und Messgrößen
- früher, stabiler Abruf der Bedarfe
- Einhaltung stabiler Produktionstermine
- Einhaltung stabiler Fertigstellungstermine

### 3 Chancen und Risiken der stabilen Auftragsfolge in der Automobilproduktion

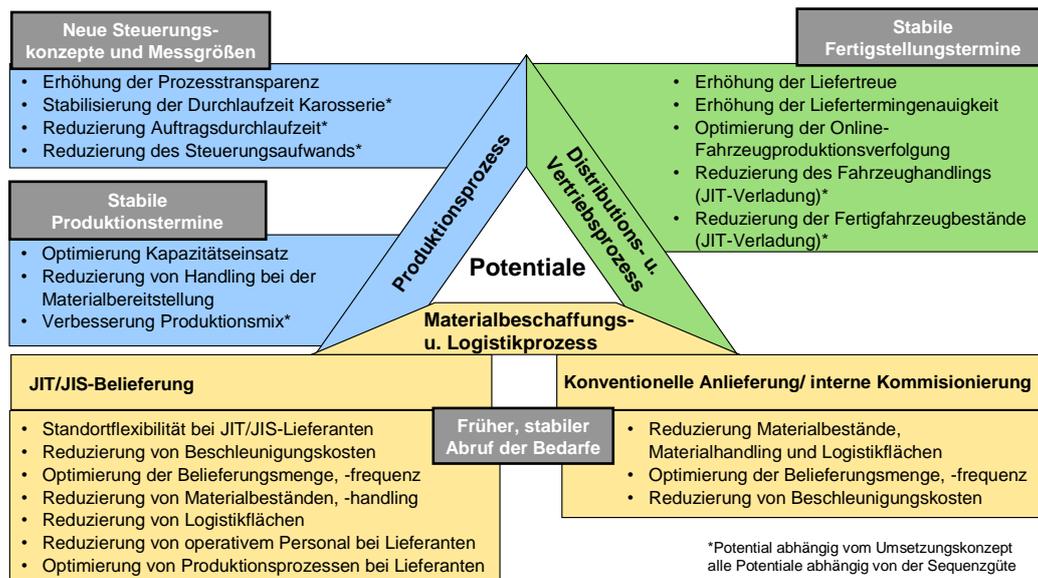


Abbildung 3-46: Qualitative Übersicht über die Potentiale eines Auftragsreihenfolgenkonzepts [Günthner 2007b]

Alle aufgeführten Potentiale hängen von der erreichbaren Güte der Auftragsreihenfolge in der Montage ab, also von der erreichbaren Stabilität, teilweise bis zur Übergabe an den Vertrieb. Sie sind zudem begrenzt durch die Art des umgesetzten Steuerungskonzepts.

Den Potentialen eines Auftragsreihenfolgenkonzepts stehen allerdings Umsetzungsschwierigkeiten im Wertschöpfungsprozess gegenüber. Insbesondere kommt es durch erhebliche Durchlaufzeit-Unterschiede der Karosserien in den vorhergehenden Prozessen immer wieder zu Verwirbelungen der Montagereihenfolge, die durch investitionsintensive Sequenzrichter in Form von Karosseriespeichern nur mangelhaft ausgeglichen werden können. Insbesondere erweisen sich häufig die Lackprozesse, aber auch die QS-Prozesse als Ursachen für Verwirbelungen mit großen Auswirkungen auf das Stabilitätsergebnis in der Montage.

Die empirische Studie bestätigt, dass durch die Umsetzung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts sowohl bei den OEMs als auch bei den Zulieferern in hohem Maße Möglichkeiten zu Prozessverbesserungen und Kostenreduzierungen bestehen. Für alle an der Auftragsabwicklung beteiligten Bereiche (Logistik, Beschaffung, Produktion und Vertrieb) überwiegen nach Einschätzung der befragten Experten die Vorteile die möglichen Risiken, wenngleich die konkrete Höhe der einzelnen Potentiale teilweise kontrovers eingeschätzt wurde. Letztlich

muss eine kostenmäßige Einzelfallbetrachtung auf der Grundlage des dargelegten Nutzenpotentials erfolgen.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Handlungsbedarf besteht, erkannte Potentiale in der Wertschöpfungskette zu heben, die Automobilproduktion zu einem geeigneten Schrittmacher der synchronen Steuerung der Logistiknetzwerke zu machen und damit über die Stabilisierung einen deutlichen Wettbewerbsvorteil zu erlangen. Dazu müssen die komplexen Wertschöpfungsprozesse in Hinblick auf die Auftragsfolge allerdings systematisch stabilisiert werden.

Die PPS bildet nach wie vor den Kern jedes produzierenden Industrieunternehmens [Günther 2007] und stellt die zentrale Stellgröße der aktiven und reaktiven Beeinflussung von Auftragsreihenfolgen dar. In den nächsten Abschnitten ist es die Aufgabe zu untersuchen, inwieweit die Produktionssteuerung an sich die Zielausrichtung auf die Reihenfolgenstabilität unterstützt und welche ihrer Methoden diese unterstützen.

## **4 Produktionssteuerung nach stabiler Auftragsfolge in der Automobilindustrie**

Aufgrund der zentralen Rolle der Produktionslogistik im Kundenauftragsprozess müssen deren Einflussmöglichkeiten in Bezug auf die Stabilisierung von Auftragsreihenfolgen detailliert untersucht werden. In den folgenden Abschnitten werden dazu nicht nur die theoretischen Grundlagen erarbeitet, sondern es wird auch deren praktische Umsetzung in der Automobilindustrie als „Status quo“ beschrieben.

Es gilt zunächst, die Produktionssteuerung in den Gesamtkontext der Produktionslogistik einzuordnen. Des Weiteren ist es für die vorliegende Arbeit notwendig, die in der Literatur teilweise sehr kontrovers diskutierten Aufgaben sowie die Ziel-, Stell- und Regelgrößen der PPS zu definieren (Abschnitt 4.2.). Anhand einer Systematisierung von Fertigungssteuerungsverfahren (Prinzipien) können eine fundierte methodische Beschreibung und Zuordnung der vorhandenen Verfahren erfolgen.

In Abschnitt 4.4 folgt anhand der theoretischen Grundlagen der Produktionssteuerung mit der Einordnung, den Zielen und Aufgaben sowie den Prinzipien und Verfahren die Beschreibung des Stands der Technik in der Automobilindustrie. Von der Definition der grundlegenden Charakteristika der Wertschöpfung bei Automobilen in Abschnitt 2.1 wird zunächst auf die Steuerung der Automobilproduktion im Allgemeinen und die konkrete Umsetzung des Prinzips der stabilen Auftragsfolge im Besonderen eingegangen. In Abschnitt 4.5 werden die Erkenntnisse über die Eignung bestehender Prinzipien und Methoden der Produktionssteuerung zur Stabilisierung von Auftragsreihenfolgen kritisch bewertet und zusammengefasst.

### **4.1 Einordnung**

Zu den wesentlichen Funktionen der Produktionslogistik gehören neben den als Logistik-Querschnittsfunktionen definierten Transport- und Lageraufgaben

- die Schaffung einer materialflussgerechten Fabrikstruktur,
- die Planung und Steuerung der Produktion sowie

- die interne Materialbereitstellung in der Produktion [Schulte 2005].

Die PPS hat sich seit der Begriffsentstehung aus der Integration von Material- und Zeitwirtschaft in den 1980er Jahren zu einer Querschnittsfunktion im Unternehmen entwickelt. Sie beschäftigt sich mit dem gesamten Prozess der Auftragsabwicklung, insbesondere der operativen Steuerung des Informations- und Materialflusses, steuert dafür auch die vor- und nachgelagerten Logistikprozesse und stimmt die Elementarfaktoren Material, Personal und Betriebsmittel optimal aufeinander ab [Luczak 1999]. Die PPS umfasst nach Hackstein die in Abbildung 4-1 aufgeführten Funktionen der Produktionsprogramm-, Mengen-, Termin- und Kapazitätsplanung sowie der Auftragsveranlassung und -überwachung [Hackstein 1984].

In der Produktionsprogrammplanung werden Art, Menge und Termine der zu erzeugenden Produkte definiert, der sogenannte Primärbedarf. Die Grundlage hierfür ist die Absatzplanung von Vertrieb und Marketing. Die Mengenplanung legt die Menge der zu fertigenden Teile und des zu beschaffenden Materials fest, den sogenannten Sekundärbedarf. Dies erfolgt mit der Bedarfsermittlung. Die primäre Aufgabe der Termin- und Kapazitätsplanung ist es, aus dem Produktionsprogramm den erforderlichen Ressourcenbedarf abzuleiten. Auf dessen Basis werden anschließend eine Durchlaufterminierung und Kapazitätsbedarfsplanung sowie im Fall von Kapazitätsüberlastung eine Kapazitätsabstimmung durchgeführt [Lödding 2005].

Somit ergeben sich die Start- und Endtermine der Arbeitsvorgänge für die geplanten Fertigungsaufträge. Die Auftragsveranlassung löst die Fertigungsaufträge aus. Dabei werden die Fertigungsaufträge auf Personal, Material und Verfügbarkeit von Maschinen und Vorrichtungen untersucht und danach bewertet. Im Wesentlichen ist die Auftragsüberwachung eine Fortschrittsüberprüfung, die im Allgemeinen auf Soll-/Ist-Abweichungen von Mengen und Terminen basiert.

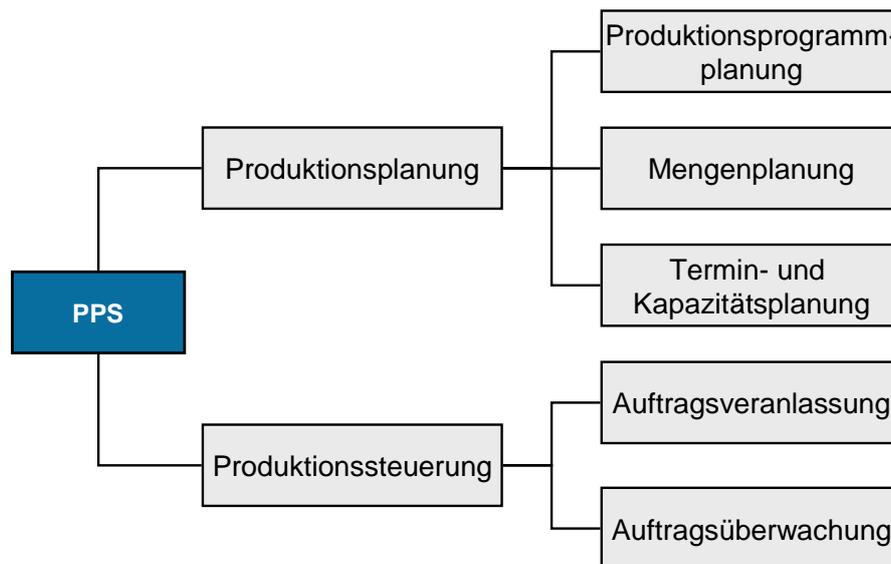


Abbildung 4-1: Funktionen der PPS (in Anlehnung an [Hackstein 1984])

Wie beschrieben, ist die Produktionssteuerung ein elementarer Bestandteil der PPS. Dabei ist es die Aufgabe der Fertigungssteuerung<sup>1</sup>, die Produktionsplanung trotz unvermeidlicher Änderungen und Störungen zu realisieren [Wiendahl 1997]. Im Folgenden wird auf die Aufgaben und Ziele der Produktionssteuerung näher eingegangen.

### 4.2 Aufgaben und Ziele der Produktionssteuerung

Die Aufgaben der Produktionssteuerung werden in der Literatur sehr unterschiedlich beschrieben. Die Darstellungen orientieren sich an unterschiedlichen Sichtweisen, die sich an den Unternehmensfunktionen, den Daten, der Organisationsform oder dem Umfang der inhaltlichen Aufgaben festmachen lassen. Für die in dieser Arbeit aufgeworfene Fragestellung erscheint das von Lödding entwickelte Modell der Fertigungssteuerung zweckmäßig, das aus vier Elementen besteht: den Aufgaben der Produktionssteuerung, den Stell-, den Ziel- und den Regelgrößen. Diese Elemente sind durch Wirkzusammenhänge miteinander verknüpft.

- Die Aufgaben legen die Stellgrößen fest.
- Die Regelgrößen ergeben sich als Abweichung von zwei Stellgrößen.

---

<sup>1</sup> Fertigungssteuerung wird in dieser Arbeit synonym mit „Produktionssteuerung“ verwendet.

- Die Regelgrößen bestimmen die logistischen Zielgrößen [Lödding 2005].

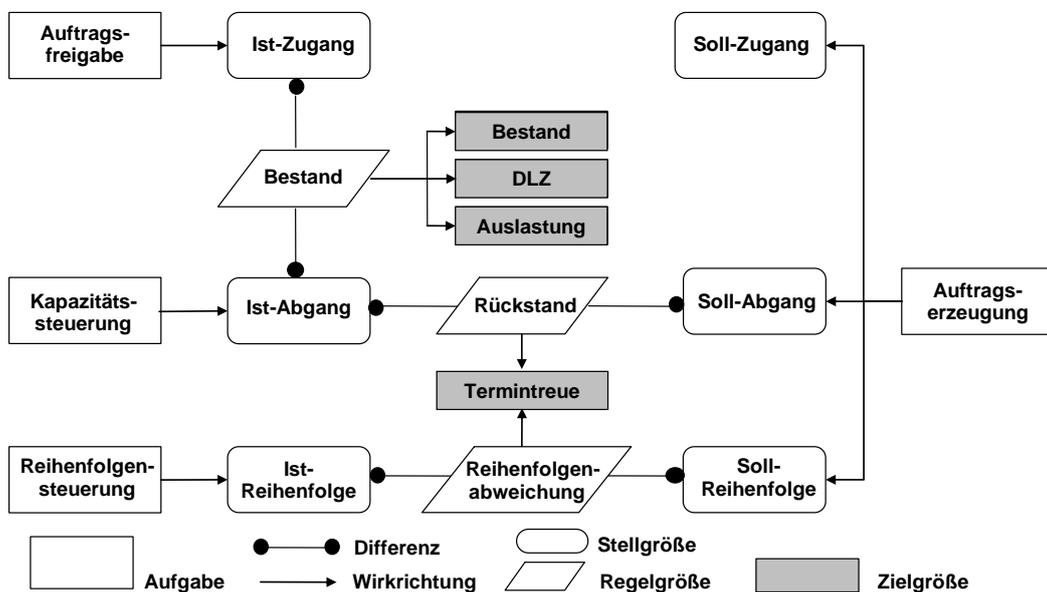


Abbildung 4-2: Modell der Fertigungssteuerung [Lödding 2005]

## 4.2.1 Aufgaben

Die Aufgaben der Produktionssteuerung lassen sich nach Lödding in Auftragserzeugung, Auftragsfreigabe, Reihenfolgenbildung/-steuerung und Kapazitätssteuerung gliedern. Zur Steuerung der Fertigung eines Unternehmens müssen diese Aufgaben gelöst werden. Die Verknüpfung mehrerer Einzelverfahren mit dem Ziel, die Gesamtheit der Aufgaben der Fertigungssteuerung abzudecken, entspricht der Konfiguration zu einem Gesamtsystem [Lödding 2005]. Im Folgenden werden diese Funktionen genauer erläutert.

### 4.2.1.1 Auftragserzeugung

Die Auftragserzeugung bestimmt den Plan<sup>1</sup>-Zugang und Plan-Abgang sowie die Soll-Reihenfolge. Gleichzeitig legt diese die Planwerte der Zielgrößen (siehe Abschnitt 4.2.2) fest. Die Klassifizierungsmerkmale der Auftragserzeugung sind

- die Auslösungsart,
- der Erzeugnisumfang und
- die Auslösungslogik.

<sup>1</sup> Plan wird synonym mit „Soll“ verwendet.

Bei der Auslösungsart wird grundsätzlich zwischen der Auftragsfertigung (Auslöser ist hier ein Kundenauftrag) und der Lagerfertigung unterschieden, bei welcher der Fertigungsauftrag schon vor Eingang eines Kundenauftrags erzeugt wird. Der Erzeugnisumfang lässt sich in einstufig und mehrstufig unterscheiden, je nachdem, ob die Erzeugung gleichzeitig über mehrere Stücklistenstufen erfolgt oder nicht. Die Auslösungslogik kann in eine periodische – zu bestimmten Zeitpunkten stattfindende – und eine ereignisorientierte – nach definierten Ereignissen erfolgende – Auftragserzeugung unterschieden werden [Lödding 2005]. In Abschnitt 4.3.2 werden verschiedene Verfahren der Produktionssteuerung genauer erörtert.

### 4.2.1.2 Auftragsfreigabe

Die Auftragsfreigabe determiniert den Startzeitpunkt eines Auftrags. Dabei erfolgt die Klassifizierung anhand der Merkmale

- Kriterium,
- Detaillierungsgrad und
- Auslösungslogik [Lödding 2005].

Das Kriterium der Auftragsfreigabe legt das Entscheidungsmerkmal der Freigabe fest. Dies kann ein Plan-Starttermin (die Auftragsfreigabe nach Termin ist nicht in der Lage, den Bestand zu regeln), die Belastung am Arbeitssystem oder kein Kriterium sein. Im letzten Fall erfolgt die sofortige Freigabe direkt nach der Auftragserzeugung. Der Detaillierungsgrad unterscheidet zwischen der Freigabe des gesamten Auftrags, eines definierten Teils des Auftrags oder einzelner Arbeitsvorgänge.

Die Auslösungslogik unterscheidet zwischen periodisch und ereignisorientiert, d. h., die Freigabeentscheidung fällt nach Eintritt bestimmter Ereignisse (Erzeugung eines Auftrags, Erreichen eines Plan-Starttermins, Unterschreiten der Bestandsgrenze oder Änderung eines Verfahrensparameters). Die periodische Auftragsfreigabe hingegen erfolgt zu vorab festgelegten und regelmäßig wiederkehrenden Zeitpunkten [Lödding 2005].

### 4.2.1.3 Reihenfolgensteuerung

Die Reihenfolgensteuerung bestimmt, welcher Auftrag in der Warteschlange eines Arbeitssystems als Nächstes bearbeitet wird. Dabei gilt es, die Ist-Reihenfolge an die Plan-Reihenfolge anzupassen, um eine hohe Termintreue oder einen hohen

Servicegrad zu erreichen. Dazu wird jedem Auftrag nach definierten Ausprägungen eine Priorität zugeordnet. Der Auftrag mit der höchsten Priorität soll als Nächstes bearbeitet werden. Je mehr Aufträge die Warteschlange umfasst, also je größer der Bestand am Arbeitssystem ist, desto größer ist der Einfluss der Reihenfolgensteuerung auf die Erreichung logistischer Ziele [Wiendahl 1997].

Dies bedeutet jedoch im Umkehrschluss, dass mit dem Bestreben, die WIPs zu verringern, die Bedeutung der Reihenfolgensteuerung abnimmt. Reihenfolgenvertauschungen können aber dennoch zu einer starken Beschleunigung oder Verzögerung von Aufträgen führen [Yu 2001]. In der Literatur ist eine ganze Reihe unterschiedlicher Klassifikationen von Prioritätsregeln vorzufinden (vgl. z. B. [Käschel 2004]). Lödding teilt die Prioritätsregeln nach ihrer Wirkung auf die logistischen Zielgrößen ein. Nachfolgend werden die für diese Arbeit relevanten aus der Vielzahl von Reihenfolgenregeln<sup>1</sup> herausgegriffen und anhand der Unterteilung ihrer Zeitabhängigkeit diskutiert.

Die erste Unterteilung findet nach dem Kriterium statt, ob der aktuelle Zeitpunkt in die Betrachtung einbezogen wird und somit der Zeitverlauf eine Rolle spielt.

Demnach kann zwischen zeitunabhängigen und zeitabhängigen Regeln unterschieden werden. Bei den zeitunabhängigen Regeln erfolgt die weitere Unterteilung nach dem Kriterium, welche **zeitunabhängigen Einflussgrößen** an der Regelbildung beteiligt sind: stochastische, prozesszeiten- oder fertigstellungszeitpunktorientierte (siehe Abbildung 4-3).

---

<sup>1</sup> Reihenfolgenregel wird in der Literatur synonym mit „Prioritätsregel“ verwendet.

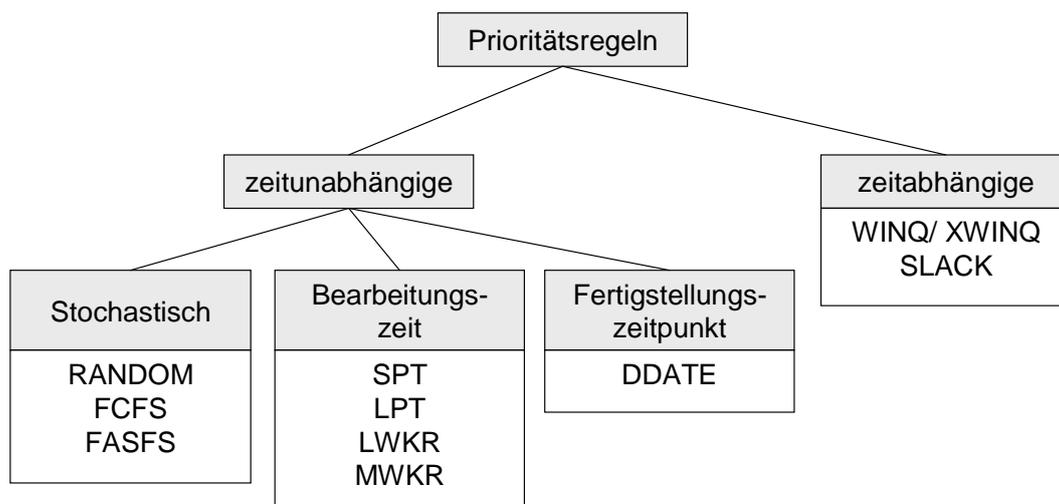


Abbildung 4-3: Klassifikation von Prioritätsregeln (in Anlehnung an [Käschel 2004])

Die **zufallsbasierten Prioritätsregeln** Random, FCFS<sup>1</sup> und FASFS dienen als Referenzverfahren zum Vergleich mit anderen Vorgehensweisen. Random (englisch, Zufall) bestimmt die Reihenfolge einer Warteschlange von Arbeitsvorgängen per Zufallsgenerator. Dies ist vergleichbar mit der willkürlichen Auswahl eines Auftrags durch einen Mitarbeiter im Prozess.

FCFS und FASFS verhalten sich deterministisch gegenüber einer gegebenen Probleminstanz. Zufällig ist nur, wann ein Auftrag ins System eintritt. Bei FCFS, kurz Wartezeitregel, wird der einzuplanende Arbeitsvorrat an Arbeitsvorgängen den Beendigungszeiten der jeweils vorhergehenden Arbeitsvorgänge entsprechend bewertet und somit die Warteschlangendisziplin festgelegt. Bei FASFS, kurz Auftragseingangsregel, ist das Entscheidungskriterium der Freigabezeitpunkt. Somit ist die Priorität eines Auftrags über alle Arbeitsstationen hinweg unveränderlich.

Prioritäten, in deren Berechnung die Arbeitsoperationen in Bezug auf ihre Anzahl oder ihre Bearbeitungszeiten eingehen, werden als **bearbeitungszeitorientiert** eingeordnet.

SPT<sup>2</sup> ist wohl die bekannteste Prioritätsregel. Die Auftragspriorität ist hierbei gleich der Bearbeitungszeit des nächsten zu bearbeitenden Arbeitsvorgangs. LPT<sup>1</sup> ist die

<sup>1</sup> FCFS wird auch als FIFO (first in, first out)-Regel bezeichnet.

<sup>2</sup> SPT wird übersetzt auch als KOZ (kürzeste Operationszeit) bezeichnet.

negierte Funktion von SPT. Die Least-Work-Remaining (LWKR)-Regel legt die Auftragspriorität der Summe der Bearbeitungszeiten aller noch nicht bearbeiteten Arbeitsvorgänge entsprechend fest und tendiert dazu, weitgehend fertiggestellte Aufträge zu beenden. Somit wird die Anzahl der Aufträge im System minimiert. Most-Work-Remaining (MWKR) ist die negierte Funktion von LWKR und tendiert dazu, möglichst viele Aufträge zu beginnen, um in späteren Entscheidungssituationen eine größere Auswahl an Alternativen zur Verfügung zu haben.

Die Lieferterminregel (DDATE) als einzige Vertreterin der **fertigstellungszeitpunktorientierten Verfahren** plant die Arbeitsvorgänge den Lieferterminen ihrer Aufträge entsprechend ein.

Bei **zeitabhängigen Regeln** spielt der Zeitverlauf eine wichtige Rolle für die Berechnung von Prioritäten, d. h., die Berechnungen berücksichtigen den aktuellen Zeitpunkt, der Aussagen über zeitkritische Arbeitsvorgänge zulässt. Bei WINQ, kurz Warteschlangenregel, wird die Auftragspriorität aus der Summe der Bearbeitungszeiten der Aufträge berechnet, die sich in der Warteschlange befinden, in die der zu bewertende Auftrag als Nächstes eintreten wird. XWINQ ist eine Erweiterung von WINQ, bei der auch diejenigen Aufträge einbezogen werden, die im Moment an einer anderen Arbeitsstation bearbeitet werden, diese Warteschlange jedoch vor dem zu bewertenden Auftrag erreichen.

Die SLACK<sup>2</sup>-Regel betrachtet die Zeitdifferenz zwischen Soll-Liefertermin und Restbearbeitungszeit. Den zeitabhängigen Prioritätskennzahlen könnte man den von Lödning vorgeschlagenen Flussgrad „wahrscheinliche Terminierung“ ( $FG_{WT}$ ) zuordnen. Dahinter steckt die Grundidee, Aufträge zu beschleunigen, bei denen die Nachfrage während der Wiederbeschaffungszeit die geplante Nachfrage übertrifft. Dadurch kann eine negative Korrelation zwischen der Nachfrage und der Wiederbeschaffungszeit erreicht werden. Das heißt, die Wiederbeschaffungszeit ist tendenziell umso kürzer, je größer die tatsächliche Nachfrage im Vergleich zur geplanten Nachfrage ausfällt. Dadurch kann ein höherer Servicegrad erreicht werden. Der  $FG_{WT}$  ermittelt sich wie folgt [Lödning 2005]:

---

<sup>1</sup> LPT wird übersetzt auch als LOZ (längste Operationszeit) bezeichnet.

<sup>2</sup> Slack wird übersetzt auch als „Schlupfzeitregel“ bezeichnet. Der Schlupf bezeichnet die Zeitdauer bis zum Plan-Fertigstellungstermin des Auftrags, die nicht für die Bearbeitung oder für eventuelle Mindestübergangszeiten benötigt wird [Lödning 2005].

#### 4 Produktionssteuerung nach stabiler Auftragsfolge in der Automobilindustrie

---

$$FG_{WT} = \frac{B - B_{Sicherheit}}{\frac{BR_m}{\sum_{i=AktAVG}^{AnzAVG} ZDF_{m,i}}} \quad (\text{Gl. 4-1})$$

Dabei sind  $B$  der Lagerbestand in Mengeneinheiten,  $B_{Sicherheit}$  der Sicherheitsbestand,  $BR_m$  die mittlere Bedarfsrate und  $ZDF_{m,i}$  die ZDF des  $i$ -ten Arbeitsvorgangs,  $AktAVG$  der Index des aktuellen Arbeitsvorgangs und  $AnzAVG$  die Anzahl der Arbeitsvorgänge des Auftrags. Der Auftrag mit der niedrigsten Prioritätskennzahl hat die höchste Priorität und wird dementsprechend als Erstes bearbeitet.

Tabelle 4-1 gibt einen Überblick über die allgemeine Güte elementarer Prioritätsregeln in Abhängigkeit von einem bestimmten Ziel wieder.

	SPT	LWKR	SLACK
Maximierung der Kapazitätsauslastung	sehr gut	gut	gut
Minimierung der Zykluszeit	sehr gut	gut	gut
Minimierung der Durchlaufzeit	sehr gut	gut	mäßig
Maximierung der Termintreue	schlecht	mäßig	sehr gut

Tabelle 4-1: Güte von Prioritätsregeln [Käschel 2004]

Die abschließende Tabelle 4-2 stellt die Sichtweise von Lödding dar.

Primäre logistische Zielgröße	Reihenfolgeregel
Termintreue	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frühester Plan-Starttermin</li> <li>• Frühester Plan-Endtermin</li> <li>• Kleinster Schlupf/Critical Ratio</li> <li>• First-in-First-out</li> </ul>
Servicegrad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flussgrad Wahrscheinliche Terminierung</li> </ul>
Leistung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rüstzeitoptimierende Reihenfolgebildung</li> <li>• Extended Work in next Queue (XWINQ)</li> </ul>

Tabelle 4-2: Zuordnung ausgewählter Reihenfolgenregeln zur primären logistischen Zielgröße [Lödding 2005]

### 4.2.1.4 Kapazitätssteuerung

Kapazitätsplanung und -steuerung unterscheiden sich in ihrer zeitlichen Anordnung. Im Voraus wird in der Kapazitätsplanung das zur Realisierung notwendige Kapazitätsangebot ermittelt. Die Kapazitätssteuerung entscheidet kurzfristig über den tatsächlichen Einsatz der Kapazitäten und legt den Fokus auf die Regelung von Rückständen oder die Vermeidung von Verspätungen. Rückstand ist als Differenz zwischen kumulierten Plan- und Ist-Abgang definiert. Für Verfahren der Auftragserzeugung existieren verfahrensspezifische Rückstandsmessungen. Auftragsfreigabeverfahren können helfen, den Rückstand einer Produktion zu bestimmen. Werden bestandsregelnde Auftragsfreigabeverfahren eingesetzt, so kann der Rückstand auch im Zugang gemessen werden.

Die Kapazitätsflexibilität lässt sich in die Flexibilität der Betriebsmittel und in die der Mitarbeiter unterscheiden. Die Betriebsmittelflexibilität kann durch eine Veränderung der Anzahl der Betriebsmittel, Veränderung der Betriebsmittelintensität, Fremdvergabe von Aufträgen oder Arbeitsvorgängen, Verschieben von Wartungsarbeiten und Verlagerung auf alternative Anlagen/Maschinen erreicht werden. Die Arbeitszeitflexibilität, die Reaktion durch Einstellung oder Entlassung von Mitarbeitern, und die Mehrfachqualifizierung sind Elemente der Mitarbeiterflexibilität.

Abschließend ist auf die Konfiguration der Rückstandsregelung einzugehen. Um trotz auftretender Störungen eine hohe Termintreue sicherzustellen, ist deren Ziel, die Kapazität kurzfristig anzupassen, um den Plan-Abgang zu erreichen. Dies umfasst zwei Schritte: die Wahl der Auslösungslogik und die Festlegung der Dauer und Höhe der Kapazitätsanpassung. Die Wahl der Auslösungslogik kann periodisch, d. h. in fest definierten Zeitabständen, oder ereignisorientiert, bei

Überschreiten eines definierten Grenz-Rückstand erfolgen. Das Produkt aus Dauer und Betrag der Kapazitätsanpassung sollte dem Rückstand entsprechen.

Nach Lödding gibt es zwei Grundsätze, die Unternehmen bei der Kapazitätssteuerung beachten sollten: die Orientierung am Plan-Abgang und die Berücksichtigung des Engpassprinzips [Lödding 2005].

### 4.2.2 Zielgrößen

Die Fertigungssteuerung hat einen unmittelbaren Einfluss auf die internen logistischen Zielgrößen Durchlaufzeit, Termintreue, Bestand und Auslastung, die von der Lieferzeit, Lieferterminabweichung und Liefertreue oder dem Servicegrad in Form der externen (dem Kunden gegenüber erbrachten) Logistikleistung abgeleitet werden. Die Produktionssteuerung trägt somit in hohem Maße zum wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens bei und ist „Enabler“ für die Differenzierung auf dem Markt. Abbildung 4-4 fasst diese Zielgrößen im Zielsystem der Produktionslogistik zusammen. Aufgrund ihrer großen Bedeutung sowohl für den Unternehmenserfolg als auch für die Bewertung von Fertigungssteuerungsverfahren werden die internen Zielgrößen nachfolgend kurz erläutert.

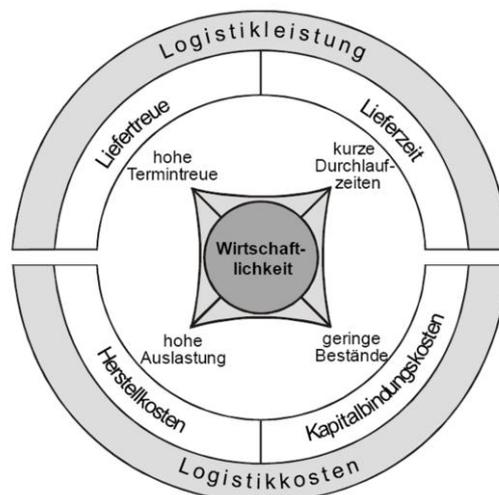


Abbildung 4-4: Ziele der Produktionslogistik [Wiendahl 2005]

#### 4.2.2.1 Durchlaufzeit

Die Durchlaufzeit pro Arbeitsvorgang ist als die Zeitspanne festgelegt, die ein Auftrag von der Beendigung des vorhergehenden Arbeitsvorgangs bis zum Ende des betrachteten Arbeitsvorgangs selbst benötigt. Sie setzt sich zusammen aus der

tatsächlichen Bearbeitungszeit und der Übergangszeit. Die Liegezeit<sup>1</sup> setzt sich wiederum zusammen aus der Rüstzeit, der Lagerungszeit, der Transportzeit und der Kontrollzeit [Wöhe 2005]. Nach Wiendahl ist die Durchlaufzeit eines Auftrags als die Zeit zwischen der Auftragsfreigabe (TAB) und dem Bearbeitungsende (TAE) eines Auftrags definiert [Wiendahl 1997].

$$DLZ = TAE - TAB \quad (\text{Gl. 4-2})$$

In der Auftragsfertigung definiert die Durchlaufzeit die Untergrenze der Lieferzeit eines Auftrags. Die Streuung der Durchlaufzeit beeinflusst die Termin- und Liefertreue. Bei kurzen Durchlaufzeiten steigt die Flexibilität. So kann der Auftrag bei vorgegebenem Liefertermin später für die Produktion freigegeben werden. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass Änderungswünsche des Kunden noch vor der Auftragsfreigabe eintreffen.

Ein Grundproblem der Fertigungssteuerung ist der Zielkonflikt zwischen einer hohen Auslastung einerseits und niedrigen Beständen sowie kurzen Durchlaufzeiten andererseits – auch als Dilemma der Ablaufplanung bekannt (vgl. z. B. [Corsten 2007]). Die angestrebten Durchlaufzeiten erfordern eine signifikante Reduzierung der WIPs in der Fertigung.

Um die Betriebsmittel jedoch vor Materialabrissen – die zu Auslastungsverlusten führen – zu schützen, ist eine entsprechende logistische Positionierung auf der Produktionskennlinie festzulegen [Nyhuis 1999]. Dieser sogenannte Betriebspunkt beeinflusst somit die Streuung der Durchlaufzeit. Dies zeigt die Bestimmung der durchschnittlichen Durchlaufzeit eines Systems durch Little's Law [Hopp 2000]. Bei fester Taktzeit,  $T_0$ , schwankt die Durchlaufzeit mit der WIP als die Anzahl der Produktionsaufträge, die sich gleichzeitig im System befinden.

$$\overline{DLZ} = \overline{WIP} * T_0 \quad (\text{Gl. 4-3})$$

Die erwartete Durchlaufzeit eines Objekts  $i$  bei Einlauf in den Prozess ergibt sich bei einer reinen FIFO-Steuerung aus der aktuellen WIP ( $WIP^E$ ) und der effektiven Zykluszeit als der mittleren Zwischenankunftszeit der Ausbringungsmenge an Gutteilen am Prozessende in der Betriebszeit

---

<sup>1</sup> Wird synonym mit „Übergangszeit“ verwendet.

$$ZZ_{eff} = \frac{BZ}{AM} \quad (\text{Gl. 4-4})$$

wie folgt:

$$DLZ_i = WIP_i^E * ZZ_{eff} \quad (\text{Gl. 4-5})$$

Abbildung 4-5 zeigt die Verteilungsfunktion von Durchlaufzeiten schematisch, wobei sich eine minimale und maximale Durchlaufzeit sowie eine durchschnittliche und häufigste Durchlaufzeit bestimmen lassen.

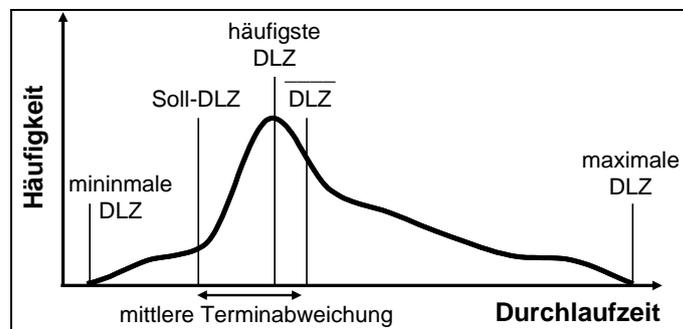


Abbildung 4-5: Durchlaufzeit-Verteilung und zugehörige Kennzahlen (schematisch) [Meißner 2009]

### 4.2.2.2 Bestand

In die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens fließen neben der Logistikleistung auch die Logistikkosten ein. Die Zielgröße Bestand ist dabei Teil der die Logistikkosten beeinflussenden Elemente. Nach der örtlichen Lokation kann grundsätzlich zwischen Lager- und Fertigungsbestand unterschieden werden. Der Lagerbestand umfasst Rohmaterial, Halbfabrikate und Fertigwaren. Dem Bestand kommt nach Lödding aus vier Gründen große Bedeutung zu als

- Zielgröße,
- logistische Regelgröße,
- Regelgröße in KVP und
- Bewertungsgröße.

Der Bestand bindet Kapital und beansprucht ferner Fläche für Fertigung und Lager. Zusätzlich steigt mit der Höhe des Bestands das Risiko, einen Bestand aufgrund

von Änderungen der Materialspezifikation nicht wie geplant wirtschaftlich verwerten zu können (Verschrottungsrisiko). Eine bestandsarme Produktion ist zudem übersichtlicher und daher einfacher zu steuern. Die WIP hat einen Einfluss auf die Auslastung der Produktion und die Durchlaufzeit der Aufträge. Da die Werte beider Zielgrößen mit steigendem Bestand zunehmen, führt dieser Zielkonflikt zum seit langem bekannten Dilemma der Ablaufplanung (siehe oben).

Mit maßvollen Beständen können kurze Lieferzeiten den Kunden gegenüber realisiert werden. Zugleich erlauben Sicherheitsbestände bis zu einem bestimmten Umfang eine Abkopplung von äußeren Einflüssen. Lager und somit Bestände erfüllen grundsätzlich zwei Hauptfunktionen: die zeitliche und mengenmäßige Entkopplung von Prozessen [Wildemann 2001]. Bestände sind also immer dann erforderlich, wenn die Liefer- und Nachfragemengen pro Zeiteinheit nicht übereinstimmen. Eine zeitliche Entkopplung ist notwendig, wenn der Bedarf an und die Bereitstellung von Materialien nicht gleichzeitig erfolgen.

Das Ziel von KVP in der Logistik ist es, den Bestand schrittweise so weit zu senken, bis Probleme offenbar werden. Diese Idee stammt aus der JIT-Philosophie (vgl. z. B. [Monden 1998]). So verdecken Bestände nach Wildemann

- störanfällige Prozesse,
- unabgestimmte Kapazitäten,
- mangelnde Flexibilität,
- Ausschuss und
- mangelnde Liefertreue [Wildemann 2001].

Erst durch Bestandssenkungen können die Problemursachen analysiert werden. Nachdem das aufgetretene Problem behoben worden ist, kann der Bestand weiter gesenkt werden. So führt die kontinuierliche Bestandssenkung zu beherrschten Prozessen. Ferner können Qualitätsmängel bei niedrigen Beständen schnell entdeckt und behoben werden. Der produzierte Ausschuss ist proportional zur Bestandshöhe [Wildemann 2001].

Der Bestand lässt sich auch monetär erfassen und eignet sich daher dazu, andere Zielgrößen zu bewerten [Lödding 2005]. Dazu müssen die Zielgrößen in einen Vergleichsbestand umgerechnet werden.

### 4.2.2.3 Leistung und Auslastung

Die Leistung eines Arbeitssystems wird in der Produktionspraxis häufig als Durchsatz, Produktionsrate oder Ausbringung bezeichnet und in Bezug auf eine Zeiteinheit angegeben. Die mittlere Auslastung beschreibt dagegen das Verhältnis von mittlerer (tatsächlicher) zu maximal möglicher Leistung eines Arbeitssystems. Mit steigender Auslastung der Arbeitssysteme kann ein Unternehmen – die Nachfrage vorausgesetzt – seine Ausbringung und die Umsatzerlöse steigern. Da die Betriebsmittelkosten zum Großteil unabhängig von der Ausbringung sind, resultiert daraus für das Unternehmen ein höherer Gewinn.

Die Finanzierungskosten angeschaffter Maschinen können durch die kurzfristigen Entscheidungen der Fertigungssteuerung nicht mehr beeinflusst werden. Eine Vorgabe an die Produktionssteuerung, teure Maschinen möglichst hoch auszulasten, ist daher wirtschaftlich unbegründet und führt im Gegenteil häufig zu erhöhten Beständen und Durchlaufzeiten [Lödding 2005].

Da die Fertigungsaufträge die Arbeitssysteme meist ungleichmäßig belasten, ist es selbst für ein Unternehmen, das an der Kapazitätsgrenze arbeitet, nicht möglich, alle Arbeitssysteme voll auszulasten. Daher reicht es nach dem Engpassprinzip aus, die Kapazität der Engpassstation auszulasten, da diese die Ausbringung der gesamten Fertigung bestimmt. Arbeitet ein Unternehmen hingegen nicht an der Kapazitätsgrenze, verliert die Zielgröße Auslastung an Gewicht: Die Leistung der Arbeitssysteme und die Ausbringung der Fertigung wird nicht mehr von der bestandsbedingten Auslastung, sondern allein von der Kundennachfrage bestimmt.

### 4.2.2.4 Termintreue

Die Termintreue ist ein Maß für die Beurteilung der Einhaltung der Termine der Gesamtheit aller Aufträge eines Zeitraums und kann aus dem Abgang, dem Zugang und als relatives Maß ermittelt werden. Dabei wird die Wahrscheinlichkeit erfasst, mit der die Lieferzeit eingehalten wird [Schulte 2005]. Die Abgang-Termintreue, im Folgenden als Termintreue definiert, stellt die wichtigste dieser Kenngrößen dar [Lödding 2005]. Die Termintreue wird von Yu definiert als prozentualer Anteil der innerhalb einer vorgegebenen Termintoleranz fertiggestellten Aufträge [Yu 2001]. Die Terminabweichung am Prozessausgang beschreibt dabei die Abweichung der tatsächlichen von der Soll-Durchlaufzeit eines Auftrags oder die Zeitdifferenz zwischen dem geplanten und dem tatsächlichen zeitlichen Abgang aus einem Prozess [Lödding 2005]:

$$TT = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n T_j^{TA \neq 0}}{n} \quad [\%] \quad (\text{Gl. 4-6})$$

#### 4.2.2.5 Reihenfolgenstabilität

Die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Termintreue ist bereits ein Indikator der Reihenfolgenstabilität, da Abweichungen von der Soll-Durchlaufzeit mit der Verwirbelung der Reihenfolge einhergehen können. Die Entscheidung für die Durchlaufzeit als Grundlage für eine Bewertung der Reihenfolgenstabilität im Produktionsfluss zieht einige Nachteile nach sich.

Zum einen besteht das Problem der Bestimmung exakter Soll-Termine und Soll-Durchlaufzeit für jeden Produktionsauftrag. Die Soll-Werte können erst durch detaillierte Prozessanalysen festgelegt und müssten bei Neukonfigurationen der Produktion auch jeweils neu bestimmt werden. Zum anderen sind die Termine und Durchlaufzeit im Produktionsprozess schwer zu ermitteln, und für die notwendigerweise produktionstaktgenaue Betrachtung gibt es keine geeigneten Mess- und Steuerungsinstrumente der Reihenfolgenstabilität.

Meißner schlägt hierzu ein detailliertes Kennzahlensystem vor [Meißner 2009a]. Als Kennzahlen zur Bewertung der Einhaltung von Auftragsfolgen werden daraus für diese Arbeit die folgenden Größen verwendet:

- Reihenfolgenabweichung
- Reihenfolgenrückstand
- Reihenfolgeneinhaltung

#### Reihenfolgenabweichung

Die Reihenfolgenabweichung (**RFA**) ergibt sich nach Meißner dabei zu einem Zeitpunkt im Prozessdurchlauf für ein Reihenfolgeelement  $i$  als:

$$RFA_i = \text{IstPosition}_i - \text{SollPosition}_i \quad (\text{Gl. 4-7})$$

Sie gibt damit den Abstand eines Objekts von seiner Zielposition an, also die Stärke der Verwirbelung für jedes einzelne Reihenfolgeelement. Verfrühte Objekte sind in der Ist-Reihenfolge gegenüber der Soll-Reihenfolge entsprechend nach vorne verschoben. Die Anzahl der Takte, die das Objekt zu früh ist, ergibt eine negative

Reihenfolgenabweichung. Bei verspäteten Objekten ergibt die Anzahl der Takte entsprechend eine positive Reihenfolgenabweichung. Abbildung 4-6 gibt ein entsprechendes Beispiel.

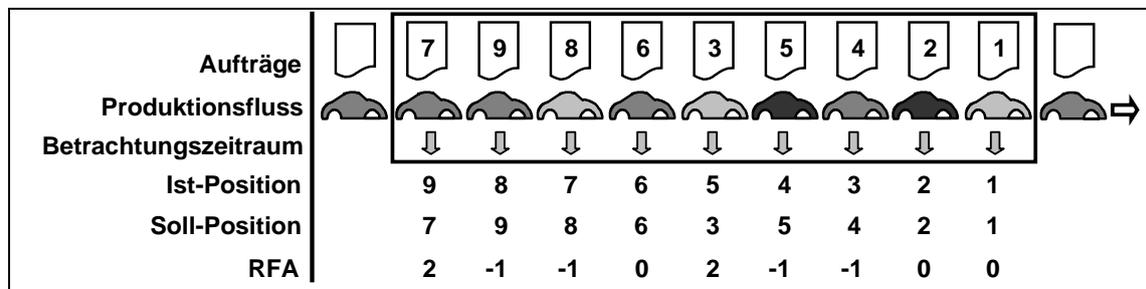


Abbildung 4-6: Bestimmung der Reihenfolgenabweichung (RFA) [Meißner 2009a]

Die Häufigkeitsverteilung der Reihenfolgenabweichung lässt eine statistische Bewertung zu, mit deren Hilfe die Qualität einer Auftragsfolge über einen definierten Zeitraum bewertet werden kann. Neben der direkt wenig aussagekräftigen Asymmetrie und Schiefe der Verteilung lassen sich insbesondere verdichtete Kennzahlen zur Bewertung der durchschnittlichen Stärke der Abweichungen bestimmen. Dies ist vor allem durch die sogenannten Streuungsmaße möglich [Dietrich 1996].

Die Berechnung des **Mittelwerts der absoluten Reihenfolgenabweichung** ermöglicht eine einfache Bewertung der Stärke der Verwirbelung von Reihenfolgen. Dieser wird nach Meißner auf die folgende Weise aus den Einzelabweichungen bestimmt [Meißner 2009a]:

$$\overline{RFA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |RFA_i| \quad (\text{Gl. 4-8})$$

Als weiteres wichtiges Streuungsmaß gilt neben der oben beschriebenen durchschnittlichen absoluten Abweichung die Standardabweichung. Für die Kennzahlenschar Reihenfolgenabweichung von n Elementen zweier abgeschlossener Reihenfolgen kann unter Annahme einer Normalverteilung die **Standardabweichung ( $\sigma_{RFA}$ ) der Reihenfolgenabweichung** wie folgt angegeben werden:

$$\sigma_{RFA} = \sqrt{\text{Var}(RFA)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (RFA_i)^2} \quad (\text{Gl. 4-9})$$

### Reihenfolgenrückstand

Eine zentrale Größe des Steuerns einer Reihenfolge ist der Reihenfolgenrückstand (RR). Er ist eine zeitpunktbezogene Kennzahl und betrachtet die aktuelle Situation einer Reihenfolge an einem bestimmten Messpunkt. Er gibt dabei an, wie viele Elemente einer Reihenfolge noch ausstehen, obwohl diese in der Soll-Reihenfolge bereits hätten kommen sollen.

Aufträge	7	9	8	6	3	4	5	2	1		
Produktionsfluss											⇒
Betrachtungszeitraum	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
Ist-Position	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
Soll-Position	7	9	8	6	3	4	5	2	1		
RFA	2	-1	-1	0	2	0	-2	0	0		
RR	0	1	1	0	0	1	2	0	0		

Abbildung 4-7: Beispiel zur Berechnung der Reihenfolgenabweichung [Meißner 2009a]

Die Kennzahl ist damit ein geeigneter Frühindikator. Als Maximalwert  $RR_{\max}$ , über einen Zeitraum für alle Elemente einer Reihenfolge betrachtet, gibt der Reihenfolgenrückstand an, wie viele Reihenfolgeelemente gleichzeitig im Rückstand waren. Der maximale Reihenfolgenrückstand ist dabei gleich der minimalen Reihenfolgenabweichung ( $RFA_{\min}$ ). Er kann dazu dienen zu bestimmen, wie viele Teile für die reihenfolgenrückständigen Fahrzeuge ggf. zwischengepuffert werden müssen. Mithilfe des Reihenfolgenrückstandes lassen sich somit Zwischenpuffer für fahrzeugspezifische Teile dimensionieren.

### Reihenfolgeneinhaltung

Die Reihenfolgeneinhaltung (RFE) wird nach Meißner über die Summe der verspäteten Elemente einer Ist-Reihenfolge gegenüber einer Soll-Reihenfolge in einen Zusammenhang mit der Anzahl der betrachteten Elemente gebracht. Diese Kennzahl lässt sich für jede beliebige Reihenfolge eindeutig berechnen. Die

Reihenfolgeneinhaltung ergibt sich aus der Anzahl der verspäteten Elemente ( $V$ ), die durch die Anzahl der betrachteten Elemente ( $n$ ) geteilt wird:

$$RFE = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad [\%] \quad (\text{Gl. 4-10})$$

Zum Berechnen dieser Kennzahl werden die Soll- und die Ist-Reihenfolge benötigt, wobei die Kenntnis der Entstehungshistorie nicht notwendig ist. Die Reihenfolgeneinhaltung kann sich dabei sowohl auf die Fahrzeug- als auch auf die Auftragsfolge beziehen.

### 4.2.3 Stell- und Regelgrößen

Die fehlende Realitätsnähe der Planung wird in der Praxis häufig kritisiert. Als Ursache wird die fehlende Kopplung von Planungs- und Steuerungsaktivitäten angeführt. Die Ergebnisse sind inkonsistente Planungsergebnisse aufgrund ungenügender Berücksichtigung der PPS-Zielkonflikte und eine schlechte Fähigkeit zur Reaktion auf veränderliche Zielsetzungen [Wiendahl 1993]. Eine Verbesserung erfordert die Berücksichtigung des logistischen Ablaufverhaltens. Die Regelungstechnik bietet hierzu zwei Ansätze [o. V. 1994]:

- vorausschauende Steuerung mit dem Ziel einer realistischen Prognose des künftigen logistischen Verhaltens der Produktion (offener Wirkungskreislauf)
- Angleichung des tatsächlichen Systemverhaltens an das gewünschte mithilfe eines geschlossenen Wirkungskreislaufs

Eine rein vorausschauende Steuerung durch eine geschlossene Regelung abzulösen, beinhaltet zwei Bedingungen [Föllinger 2008]:

- Informationsrückführung
- Berücksichtigung der Ablaufdynamik durch Entwicklung des Modells einer Regelstrecke sowie Beschreibung dieses Zeitverhaltens mit Stell-, Regel- und Störgrößen

Abbildung 4-8 zeigt ein typisches technisches Regelkonzept und Abbildung 4-9 analog dazu einen produktionslogistischen Regelkreis [Wiendahl 1993].

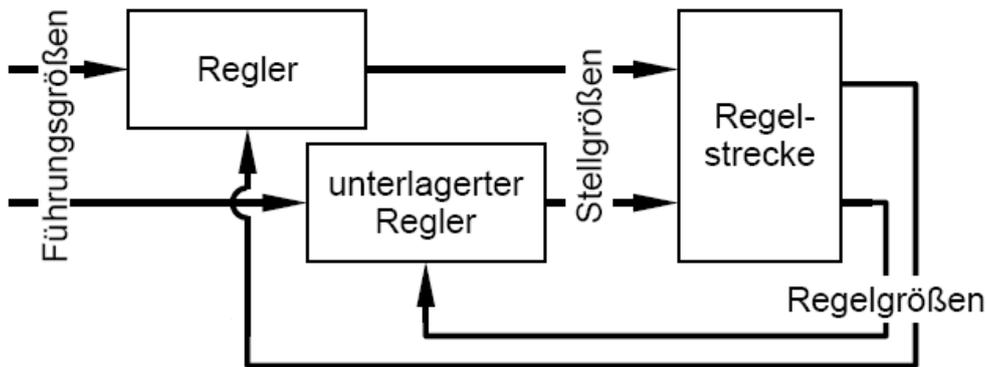


Abbildung 4-8: Technischer Regelkreis (in Anlehnung an [Wiendahl 1993])

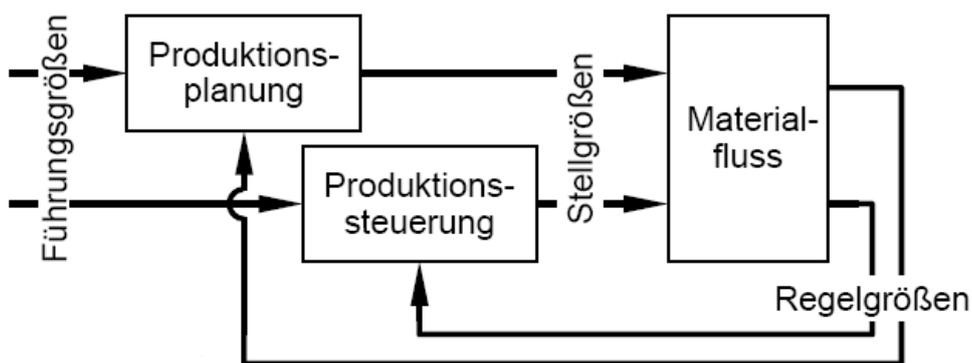


Abbildung 4-9: Produktionslogistischer Regelkreis (in Anlehnung an [Wiendahl 1993])

Mithilfe dieser Modellierung kann die Produktion auf ihr zeitdynamisches Verhalten analysiert, der Materialfluss als Regelstrecke abgebildet und können daraus Stell- und Regelgrößen identifiziert werden.

Zäpfel untersucht die PPS systemanalytisch und nennt drei grundlegende Stellgrößen:

- die Auftragsgröße (nach Art und Menge)
- die Freigabezeitpunkte der Aufträge in der Produktion (Anstoßverhalten)
- die Reihenfolge der Aufträge an den Arbeitssystemen (Abfertungsverhalten)

Diesen stehen als Regelgrößen gegenüber [Zäpfel 1984]:

- das Bestandsniveau in der Produktion
- die Durchlaufzeit der Fertigungsaufträge
- die Kapazitätsauslastung der Arbeitssysteme

Eine differenziertere Betrachtung hinsichtlich einer flussorientierten Strategie nimmt Wiendahl vor. Er wählt die Systemgrößen in Hinblick auf ihren Zeitbezug und die Sichtweise aus, den Anforderungen folgend, dass Regelgrößen gegenwartsbezogen und jederzeit messbar sein sowie ein kontinuierliches Zeitverhalten aufweisen müssen. Die Sichtweise beschreibt, auf welches Betrachtungsobjekt sich die erhobene Systemgröße primär bezieht [Wiendahl 2002]. Abbildung 4-10 gibt einen Überblick über die Stell- und Regelgrößen einer flussorientierten Produktionssteuerungsstrategie, der wie folgt erörtert wird: Das Ziel besteht darin, trotz externer Bedarfsschwankungen intern einen gleichmäßigen Auftragsfluss zu erzeugen: Der Bestandsregler beeinflusst den Bestand über die Zugangsrate und wirkt auf die internen Systemgrößen Bestand und Durchlaufzeit. Der Rückstand-Regler beeinflusst den Rückstand über die Kapazität und wirkt auf die externen Regelgrößen Rückstand und Terminabweichung. Die Leistung verknüpft die beiden Regelkreise.

Systemgröße		Klassifikation	Zeit-bezug			Sicht-weise	
			Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Auftrag	Ressource
Extern	Terminabweichung	X				X	
	Leistung	X	(x)				X
	Rückstand		X				X
	Rückstandsreichweite			X			X
	<b>Kapazität</b>			-			X
Intern	Durchlaufzeit	X				X	
	Leistung	X	(x)				X
	Bestand		X				X
	Bestandsreichweite			X			X
	<b>Zugang</b>			-			X

Abbildung 4-10: Stell- und Regelgrößen einer flussorientierten Strategie [Wiendahl 2002]

Im Folgenden werden die gängigsten Steuerungsmethoden beschrieben, die abhängig von ihrer Konfiguration unterschiedlichen Einfluss auf die beschriebenen Systemgrößen ausüben.

### 4.3 Prinzipien und Verfahren der Produktionssteuerung

In der Literatur existieren verschiedene Ansätze zur Systematisierung von Fertigungssteuerungsverfahren. Häufig wird nach dem Zentralisierungsgrad der zu treffenden Entscheidungen systematisiert [Schulte 2005]. Danach sind zu unterscheiden:

- zentral organisierte Verfahren
- bereichsweise zentral organisierte Verfahren
- dezentral organisierte Verfahren

Der am weitesten verbreitete Ansatz zur Systematisierung von Fertigungssteuerungsansätzen lässt sich auf Überlegungen von Siemens zurückführen und wurde von Sainis erstmals in Deutschland vorgestellt. Danach wird den Fertigungssteuerungsprinzipien ihre Anstoß- oder Steuerungslogik gegenübergestellt (Zieh- und Schiebeprinzip) [Sainis 1985]. Erweitert wird dies

noch durch die Sichtweise, zum einen die Marktsicht (Marktkopplung) und zum anderen die Fertigungssicht (Input-Output-Kopplung). Auf Abschnitt 4.2.1 aufbauend werden diese Sichtweisen im Folgenden anhand ihrer Charakteristika beschrieben. Ergänzt wird dies durch eine strukturierte Darstellung der zugehörigen Verfahren der Auftragserzeugung und Auftragsfreigabe.

### 4.3.1 Prinzipien

Mit dem Zieh- und dem Schiebepprinzip stehen sich zwei unterschiedliche Auftragsanstoß- oder Steuerungslogiken gegenüber. Das deutlichste Merkmal zur charakteristischen Beschreibung der Unterschiede ist durch die Fragen „was löst einen Fertigungsauftrag aus?“ und „wo wird der Fertigungsauftrag eingesteuert?“ gekennzeichnet.

#### 4.3.1.1 Ziehprinzip (Pull<sup>1</sup>)

Beim Ziehprinzip löst ein Kundenauftrag an der jeweils vorgelagerten Station einen Bedarf aus, wodurch das „Ziehen“ den zu seiner Realisierung notwendigen Input erzeugt. Eidenmüller betont die Marktkopplung und beschreibt das Produktionsprinzip damit wie folgt: „Ein Pull-System beginnt mit der Produktion als Reaktion auf den Kundenauftrag“ [Eidenmüller 1995]. Der US-amerikanische Verband der PPS-Anwender APICS differenziert zwischen Produktion, Materialwirtschaft und Distribution. Auf die Produktion bezogen betont die APICS zur Unterscheidung zwischen Pull und Push ebenfalls den Kundenbezug: Pull als bedarfs- oder verbrauchsgesteuerte Auftragsauslösung. „The production of items only as demanded for use or to replace those taken for use“ [Blackstone 2008].

In Bezug auf die interne Input-Output-Sicht beschreiben Hopp und Spearman: „A pull system authorizes the release of work based on system status. Pull systems control WIP and observe throughput“ [Hopp 2000]. Der Fertigungsbestand wird beim Ziehprinzip somit berücksichtigt und hier durch den Begriff WIP-Cap<sup>2</sup> charakterisiert. Dies und nicht der „Ziehprozess“ an sich sei der eigentliche Vorteil der Pull-Logik [Hopp 2000].

---

<sup>1</sup> Pull-Prinzip, kurz Pull wird synonym zu Ziehprinzip verwendet.

<sup>2</sup> WIP-Cap, englisch, für Umlaufbestandsdeckelung/ -beschränkung.

Das Ziel der Pull-Steuerung ist es, die Verfügbarkeit einer bestimmten Menge innerhalb einer vereinbarten Zeitspanne sicherzustellen. Die kennzeichnenden Merkmale sind:

- Auftragsauslösung durch einen Kundenbedarf gegen Materialflussrichtung
- Aufträge ohne Endtermine und Auftragsnummern
- Output-Input-Kopplung, also feste Synchronisation des Inputs durch den Output

Die Output-Input-Kopplung gilt als konstituierend für das Ziehprinzip und führt zur bereits erwähnten Bestandsdeckelung [Wiendahl 1999]. Für die Umsetzung einer Pull-Steuerung ist es erforderlich, dass jede Produktionsstelle hinreichend flexibel ist, um schnell auf die wechselnden Abrufe der Erzeugnisse aus dem Lager reagieren zu können, und dass es gelingt, an den Produktionsstellen gleichmäßige Durchlaufzeit der Produktionsaufträge zu realisieren. Dies wird durch kleine Lose mit möglichst gleichmäßigen Arbeitsinhalten realisiert. Dazu sind wiederum kurze Rüstzeiten und ein kontinuierlicher Fluss notwendig [Günther 2007].

### 4.3.1.2 Schiebepprinzip (Push<sup>1</sup>)

Beim Schiebepprinzip gilt der Input als aktionsauslösende Größe. Die Voraussetzung ist eine übergeordnete Steuerung, die für alle Stufen den Input berechnet. In Bezug auf die Marktkopplung bedeutet dies, dass ein Push-System die Produktion für die erwartete Nachfrage vorwegnimmt (Planbedarf) [Eidenmüller 1995]. Seitens der APICS entspricht dies einer plangesteuerten Auftragsauflösung: „the production of items at times required by a given schedule planned in advance“ [Blackstone 2008].

Demgegenüber betonen Hopp und Spearman die Input-Output-Kopplung des Fertigungssystems: „A push system schedules the releases of work based on demand. Push systems control throughput and observe WIP“ [Hopp 2000]. Demnach lösen Push-Systeme den Auftrag rein planorientiert aus, ohne den aktuellen Fertigungsbestand zu beachten.

Das Ziel der Push-Steuerung ist es, den Auftrag so zu steuern, dass dieser zum vereinbarten Termin fertiggestellt wird. Die kennzeichnenden Merkmale sind:

---

<sup>1</sup> Push-Prinzip, kurz Push wird synonym zu Schiebepprinzip verwendet.

#### 4 Produktionssteuerung nach stabiler Auftragsfolge in der Automobilindustrie

- Auftragsauslösung durch eine übergeordnete Planungsebene in Materialflussrichtung
- Aufträge mit Endterminen und Auftragsnummern
- keine Input-Output-Kopplung

Die Bezeichnung Schiebeprinzip resultiert daraus, dass die Aufträge vor dem Nachfragertermin von einer übergeordneten Planungsebene in das Produktionssystem eingelastet und bis zur letzten Produktionsstufe durch die Bearbeitungsstationen „gedrückt/geschoben“ werden. Zur Terminierung der Produktionsaufträge werden Plan-Durchlaufzeit verwendet, meist von der aktuellen Belastung der Ressourcen unabhängige Schätzwerte der Übergangszeiten. Dass die Zwischenzeiten in der Praxis aus Sicherheitsgründen erheblich überschätzt werden, führt zu einer verfrühten Auftragsfreigabe und dies wiederum zu erhöhten Beständen [Günther 2007].

Zur Systematisierung der ausgewählten Fertigungssteuerungsverfahren wird im Folgenden der beschriebene Ansatz von Wiendahl angewandt (siehe Abbildung 4-11), so dass sich die Unterscheidung auf Schiebe- und Ziehprinzip mit den entsprechenden Definitionen beschränkt. Dies bildet auch den Gestaltungsspielraum für die Konfiguration der Produktionssteuerung.

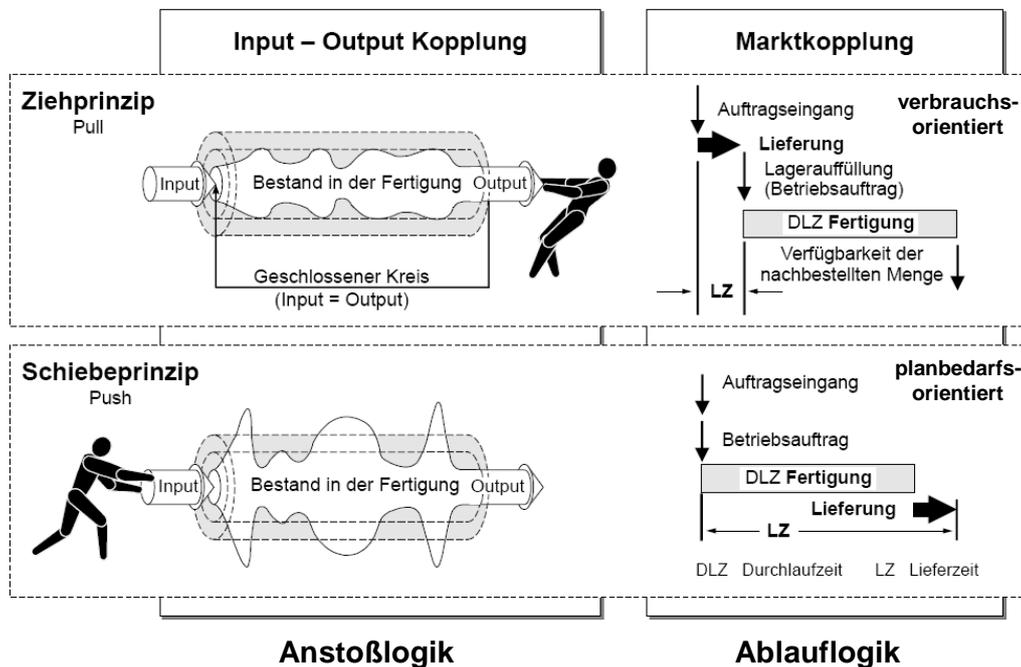


Abbildung 4-11: Systematisierung der Fertigungssteuerungsprinzipien (in Erweiterung zu [Wiendahl 1999])

### 4.3.2 Verfahren

Nachfolgend werden ausgewählte in der Automobilproduktion als variantenreiche Fließfertigung anwendbare Fertigungssteuerungsverfahren kurz vorgestellt. Dazu werden ihre Funktionsweise und ihr Anwendungsbereich beschrieben. Diese Verfahren werden nach der Aufgabe – Auftragserzeugung oder Auftragsfreigabe – kategorisiert. Anschließend werden diese ihrer Anstoß- und Ablauflogik entsprechend zugeordnet. Ein weiterer Aspekt bei der Auswahl der vorzustellenden Verfahren ist das Bestreben der Stabilisierung der Produktion hinsichtlich der Fertigungsreihenfolge.

#### 4.3.2.1 Verfahren der Auftragserzeugung

Zu den Vertretern der Auftragsgenerierung zählt Lödding das MRP, der Kanban, das Fortschrittszahlenkonzept, Basestock und das Bestellbestandsverfahren [Lödding 2005]. Das Bestellbestandsverfahren ist zur Anwendung in der BTO-Automobilproduktion nicht geeignet. Sein Einsatz bietet sich nach Lödding vor allem dort an, wo die Nachfrage nicht oder nur mit hohem Aufwand geplant werden kann. In der Praxis ist dies häufig der Fall, wenn eine große Variantenvielfalt für sehr viele Kunden auf Lager gefertigt wird [Lödding 2005].

### **Material Requirements Planning (MRP)**

Das Prinzip des MRP wurde erstmals 1975 von Orlicky publiziert. Die Grundidee des MRP ist, vom Bruttobedarf an Fertigprodukten (Produktionsprogramm oder „master production schedule“) ausgehend, auf Plan-Durchlaufzeit basierend und der Stückliste (Dispositionsstückliste) entsprechend eine Rückwärtsterminierung für alle Materialien vorzunehmen. Das Ergebnis liefert den periodengenauen Nettobedarf. Die Planung erfolgt „top-down“ sukzessiv nach hierarchischen Planungsstufen.

Die einseitig material- oder mengenbezogenen Betrachtungen des MRP-I-Konzepts wurden um die Kapazitätsplanung im MRP-II-Konzept erweitert [Luczak 1999]. Darin wird durch eine Gegenüberstellung von Kapazitätsnachfrage und -angebot an den einzelnen Arbeitssysteme ein Kapazitätsabgleich durchgeführt. Für auftretende Ungleichgewichte wird eine Kapazitätsabstimmung durchgeführt, die entweder durch eine Angebotsanpassung (z. B. Überstunden oder Sonderschichten), eine Nachfrageanpassung oder eine Verschiebung realisiert wird [Wiendahl 1997]. Das Ergebnis eines MRP-Laufs sind terminierte Produktionsaufträge.

Das MRP ist ein allgemein einsetzbares und weit verbreitetes (vgl. z. B. [Spath 2001] Planungsverfahren, das grundsätzlich für alle Produktionssysteme sowohl bei niedriger als auch bei hoher Varianten-Anzahl verwendet werden kann. Es ist ein typisches Push-System (Anstoßlogik), rechenintensiv und zentral hierarchisch organisiert. Hinsichtlich der Ablauflogik ist das MRP ein klassischer Vertreter der planbedarfsorientierten Steuerungsprinzipien. Die wichtigsten Kritikpunkte sind nach Meier und Jodlbauer [Jodlbauer 2007]:

- keine Überlappung in der Planung vorgesehen
- keine integrierte Kapazitätsbetrachtung
- Vergrößerung der Nachfrageschwankungen über die Dispositionsstufen
- Instabilität der Planungsergebnisse
- Annahme konstanter mittlerer, fixer Plan-Durchlaufzeit
- unsichere, nicht aktuelle Daten, da MRP-Läufe wegen der intensiven Rechenzeit nur jede Nacht oder jedes Wochenende durchgeführt werden

- Akzeptanzprobleme beim operativen Personal aufgrund kaum nachvollziehbarer Auftragsbearbeitungsreihenfolgen [Meier 2004]

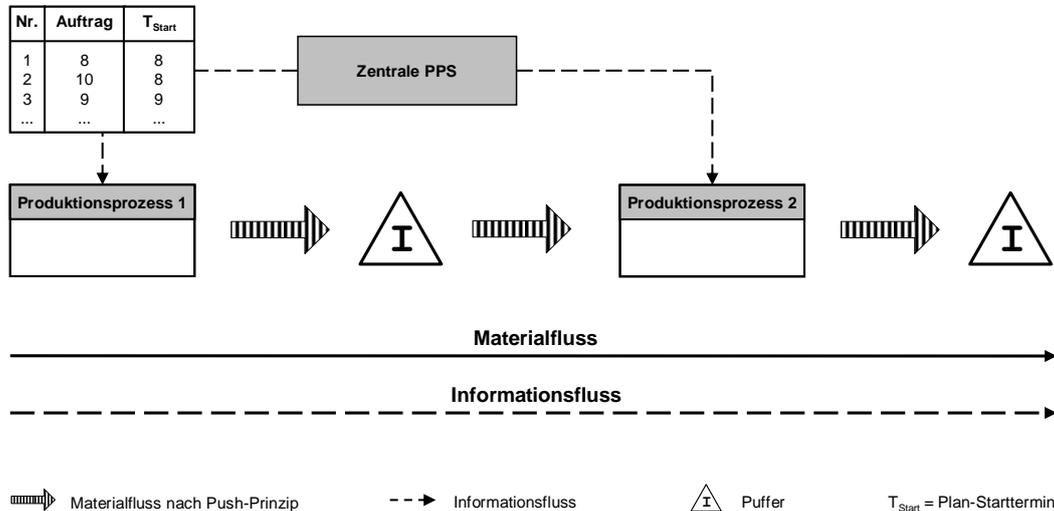


Abbildung 4-12: Funktionsweise der MRP-Steuerung mit Auftragsfreigabe nach Termin

In der MRP-Steuerung besteht hinsichtlich der Parametrisierung ein großer Gestaltungsspielraum. Die wichtigsten Stell- und Regelgrößen sind dabei die Auftrags-Losgröße, die Planübergangszeit (Durchlaufzeit), der Sicherheitsbestand und der Planungsrhythmus [Jodlbauer 2007].

### Kanban

Die Kanbansteuerung (japanisch, Karte) ist einer der wesentlichsten Bestandteile des Toyota-Produktionssystems [Ohno 1978]. Aufgrund der japanischen Erfolge findet seit den 1980er Jahren sowohl in den USA als auch in Europa eine Auseinandersetzung mit der Kanbansteuerung statt [Wildemann 1984]. Der Kanban ist mittlerweile das neben dem MRP meistverwendete Steuerungssystem in der Industrie [Jodlbauer 2007]. Die Funktionsweise wie in Abbildung 4-13 dargestellt ist den Prinzipien in einem Supermarkt ähnlich.

Bei der Entnahme aus einem Bestandspuffer fest definierter Größe – dem sogenannten Supermarkt – wird der Kanban vom Behälter/Teil getrennt. Der freigewordene Kanban signalisiert dem vorgelagerten Prozess einen Verbrauch und autorisiert ihn zur Nachproduktion. Dieser beginnt mit der Produktion einer – auf dem Kanban – definierten Menge und liefert diese in einem standardisierten Behälter an den Verbraucher [Wildemann 1984]. Jeder Supermarkt verfügt über

eine definierte maximale Bestandsgrenze, ist nach dem FIFO-Prinzip organisiert und liegt in der Verantwortung des Erzeugers.

Die Grundidee der Kanbansteuerung ist, dass der Erzeuger nur das produziert, was das nachgelagerte Arbeitssystem verbraucht hat. Dadurch wird eine Überproduktion vermieden. Ein Regelkreis besteht dabei aus dem Arbeitssystem und dem dazugehörigen nachgelagerten Supermarkt. Jeder Variante ist eine bestimmte Anzahl der Kanban (AK) zugeordnet, die sich vereinfacht nach der folgenden Formel berechnen lässt (vgl. z. B. [Lödding 2005], [Monden 1998] und [Wildemann 1984]).

$$AK = \frac{WBZ}{LG} * BR_m + \frac{B_s}{LG} \text{ oder auch } AK = \frac{WBZ * BR_m}{LG} * (1 + \alpha) \quad (\text{Gl. 4-11})$$

Dabei entspricht der erste Term aus Wiederbeschaffungszeit, Losgröße und mittlerer Bedarfsrate ( $BR_m$ ) der WIP. Ergänzt wird die Gl. um den Sicherheitsbestand ( $B_s$ ) bzw. den Sicherheitsfaktor ( $\alpha$ ), so dass nach dem Bestandsregelprinzip die Anzahl der Kanban der Summe aus Umlauf- und Sicherheitsbestand entspricht. Sind die Losgrößen definiert, beschränkt sich die Festlegung der Anzahl der Kanban auf die Bestimmung der Plan-Wiederbeschaffungszeit und des Sicherheitsbestands.

Die Wiederbeschaffungszeit gibt an, wie lange es dauert, den Kanban unter Berücksichtigung der Losgrößen nachzuproduzieren oder im Supermarkt bereitzustellen. Sie umfasst die Durchlaufzeit als Summe aus Bearbeitungs- und Übergangszeit, eine Informations- und eine Administrations-Durchlaufzeit. Die beiden Letzten sind gegenüber der Produktions-Durchlaufzeit häufig vernachlässigbar [Lödding 2005].

Die Höhe des erforderlichen Sicherheitsbestands ( $B_s$ ) hängt von den folgenden Faktoren ab [Lödding 2005]:

- Schwankungen der Bedarfsraten während der Wiederbeschaffungszeit als Differenz zwischen mittlerer Bedarfsrate ( $BR_m$ ) und maximaler Bedarfsrate ( $BR_{max}$ )
- maximale positive Terminabweichung
- maximal negative Mengenabweichung ( $MA_{max}$ )

Sind diese Faktoren bekannt, so berechnet sich der Sicherheitsbestand für einen Servicegrad von 100 % wie folgt [Nyhuis 2008]:

$$B_S = \sqrt{(TA_{\max} * BR_m)^2 + (MA_{\max})^2 + ((BR_{\max} - BR_m) * WBZ)^2} \quad (\text{Gl. 4-12})$$

Diese Gl. setzt die statistische Unabhängigkeit der Variablen voraus.

Bei der Kanbansteuerung handelt es sich um eine dezentrale verbrauchsorientierte Steuerung nach dem Pull-Prinzip, die ein hohes Maß an Verantwortung des operativen Personals bedingt. Die Kanbansteuerung kann als Spezialfall des Bestellbestandsverfahrens verstanden werden [Lödding 2005]. Eingesetzt werden kann diese in allen Produktionssystemen. Der Materialfluss verläuft dem Informationsfluss entgegen. Im Wesentlichen müssen die folgenden Bedingungen erfüllt sein, damit der Kanban wirkungsvoll funktioniert:

- stabile Fertigungsprozesse (keine oder kurze Maschinenausfallzeiten, keine oder kurze Rüstzeiten, kein oder wenig Ausschuss, keine oder wenig Nacharbeit)
- schwache Schwankungen der Verbrauchsmengen und des Produktmix
- wenige Produktvarianten oder geringe Anzahl von Materialien
- abgestimmte und flexible Kapazitäten

Daraus abgeleitet ergeben sich auch die wesentlichen Kritikpunkte nach [Zäpfel 1996]:

- Unregelmäßiger Bedarf führt zur Erhöhung der Bestände in den Pufferlagern.
- Kanbansysteme können von sich aus keine Reihenfolgenprobleme lösen.
- Der Kanban liefert keine Unterstützung der unternehmensweiten PPS.

Auf der anderen Seite unterstützt die Kanbansteuerung mit den JIT-Prinzipien die Reduzierung der Liefer- und Durchlaufzeit, die Erhöhung der Liefertreue und die Reduzierung des logistischen Aufwands [Wildemann 1984].

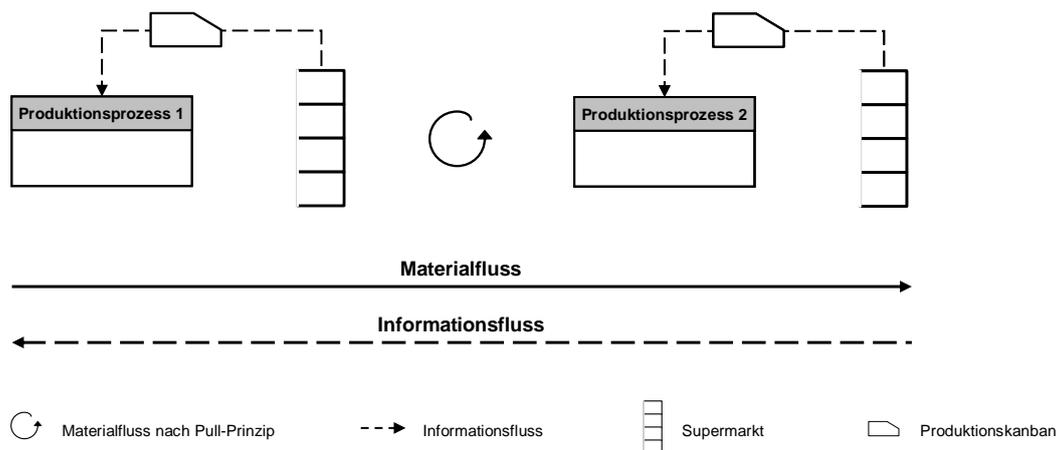


Abbildung 4-13: Funktionsweise der Kanbansteuerung

In Kanbansystemen gibt es zwei wesentliche Stell- und Regelungsgrößen: die Anzahl der Kanban und die Material-/Auftrags-Losgrößen. Durch beide Parameter wird der maximale Bestand pro Material definiert.

### Fortschrittszahlenkonzept (FZ)

Das Verfahren der Steuerung mit Fortschrittszahlen kombiniert das langfristige Ressourcenmanagement mit dem kurzfristigen Termin- und Materialmanagement. Die Fortschrittszahlensteuerung teilt eine Produktion in frei wählbare Kontrollblöcke auf. Ein Kontrollblock kann dabei einzelnen Produktionsprozessen aber auch einem Produktionsverbund mehrerer Einzelprozesse oder sogar einem ganzen Unternehmen entsprechen. Für jede Variante und jeden Kontrollblock definiert der kumulierte Abgang in Stück die Abgangs-Fortschrittszahl (FZ), der zugleich der Zugangs-Fortschrittszahl (FZZ) des nächsten Kontrollblocks entspricht. Die Differenz zwischen  $FZZ_i$  und der  $FZ_i$  eines Kontrollblocks ergibt den Bestand ( $B_i$ ) der Variante im betrachteten Kontrollblock.

$$B_i = FZ_i - FZZ_i \quad (\text{Gl. 4-13})$$

Es wird unterschieden zwischen Ist- und Plan-Fortschrittszahlen, die den geplanten Abgang-Verlauf einer Variante vorgeben. Somit gibt die Fortschrittszahlensteuerung für jedes Erzeugnis und jeden Kontrollblock den Plan-Abgang und Plan-Zugang vor, kumuliert über die Zeit als Fortschrittszahlenkurve [Lödding 2005]. Mithilfe sogenannter Steuerungsfortschrittszahlen lässt sich die Fortschrittszahlensteuerung algorithmisieren und trifft dann auch Anweisungen, wann ein Auftrag zu fertigen ist. Dabei eilt die Steuerungsfortschrittszahl der Ist-

Fortschrittszahl um die Durchlaufzeit voraus. Sofern die Steuerungsfortschrittszahl größer als die Ist-Fortschrittszahl ist, autorisiert dies die Fertigung der betrachteten Variante. Die Darstellung der Funktionsweise zeigt Abbildung 4-14.

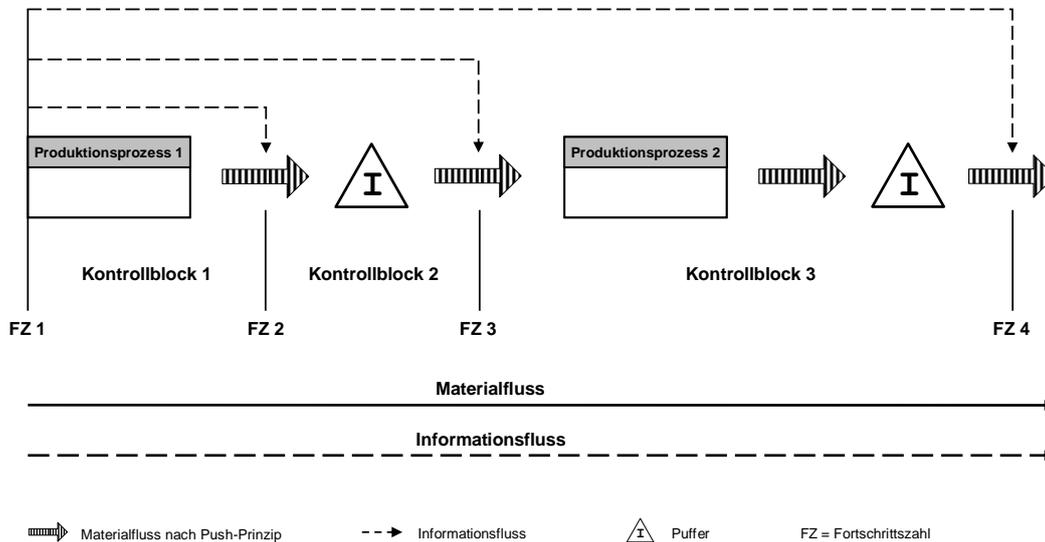


Abbildung 4-14: Funktionsweise der Fortschrittszahlensteuerung

Fortschrittszahlen erlauben nur für die explizit betrachtete Variante Aussagen über den Produktionsfortschritt, die Durchlaufzeit und die Bestände.

Bei der Fortschrittszahlensteuerung handelt es sich um eine zentrale planbedarfsorientierte Steuerung nach dem Push-Prinzip. Einsatz findet diese vorwiegend in der unternehmensübergreifenden Kommunikation, vor allem in der Automobilindustrie [Lödding 2005]. Im Wesentlichen müssen die folgenden Bedingungen erfüllt sein, damit eine Fortschrittszahlensteuerung wirkungsvoll funktioniert, wodurch sich auch die wesentlichen Kritikpunkte ergeben:

- hoher Wiederholgrad der Fertigung, also in der Regel Serien- oder Massenfertigung im Fließprinzip
- stabile Prozesse
- geringe Streuung der Durchlaufzeit
- gewisses Maß an überbetrieblicher Normung von Informationsflüssen
- enge Lieferbeziehungen ([Much 1995] und [Schulte 2005])

Ein wesentlicher Vorteil des Fortschrittszahlenkonzepts liegt darin, dass eine Informationsbasis geschaffen wird, die sowohl in Bezug auf die Menge einen eindeutigen Aussagewert besitzt als auch die jederzeitige Feststellung der Abweichung des Ist-Zustands von einer Soll-Vorgabe ermöglicht. Aufgrund der gleichen Datenbasis wird die Koordination der Leistungserstellung wesentlich erleichtert [Schulte 2005]. Als wesentliche Verfahrensparameter gelten die Plan-Durchlaufzeit und der Plan-Bestand.

### **Basestock**

Die Verfahrensregeln der BS-Steuerung gehen auf [Kimball 1988] zurück. Die Grundidee des Verfahrens ist, dass die Nachfrage des Endkunden unmittelbar an alle Arbeitssysteme der Fertigung weitergeleitet wird und dort die Nachfertigung der entsprechenden Variante autorisiert. Für jedes Arbeitssystem und jede Variante wird ein Grundbestand (BS) definiert. Es können auch mehrere Arbeitssysteme unter einem Kontrollblock (siehe Fortschrittszahlenkonzept) zusammengefasst werden. Die Base Stocks der Kontrollblöcke können aus den Plan-Beständen abgeleitet werden. Dabei wird dem Materialfluss entgegen vorgegangen. So werden zunächst der BS des letzten Kontrollblocks festgelegt und dann entsprechend die der vorgelagerten Kontrollblöcke. Somit stellen die Plan-Bestände der Fertigung und die daraus ableitbaren Base Stocks der Kontrollblöcke die wesentlichen Verfahrensparameter dar. Der Plan-Bestand kann dabei aus Little's Law abgeleitet werden [Hopp 2000]. Der  $BS_i$  entspricht bei kurzen Wiederbeschaffungszeit und kleinen Losen der Summe aus dem  $BS_{i+1}$  und dem Plan-Bestand des nachgelagerten Kontrollblocks ( $B_{Plan, i+1}$ ).

$$BS_i = BS_{i+1} - B_{Plan, i+1} \quad (\text{Gl. 4-14})$$

In der Praxis sind jedoch meist eine Wiederbeschaffungszeit und ggf. auch der Einfluss von Losgrößen-Unterschieden zwischen Zugang und Abgang eines Kontrollblocks zu beachten [Lödding 2005].

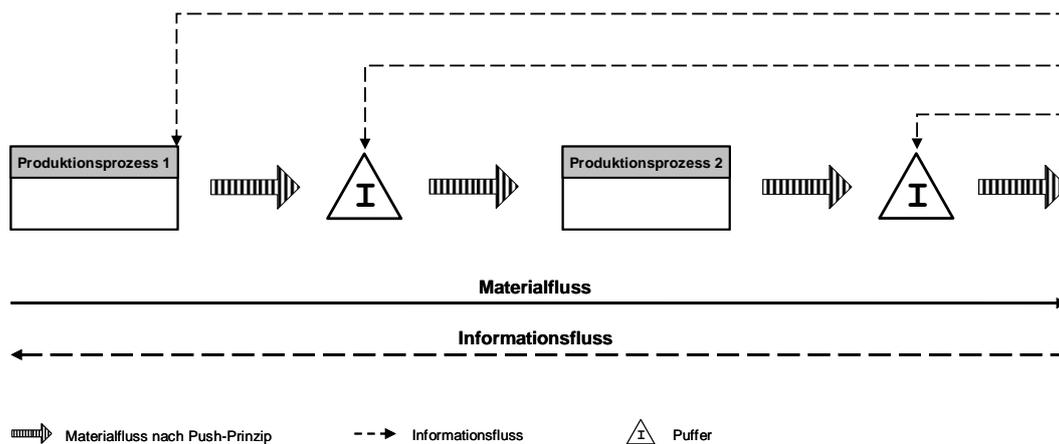


Abbildung 4-15: Funktionsweise der BS-Steuerung

Charakteristisch sind variantenspezifische Bestandspuffer und das Fehlen einer Bestandsregelung. Als Voraussetzung für eine BS-Steuerung ist eine unmittelbare Informationsübermittlung an alle Prozessbeteiligten zu erfüllen, woraus sich auch der Hauptvorteil einer „schnelle[n] und unverzerrte[n] Übertragung von Nachfrageinformationen“ [Lödding 2005] gegenüber anderen Steuerungsverfahren ableiten lässt.

Die BS-Steuerung erfolgt auf der Basis von zentralistischer Ordnung. Als Sonderfall des Fortschrittszahlenkonzepts ist diese auch als planbedarfsorientiertes Push-System zu klassifizieren. Zur Festlegung der Base Stocks, der wesentlichen Parameter dieses Verfahrens, sind die Plan-Bestände, Durchlaufzeit und Losgrößen zu ermitteln.

### 4.3.2.2 Verfahren der Auftragsfreigabe

Wie im übergeordneten Abschnitt erläutert ist die Kategorisierung der bekannten Fertigungssteuerungsverfahren in der Literatur sehr unterschiedlich und in der Praxis kaum vorhanden. Nach Lödding gehören Constant Work in Process (CONWIP), Optimized Production Technology (OPT), Belastungsorientierte Auftragsfreigabe (BOA), Paired-Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization (Polca) und die Dezentrale Bestandsführung (DBF) zu den Verfahren der bestandsregelnden Auftragsfreigabe [Lödding 2005]. Hinzu kommt noch die am weitesten verbreitete Form der Auftragsfreigabe nach Termin. Die sofortige Auftragsfreigabe als dritte Ausprägung der Verfahrensklasse findet in dieser Arbeit keine Berücksichtigung, wird an dieser Stelle nur der Vollständigkeit halber erwähnt.

Hinsichtlich der Anwendbarkeit in der Automobilproduktion in Verbindung mit der Aufgabenstellung in Bezug auf die Stabilisierung sieht Lödning aufgrund der spezifischen Charakteristika der Automobilproduktion lediglich bei der BOA Defizite. Wie alle Verfahren mit Arbeitssystem-spezifischem Belastungsabgleich erzeugt die BOA Reihenfolgenvertauschungen der Auftragsfreigabe. Das Verfahren verursacht damit eine hohe Streuung der Zugangsterminabweichung. Daher wird dieses Verfahren bereits an dieser Stelle als nicht zielführend zur Stabilisierung der Auftragsreihenfolge in der Automobil-Fließfertigung angesehen.

#### **Auftragsfreigabe nach Termin**

Bei der Auftragsfreigabe nach Termin bestimmt der Plan-Zugang den Ist-Zugang. Sie gibt einen Auftrag frei, wenn der Plan-Starttermin erreicht ist. Die Auftragsfreigabe nach Termin ist der Standard in den meisten PPS-Systemen und beim MRP-II-Verfahren, was ihre weite Verbreitung erklärt. Ihre Funktionsweise ist in Abschnitt 4.3.2.1 bei den MRP-Verfahren abgebildet (Abbildung 4-12). Sie zielt auf eine exakte Umsetzung des Produktionsplans. Die Auftragsfreigabe nach Termin setzt voraus, dass eine übergeordnete Produktionsplanung eine Liste von Aufträgen erzeugt und deren Plan-Starttermine ermittelt hat. Sie eignet sich damit insbesondere, wenn sowohl der Zugang als auch der Abgang einer Fertigung genau geplant werden und genau umgesetzt werden können.

Kann die Planung hingegen wegen Störungen beim Zugang (z. B. fehlenden Materials) oder beim Abgang (z. B. Maschinenstörungen) nicht wie geplant umgesetzt werden, so ist die Auftragsfreigabe nach Termin weniger geeignet. Der wesentliche Grund dafür ist, dass die Auftragsfreigabe nach Termin nicht dazu in der Lage ist, den Bestand zu regeln. Sobald der Ist-Abgang vom Plan-Abgang abweicht oder Störungen im Auftragszugang auftreten, weichen auch der Bestand und die Durchlaufzeit sowie in geringerem Umfang auch die Auslastung von den Planwerten ab [Hopp 2003].

Gerät die Fertigung in Rückstand, so erhöht sich ihr Bestand, und die Durchlaufzeiten der Aufträge nehmen zu. Der höhere Bestand ermöglicht vermehrte Reihenfolgenvertauschungen in der Fertigung. Somit nimmt die Planbarkeit der Durchlaufzeit ab. Ein negativer Rückstand (d. h., der Ist-Abgang übertrifft den Plan-Abgang) kann bei einer Auftragsfreigabe nach Termin kaum entstehen. Dies hätte den Vorteil, dass Unternehmen Phasen unvorhergesehen guter Produktivität nutzen könnten [Hopp 2003]. Dazu müsste mindestens ein Teil

der Aufträge vorzeitig freigegeben werden. Dies jedoch würde eine Auftragsfreigabe nach Termin ad absurdum führen.

Der einzige Verfahrensparameter der Fertigungssteuerung mit einer Auftragsfreigabe nach Termin sind die Plan-Starttermine in der Auftragsliste, die bei der Termin- und Kapazitätsplanung bestimmt werden.

Die Voraussetzungen für eine Auftragsfreigabe nach Termin stellen zugleich die Hauptkritikpunkte dar [Lödding 2005]:

- Notwendigkeit einer sorgfältigen Produktionsplanung mit aufeinander abgestimmten realistischen Plan-Startterminen
- zuverlässige Zulieferprozesse
- zuverlässige, stabile Produktionsprozesse ohne große Störungen
- keine Berücksichtigung von Rückständen
- fehlende Bestandsregulierungsmöglichkeit führt zu hohen Durchlaufzeiten und der Reduzierung der Liefertreue

### **Constant Work in Process (CONWIP)**

Die CONWIP-Steuerung als Weiterentwicklung des Kanban wurde von Spearman und Hopp geprägt [Hopp 2000]. Die Grundidee des Verfahrens ist, das Bestandsniveau einer Produktion oder Produktionslinie konstant zu halten. Dies wird erreicht, indem die CONWIP-Steuerung einen Auftrag erst freigibt, sobald der Bestand der Produktionslinie die Bestandsgrenze (WIP-Grenzwert) unterschreitet (siehe Abbildung 4-16).

Somit kann mit der Bearbeitung eines neuen Auftrags erst begonnen werden, wenn ein Auftrag die Produktionslinie verlassen hat. Dazu wird aus einer Liste freizugebender Aufträge („backlog list“) der Auftrag mit der höchsten Priorität ausgewählt. Für die Einlastung können unterschiedliche Prioritätsregeln Anwendung finden (siehe Abschnitt 4.2.1.3). Diese Liste enthält alle noch nicht freigegebenen Aufträge, deren Plan-Starttermin innerhalb eines definierten Vorgriffshorizonts liegt. Damit hängt die Termintreue zum Kunden wesentlich vom Geschick bei der Erstellung und Verwaltung der Liste ab.

## 4 Produktionssteuerung nach stabiler Auftragsfolge in der Automobilindustrie

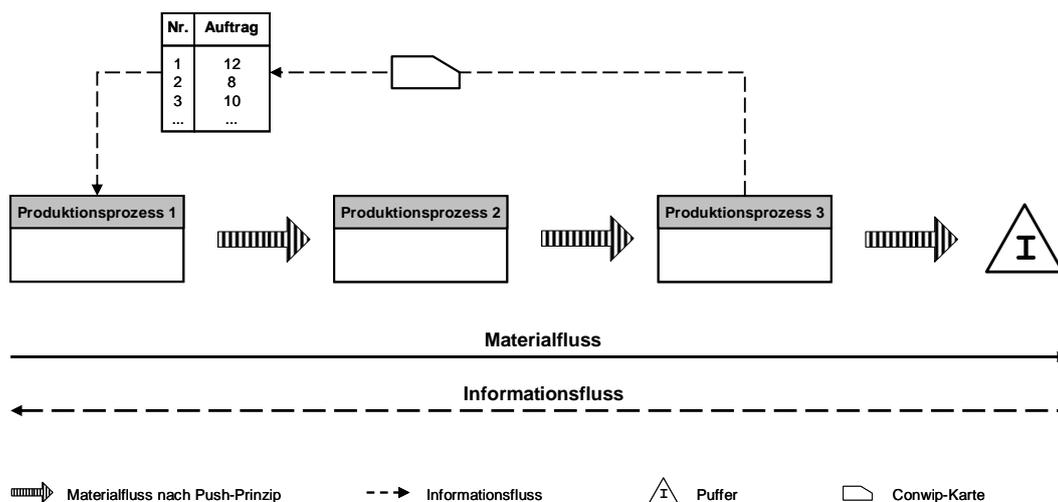


Abbildung 4-16: Funktionsweise der CONWIP-Steuerung

In der praktischen Anwendung kann die Bestandsregelung durch CONWIP-Karten realisiert werden. Dabei werden keine variantenspezifischen Karten verwendet. Innerhalb des Fertigungsbereichs werden die Aufträge mithilfe von Abarbeitungsregeln (Prioritätsregeln) gesteuert. Vorausgesetzt, die Liste enthält bei einer frei werdenden CONWIP-Karte immer mindestens einen Auftrag und die Auftragsfreigabe erfolgt sofort – ohne Informations-DLZ –, entspricht die Anzahl der Conwip-Karten dem Bestand in der betrachteten Produktionslinie. Es wird darauf hingewiesen, dass die CONWIP-Steuerung nicht notwendigerweise die gleiche Variante freigibt, die den Regelkreis verlassen hat.

Problematisch ist die Umsetzung bei unterschiedlichen Losgrößen oder Arbeitsinhalten der einzelnen Varianten, da in diesen Fällen der fertiggestellte und der freizugebende Arbeitsinhalt nicht identisch sind. Mit einem Kapazitätstrigger wird angegeben, wie viel Arbeitsinhalt innerhalb einer Periode von der Dauer des Vorgriffshorizonts maximal abgearbeitet werden kann. Dieser Inhalt entspricht somit der maximal verfügbaren Kapazität als der organisatorisch-rechtlich verfügbaren Zeit abzüglich Wartungs-, Stör- und Rüstzeiten [Jodlbauer 2007].

Bei einer CONWIP-Steuerung gibt es nach Jodlbauer die folgenden Entscheidungsparameter:

- WIP-Grenzwert
- Vorgriffshorizont
- Kapazitätstrigger

- Einlastregel
- Abarbeitungsregel

Ein Verfahren zur Festlegung der Anzahl der Conwip-Karten wird schlagen Hopp und Spearman vor [Hopp 2000]. Es orientiert sich an der bei der Kanbansteuerung bewährten Philosophie, den Bestand schrittweise zu reduzieren, um so Prozessstörungen aufzudecken und zu beheben. Dazu wird ein als ausreichend bekannter oder angenommener Anfangsbestand festgelegt und die entsprechende Anzahl der Conwip-Karten bereitgestellt. Mit der Zeit wird die Anzahl der Conwip-Karten reduziert und das Systemverhalten hinsichtlich Auslastungsverlusten beobachtet. Treten keine Verluste auf, so wird die Anzahl der Conwip-Karten weiter reduziert.

Ein zweites Vorgehen besteht darin, die Anzahl der Conwip-Karten aus der Plan-Durchlaufzeiten (mittleren Durchlaufzeiten) und der Plan-Leistung/Ausbringungsmenge pro Zeiteinheit zu ermitteln. Nach (Gl. 3-19) kann die Anzahl der Conwip-Karten (ACOK) in der Regel nach Little's Law wie folgt ermittelt werden:

$$ACOK = \overline{DLZ} * \overline{AM} \quad (\text{Gl. 4-15})$$

Lödning schlägt darüber hinaus ein modellbasiertes Vorgehen zur Ermittlung der Anzahl der Conwip-Karten vor. Die Grundidee ist die Berechnung mit der logistischen Positionierung auf der Grundlage von Produktionskennlinien [Lödding 2005].

Charakteristisch für die CONWIP-Steuerung sind die Bestandsregelung und die damit verbundene gute Vorhersagbarkeit der Durchlaufzeiten. Sie ist nicht zuletzt aufgrund weniger entscheidender Verfahrensparameter – des Vorgriffshorizonts und der Anzahl der Conwip-Karten – einfach umzusetzen.

Theoretisch verfügt die CONWIP-Steuerung über ein großes Anwendungsgebiet [Lödding 2005]. Die CONWIP eignet sich vor allem für die Umsetzung einer Kundenauftragsfertigung [Jodlbauer 2007]. Hopp und Spearman nennen erfolgreiche Anwendungen in der Praxis. Als weitere wesentliche Vorteile der CONWIP gelten die geringe Anzahl von Verfahrensparametern, die Anwendbarkeit auch bei vielen Varianten und die Erhöhung der Liefertreue bei gleichzeitig

niedrigen Beständen. Zu beachten ist, dass die CONWIP sehr empfindlich auf Ausschuss und Nacharbeit reagiert.

Hinsichtlich der Klassifizierung ist bei der CONWIP von einem zentralen Steuerungsprinzip zu sprechen, in Bezug auf die Anstoßlogik von einem Pull-System, da die Auftragsauslösung durch einen Kundenauftrag erfolgt, Aufträge keine (wenn auch prognostizierbare) Endtermine besitzen und eine Output-Input-Kopplung vorliegt. In Bezug auf die Reihenfolge von Auftragseingang, Lieferung und Fertigung (Ablauflogik) spricht man bei der CONWIP von einer Verbrauchsorientierung.

Aufgrund der Ähnlichkeit mit dem Kanban werden abschließend die Unterschiede aufgezeigt. Die wesentlichen Unterschiede zum Kanban sind nach [Jodlbauer 2007]:

- Der Steuerungskreis bezieht sich auf einen gesamten Fertigungsbereich und nicht wie bei Kanban auf ein Arbeitssystem.
- Der Bestand wird pro Fertigungsbereich und nicht wie bei Kanban pro Material gesteuert.
- Priorisierte Kunden- oder Plan-Aufträge werden in die Planung einbezogen.

#### **Engpasssteuerung/Optimized Production Technology (OPT)**

Die Grundidee der Engpasssteuerung ist, dass eine Kette nur so stark ist wie ihr schwächstes Glied. Die Kette kann nur verbessert werden, indem man das schwächste Glied verbessert. Auslastungsverluste im Engpass-Arbeitssystem führen zu Leistungsverlusten der gesamten Produktionslinie. Daher beruht die Engpasssteuerung auf dem Prinzip, dass ein neuer Auftrag für die Produktion erst freigegeben wird, wenn das Engpass-Arbeitssystem einen Auftrag fertiggestellt hat. Dafür teilt die Engpasssteuerung die Produktionslinie in einen bestandsgeregelten Bereich – bis einschließlich des Engpass-Arbeitssystem – und einen nicht bestandsgeregelten Bereich nach dem Engpass-Arbeitssystem auf (siehe Abbildung 4-17).

Die Verfahrensregeln sind mit denen der CONWIP-Steuerung vergleichbar. Der Unterschied dazu besteht darin, dass die Engpasssteuerung den Bestand nur bis zum Engpass-Arbeitssystem regelt. Sobald der Bestand in der Produktionslinie bis einschließlich des Engpass-Arbeitssystems einen definierten Planwert

unterschreitet, erfolgt die Freigabe des nächsten Auftrags. Dabei wird wie bei der CONWIP-Steuerung der dringendste Auftrag aus einer Liste ausgewählt. Die praktische Umsetzung der Engpasssteuerung erfolgt mit Engpass-Karten (AEPK).

$$AEPK = \sum_{i=1}^{EP} \overline{WIP}_{Plan,i} \quad (\text{Gl. 4-16})$$

EP stellt die Position des Engpass-Arbeitssystem dar. Sinnvoll eingesetzt werden kann dieses Verfahren, wenn ein eindeutig bestimmbares Engpass-Arbeitssystem vorliegt. Ein bedeutender Unterschied zur CONWIP-Steuerung ergibt sich zudem in der Terminierung der Aufträge. Bei der Engpasssteuerung setzt sich die Auftragsdurchlaufzeit aus zwei Bestandteilen zusammen: aus der Durchlaufzeit im bestandsgeregelten und aus der Durchlaufzeit im nicht bestandsgeregelten Teil der Fertigungslinie. Die Ermittlung der Plan-Durchlaufzeit muss somit unterschiedlich erfolgen.

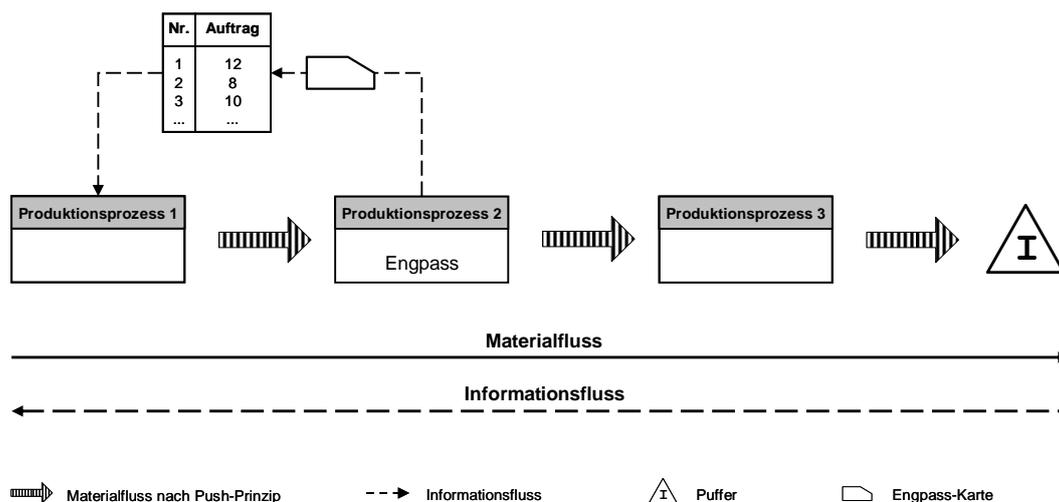


Abbildung 4-17: Funktionsweise der Engpasssteuerung

In der Literatur wird dieses Grundprinzip in verschiedenen Ausprägungen beschrieben. Goldratt bezeichnet dies als Theory of Constraints (TOC), wobei „Constraints“ als limitierende Größen in Form von Engpässen gesehen werden. Aus diesem Ansatz entwickelte Goldratt die engpassorientierte PPS Drum-Buffer-Rope (DBR), auch als Optimized Production Technology (OPT) bezeichnet [Goldratt 2008].

Der Engpass gibt den Produktionstakt vor (englisch „drum“, Trommel). Ein Sicherheitsbestand (englisch „buffer“, Puffer) vor dem Engpass sorgt für die nötige

Auslastungssicherheit. Zusätzlich muss es eine Informationsverbindung zwischen dem Engpass und den Arbeitssystemen geben, die ihn mit Aufträgen versorgen. Diese Verbindung wird als „rope“ (englisch, Seil) bezeichnet und ermöglicht es, die Produktion der vorgelagerten Arbeitssysteme bei überhöhtem Bestand im Pufferlager zu drosseln oder bei Unterschreiten eines Mindestbestands zu steigern [Goldratt 2008].

Die Engpasssteuerung im Allgemeinen kann als zentrale Push-Steuerung bezeichnet werden, da bei Fertigstellung eines Auftrags am Engpasssystem unter Umständen ohne Kundenauftrag der nachgelagerten Arbeitssysteme ein Auftrag freigegeben wird. Das Verfahren konnte sich weder in Europa noch in den USA als Fertigungssteuerungsverfahren durchsetzen, da es nicht zugängliche Algorithmen enthält und die Ergebnisse nicht nachvollziehbar sind [Reinsch 2002]. Ferner fehlen Aussagen über den Erfolg.

#### **Paired-Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization (Polca)**

Die von Suri entwickelte Polca-Steuerung regelt den Bestand für jedes Paar von Arbeitssystemen mithilfe paarspezifischer Polca-Karten [Lödding 2005]. Dabei bezeichnet die Abkürzung „Polca“ die dezentralen Bestandsregelkreise zwischen den Arbeitssystemen. Ein Paar wird von zwei Arbeitssystemen gebildet, die über den Materialfluss direkt miteinander verbunden sind. Jedem Paar werden Polca-Karten zugeordnet, welche die Bearbeitung von Aufträgen autorisieren. Damit ein vorgelagertes Arbeitssystem (A) einen Auftrag bearbeiten darf, der im nächsten Arbeitsvorgang vom nachgelagerten Arbeitssystem (B) bearbeitet wird, müssen zwei Kriterien erfüllt sein: Zum einen muss eine entsprechende A-B-Polca-Karte verfügbar und zum anderen der Freigabezeitpunkt des Auftrags für A erreicht sein.

Der Plan-Starttermin oder Freigabezeitpunkt wird von einem übergeordneten PPS-System für jedes Arbeitssystem mithilfe einer Rückwärtsterminierung und der Plan-Durchlaufzeit berechnet [Lödding 2005]. Nach dem Bearbeitungsende am Ziel-Arbeitssystem wird die Polca-Karte wieder frei und kann vorausgesetzt, der Freigabezeitpunkt ist erreicht oder überschritten, einen neuen Auftrag am Ursprungs-Arbeitssystem freigeben. Die Auftragsfreigabe des letzten Arbeitssystems richtet sich ausschließlich nach dem Plan-Starttermin.

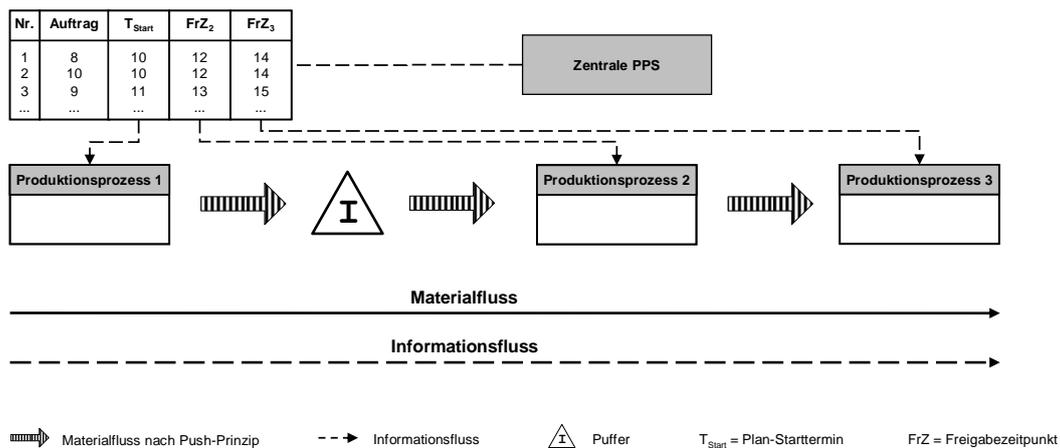


Abbildung 4-18: Funktionsweise der Polca-Steuerung

Charakteristisch für die Polca-Steuerung sind die Berechnung der Freigabezeitpunkte für alle Arbeitssysteme und die dezentrale Bestandsregelung zwischen den Arbeitssystemen. Als Verfahrensparameter sind die Anzahl der Polca-Karten und die Freigabezeitpunkte inklusive der Möglichkeit, einen Vorgriffshorizont zu definieren, zu nennen. Zusammengefasst ist die Polca-Steuerung das einzige Auftragsfreigabeverfahren, das einen Auftrag nach der ersten Freigabe durch ein Terminkriterium noch blockieren kann [Lödding 2005]. Die Polca-Steuerung wurde von Suri für die Anwendung in einer variantenreichen Klein- und Mittelserienfertigung entwickelt und hat im praktischen Einsatz bis heute keine weite Verbreitung gefunden.

Die Polca-Steuerung ist ein dezentrales planbedarfsorientiertes, dem Push-Prinzip folgendes Verfahren, da die Auftragsauslösung durch eine übergeordnete Planungsebene in Materialflussrichtung ohne Input-Output-Kopplung erfolgt.

### Dezentrale bestandsorientierte Fertigungsregelung (DBF)

Lödding leitet aus dem Trichtermodell, das die Abhängigkeiten der logistischen Zielgrößen modelliert, und den von Nyhuis und Wiendahl formulierten produktionslogistischen Grundgesetzen elf Leitsätze zur Gestaltung von Fertigungssteuerungsverfahren ab. Diese Leitsätze bildeten die Grundlage für die Gestaltung oder Entwicklung der Verfahrensregeln der DBF [Lödding 2005]. Die DBF basiert auf dezentralen Bestandsregelkreisen zwischen den Arbeitssystemen der Produktion. Dabei generiert ein zentrales PPS-System eine Liste dringlicher Aufträge. Die Auftragsfreigabe erfolgt für jeden Arbeitsvorgang gesondert. Hierfür ist der Bestand des jeweils folgenden Arbeitssystems entscheidend.

## 4 Produktionssteuerung nach stabiler Auftragsfolge in der Automobilindustrie

Die zwei wesentlichen Verfahrensparameter der DBF sind die Bestandsgrenzen und die Positionsnummern der Arbeitssysteme. Jedem Arbeitssystem ist ein Bestandskonto zugeordnet. Die Bestandsgrenzen setzen sich aus dem Indirektbestand, der im Vorgänger-Arbeitssystem bearbeitet wird, und dem Direktbestand im Arbeitssystem zusammen. Dabei wird den Bestandskonten der jeweiligen Arbeitssysteme immer die arbeitsvorgangsspezifische Auftragszeit zu gebucht. Ein Auftrag gilt als dringlich, wenn dieser den bei der Rückwärtsterminierung errechneten Plan-Starttermin erreicht oder überschritten hat. Dringliche und verfügbare Aufträge fließen in einen Pool. Sobald die Arbeitssysteme die erforderliche Freigabe vom folgenden Arbeitssystem erhalten haben, können diese mit ihrer Bearbeitung beginnen (siehe Abbildung 4-19).

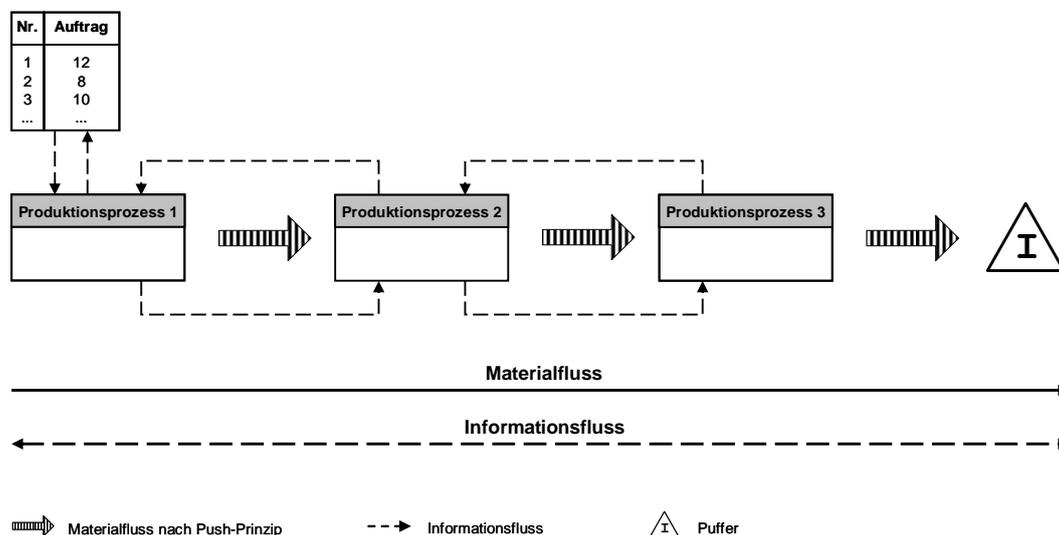


Abbildung 4-19: Funktionsweise der DBF-Steuerung

Die Freigabe des folgenden Arbeitssystems wird erteilt, sofern der Gesamtbestand in diesem Arbeitssystem unterhalb der Bestandsgrenze liegt. Muss die Freigabe abgelehnt werden, so erfolgt die Anfrage weiterer Aufträge, die ein anderes Nachfolge-Arbeitssystem durchlaufen. Nach Abschluss der Bearbeitung wird der Auftrag aus dem Gesamtbestand des Arbeitssystems gestrichen. Vorausgesetzt, das Arbeitssystem unterschreitet seine Bestandsgrenze jetzt, wird die Auftragsfreigabe zuvor verweigerter Aufträge erteilt.

In einer Ausnahme können Arbeitssysteme einem Auftrag die Bearbeitungsfreigabe auch bei überschrittener Bestandsgrenze erteilen. Die Voraussetzung dafür ist, dass das nachfragende Arbeitssystem eine höhere Positionsnummer hat. Diese

kennzeichnet die relative Position des Arbeitssystems im Materialfluss, und je höher diese ist, desto weiter hinten im Materialfluss befindet sich das Arbeitssystem. Dadurch vermeidet die Vergabe von Positionsnummern eine wechselseitige Blockade der Arbeitssysteme bei komplexen Materialflüssen.

Somit basiert die Freigabe der Aufträge auf dezentralen Bestandsregelkreisen, mit denen versucht wird, externe Turbulenzen von der Fertigung fernzuhalten und einen gleichmäßigen Auftragsfluss zu realisieren. Der Anwendungsbereich des von Lödding entwickelten Verfahrens konzentriert sich auf eine variantenreiche Fertigung mit komplexen Materialflüssen. Es fehlt jedoch ein praktischer Anwendungsfall.

Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein dezentrales planbedarfsorientiertes Steuerungskonzept, das durch die fehlende Input-Output-Kopplung bedingt dem Push-Prinzip folgt.

### **4.3.3 Systematisierung und Zuordnung der Verfahren**

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt die Einzelverfahren erläutert worden sind, gilt es im nächsten Abschnitt, diese den in Kapitel 4.3.1 beschriebenen Prinzipien zuzuordnen. In der Literatur existiert dazu bisher nur eine einfache eindimensionale Einordnung. Lödding unterscheidet die Verfahren nach ihrer Verfahrenscharakteristik – zentral oder dezentral – [Lödding 2005]. Wiendahl ordnet die Verfahren den Fertigungssteuerungsprinzipien Push oder Pull zu [Wiendahl 2002].

Im Folgenden findet eine Klassifikation der einzelnen Verfahren in einer zweidimensionalen Matrix statt, die sowohl den Zentralisierungsgrad als auch das Push-/Pull-Prinzip berücksichtigt.

Hinsichtlich der Systematisierung in Bezug auf den Zentralisierungsgrad herrscht in der Literatur Einigkeit. Als zentral organisierte Verfahren werden allen voran das MRP, die FZ, der Engpass, der BS und die CONWIP angesehen. Eine dezentrale Steuerung erfolgt beim Kanban, der DBF und den Polca (vgl. [Lödding 2005], [Schulte 2005] und [Wiendahl 2005]). Bei der Zuordnung der Fertigungssteuerungsverfahren ergibt sich ein differenziertes Bild. Hopp und Spearman sind der Ansicht, dass es in der Praxis kein reines Push- oder Pull-System geben kann, da selbst bei einer WIP-Cap Umstände für eine Bestandserhöhung auftreten können.

Um eine theoretische Zuordnung zu treffen, wird Folgendes vorgeschlagen: Lediglich der Kanban (als klassischer Kanban bezeichnet), die CONWIP und die Polca werden aufgrund ihrer bestandsbeschränkenden Eigenschaft von den in dieser Untersuchung Aufgeführten als Pull-Systeme definiert [Hopp 2003]. Seibold ordnet die Polca dem Schiebeprinzip zu, klassifiziert neben dem Kanban und der CONWIP hingegen auch die DBF, den BS und die FZ als Vertreter von Pull-Systemen [Seibold 2006]. Wiendahl und Nyhuis ordnen lediglich den Kanban dem Pull-Prinzip zu [Wiendahl 1996]. Demgegenüber ordnet das Forschungsinstitut für Rationalisierung e. V. auch das Fortschrittszahlensystem dem Zugprinzip unter, allerdings wie häufig in der Literatur ohne genaue Definition [Schotten 1998].

Aufgrund der unterschiedlichen Sichtweisen in der Literatur, ein Verfahren dem Schiebe- oder dem Ziehprinzip zuzuordnen, erfolgt dies als Basis für die weitere Vorgehensweise anhand eines eigenen Vorschlags. Die Grundlage hierfür stellen die Definitionen zur Abgrenzung Push/Pull aus den Abschnitten 4.3.1 und 4.3.2 dar. Unter Verwendung dieser strengen Definition werden lediglich Kanban und CONWIP als Pull-Systeme gewertet. Nur bei diesen beiden Verfahren erfolgt die Auftragsauslösung durch einen Kundenbedarf entgegen der Materialflussrichtung mit Aufträgen ohne Endterminierung bei zugleich fester Synchronisation zwischen Input und Output zur Bestandsdeckelung. Das Ergebnis ist in Tabelle 4-3 dargestellt.

	Push	Pull
dezentral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polca</li> <li>• DBF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kanban</li> </ul>
zentral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MRP/ nach Termin</li> <li>• FZ</li> <li>• Engpass</li> <li>• Basestock</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CONWIP</li> </ul>

Tabelle 4-3: Systematisierung der Fertigungssteuerungsverfahren (in Erweiterung zu [Lödding 2005] und [Wiendahl 2002])

#### 4.3.4 Hybride Verfahren

In der Vergangenheit wurden sowohl Verfahren, die einzelne Aufgaben der Fertigungssteuerung mit einem Verfahren lösen (Monoverfahren), als auch kombinierte Verfahren entwickelt. Werden zur Lösung einer Aufgabe zwei unterschiedliche Verfahren angewandt, so spricht man von kombinierten Verfahren. Lopitzsch bezeichnet diesen eigenständigen Verfahrensansatz als hybrides Verfahren [Lopitzsch 2005]. Sie werden eingesetzt, um Schwächen gegenseitig zu kompensieren und um die Vorteile der verschiedenen Steuerungen zu nutzen.

In der Literatur existieren verschiedene Ansätze zur hybriden Fertigungssteuerung, meist eine Kombination aus Verfahren der Pull- und der Push-Vertreter. Der Großteil der wissenschaftlichen Ausarbeitungen behandelt die Spezifikation der Auftragserzeugung. Eine verbreitete Klassifizierung der Verfahren, auf die im Folgenden aber nicht näher eingegangen wird, ist die Trennung in sequentielle und parallele Hybride. Dabei ist das Merkmal zur Kategorisierung die Anordnung des Verfahrens im Prozess.

Hall, Dickmann und Deleersnyder beschreiben in ihren Veröffentlichungen die Kombination der zentralen PPS mit der Kanbansteuerung (vgl. dazu [Hall 1986], [Dickmann 2002]). Dazu wird bei Hall in der Beschreibung des Yamaha-Systems – auch als Synchro-MRP bekannt – der Plan-Abgang je Variante im Tagesproduktionsprogramm vorgegeben. Ein Arbeitssystem darf eine Variante nur

dann nachfertigen, wenn ihr geplanter Abgang noch nicht erreicht ist und ein Produktionskanban für diese vorliegt.

Weitere Vorschläge in diese Richtung sehen vor, dass ein MRP-System das unterlagerte Kanbanverfahren übersteuert oder das Verfahren je nach Produktgruppe auswählt, einhergehend mit einer strikten organisatorischen Trennung der notwendigen Betriebsmittel (Segmentierung). Lopitzsch segmentiert nach Rennern und Exoten [Lopitzsch 2005]. In einer Variante des Synchro-MRPs versucht Deleersnyder die Schwäche reiner Pull-Systeme, dass auch in Phasen ohne Nachfrage der maximale Lagerbestand vorgehalten wird, durch Überlagerung eines zentralen PPS-Systems auszugleichen [Deleersnyder 1992].

Buzacott und Shanthikumar präsentieren einen allgemeinen Ansatz zur Modellierung hybrider Steuerungssysteme, das PAC-System [Buzacott 1992]. Hiermit können durch Einstellung verschiedener Systemparameter Steuerungssysteme miteinander kombiniert werden. Die Anzahl der Karten, die Verzögerung bei der Generierung der Karten und die Zeitverschiebung beim vorzeitigen Einschleusen stellen wichtige Systemparameter dar.

Eine weitere spezifische Kombinationsmöglichkeit erörtert Bonvik, dessen Verfahren auf einer Kombination der dezentralen Bestandsregelung der Kanbansteuerung mit der zentralen Bestandsregelung der CONWIP-Steuerung (Kanban-CONWIP-Verfahren) beruht [Bonvik 1997]. Ein wesentlicher Unterschied zu den übrigen Verfahren liegt in der Abbildung sowohl der Auftragserzeugung als auch der Auftragsfreigabe.

Dabei werden alle Produktvarianten gleich behandelt. Im System zirkulieren zwei unterschiedliche Kanbanarten. Der variantenspezifische Fertigwaren-Kanban wird nach Entnahme des Kunden an das erste Arbeitssystem gegeben und bleibt während des gesamten Durchlaufs bei der Variante. Die Auftragsfreigabe erfolgt nur, wenn sowohl ein Fertigwaren-Kanban als auch ein konventioneller Kanban (CONWIP-Karte) die Nachfrage nach der Variante signalisieren (siehe Abbildung 4-20).

Dadurch wird eine zentrale und dezentrale Bestandsdeckung realisiert. Sind ein Fertigwaren-Kanban und eine CONWIP-Karte für mehrere Varianten vorhanden, so wird nach der höchsten Priorität (z. B. dem DDATE) ausgewählt. Für den maximalen Bestand an Fertigwaren-Kanban ( $BA_{\max, \text{FW-Kanban}}$ ) in Fertigung und Supermarkt (Fertigwaren-Lager) gilt nach Lödning:

$$BA_{\max,FW-Kanban} = \sum_{k=1}^{AnzVar} AnzFW - Kanban_k \quad (Gl. 4-17)$$

Dabei sind k die Anzahl von Varianten und AnzFW-Kanban die Anzahl der Kanban pro Variante [Lödding 2005].

Des Weiteren wird der Bestand der Fertigung durch die Anzahl der Conwip-Karten begrenzt. Der maximale Bestand in der Fertigung ( $B_{\max, CONWIP}$ ) wird dann erreicht, wenn alle CONWIP-Karten in den Arbeitssystemen ( $AnzAS$ ) gebunden sind und alle Arbeitsplätze der Fertigung ausgelastet sind - Anzahl ausgelasteter Arbeitsplätze ( $AAP_j$ ). Es gilt:

$$B_{\max,Conwip} = \left( \sum_{k=1}^{AnzVar} \sum_{j=1}^{AnzAS-1} AnzConwip_{k,j} \right) + AAP_j \quad (Gl. 4-18)$$

Das Gesamtsystem ist insofern bestandsbeschränkt, als der Bestand der Fertigung die niedrigere der beiden Obergrenzen ( $BA_{\max, CONWIP}$  und  $BA_{\max, FW-Kanban}$ ) nicht überschreiten kann.

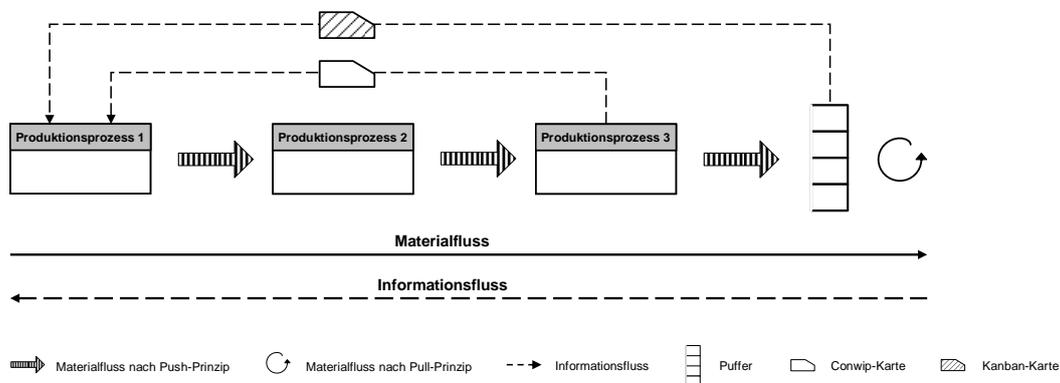


Abbildung 4-20: Funktionsweise der Kanban-CONWIP-Steuerung

Als wesentliche Verfahrensparameter bei der hybriden Kanban-CONWIP-Steuerung gelten der Behälterinhalt, die Losgröße und die Anzahl der Kanban oder Anzahl der Conwip-Karten. Die Ermittlung des Kanban und der CONWIP-Karten wurde bei der Darstellung der Verfahren bereits erläutert.

## 4.4 Stand der Technik in der Automobilindustrie

Nachdem in vorausgegangenen Abschnitten des Kapitels mit einer Einordnung, den Zielen und Aufgaben sowie den Prinzipien und Verfahren die theoretischen

Grundlagen der Produktionssteuerung erörtert worden sind, folgt im nächsten Abschnitt die Beschreibung des „Status quo“ in der Automobilindustrie. Von der Beschreibung der grundlegenden Charakteristika der automobilen Wertschöpfung in Abschnitt 2.1 ausgehend wird zunächst auf die Steuerung der Automobilproduktion im Allgemeinen und dann auf die spezifische Umsetzung des Prinzips der stabilen Auftragsfolge im Besonderen eingegangen. Ein Fazit mit einer Bewertung beendet diesen Abschnitt.

### 4.4.1 Grundprinzip der automobilen Produktionssteuerung

Anhand der in Abschnitt 4.2 beschriebenen Aufgaben und Ziele der PPS wird im Folgenden zunächst kurz der Produktionsplanungsprozess in der Automobil-Variantenfließfertigung beschrieben, bevor die Vervollständigung hinsichtlich der Produktionssteuerung erfolgt.

Die Grundlage der **Produktionsplanung** in der Automobilindustrie bildet der Absatzplan. Auf dieser Basis der Prognose des Vertriebs findet bei der Jahres(budget)planung einmal jährlich eine Abschätzung der monatlichen Produktions- und Absatzvolumen statt [Meyr 2004], meist mithilfe von Eigenschaftsschätzungen auf der Basis vergangener Abverkäufe [Herold 2004], da die Kundenaufträge in diesem zeitlichen Stadium noch kaum spezifiziert sind.

Im Kapazitätsmanagement findet ein Abgleich mit vorhandenen Kapazitäten statt, so dass Zusatzkapazitäten (Anlagen, Arbeitszeitvereinbarungen) ggf. rechtzeitig aufgebaut werden können. Durch die Abschätzung von Einbauraten, teils auch kombiniert, fließen auch mögliche Engpässe bei Zulieferteilen, Modellmixrestriktionen und Absatzunter- oder -obergrenzen implizit in die Planung ein [Meyr 2004]. Das Ergebnis stellt ein Planproduktionsprogramm dar. Bei Boysen entspricht dieser Schritt der Planung der Produktvarianten [Boysen 2005].

In Abbildung 4-21 wird die Planungssystematik einer Variantenfließfertigung genauer dargestellt. Danach erfolgt nach der Festlegung der in einer Automobilfabrik zu fertigenden Produktvarianten die Fließbandabstimmung zur Festlegung des Maschinen- und Personalbedarfs sowie des Produktionstakts. In der Realität wird dies bei den Fahrzeugherstellern aber nicht zyklisch durchgeführt, sondern nur bei der Erstinstallation von Produktionslinien/-anlagen oder bei Änderungen der Fertigungskonfiguration.

Bei der Produktionsprogrammplanung werden wie bei der Jahresplanung, allerdings in genauerer Detaillierung, Art, Menge und Termine der Aufträge als Produktionsprogramm definiert. Der Planungshorizont von drei bis zwölf Monaten wird dabei monatlich rollierend überplant [Meyr 2004]. So wird in der Automobilindustrie mit der Produktionsprogrammplanung häufig der Auftragsbestand eines Monats auf die einzelne Tages- und Schichtprogramme heruntergebrochen [Monden 1998].

Aus dem Produktionsprogramm werden über die MRP Liefervorschauen für die Zulieferer abgeleitet. Da die konkrete Fahrzeugausstattung mit Ausnahme der geringen jeweils bereits bekannten Anzahl von Endkundenaufträgen prognostiziert werden muss, ist die Zuverlässigkeit der so generierten Lieferpläne allerdings relativ gering. Bisher beruhen die Planungsaufgaben primär auf Ausstattungsprognosen. Im Folgenden werden die Planungsbestandteile betrachtet, die zum Kundenauftragsprozess zählen und konkrete „Kundenaufträge“ als Grundlage haben.

Ihr Start ist eine Kundenbestellung, bei der dem Kunden nach Wahl des Modelltyps und der Ausstattungsoptionen eine Lieferwoche genannt wird. Dies ist durch einen „Online-Ordering-Prozess“ möglich, bei dem der Kundenauftrag über sogenannte Schaugläser oder Wochentöpfe der Lieferwoche entsprechend auf Kapazitätsrestriktionen geprüft und eingeplant wird [Bauer 2008]. Anschließend werden mithilfe der Reihenfolgenplanung rollierend kleinere Auftragspakete erzeugt, z. B. nivellierte Tagespakete mit Aufträgen in der Bearbeitungsreihenfolge [Meyr 2004]. Dieser Planungsschritt kann bei einem Auftragsreihenfolgenkonzept die Soll-Reihenfolge bilden und stellt zugleich das „order freeze“ dar.

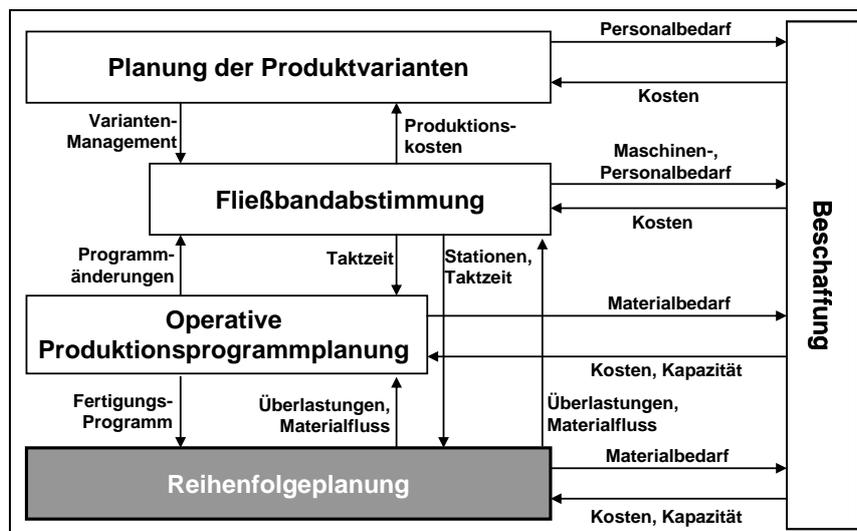


Abbildung 4-21: Systematik der Planung in einer Variantenfließfertigung [Boysen 2005]

Die Reihenfolgenplanung ist somit ein wesentlicher und charakteristischer Planungsschritt einer Variantenfließfertigung. Sie hat die Aufgabe, die Produktionsaufträge der Einplanungspakete unter Berücksichtigung der Zielkriterien und möglichen Nebenbedingungen in eine geeignete Bearbeitungsreihenfolge zu bringen. Das Bilden einer Sequenz ist ein Optimierungsproblem, zu dem es verschiedenste Ansätze gibt (vgl. z. B. [Decker 1993], [Scholl 1995], [Zimmermann 1997], [Amen 2000], [Boysen 2005]). Dabei existiert eine Vielzahl von Restriktionen<sup>1</sup>, die bei der Reihenfolgenplanung zu beachten sind:

- Einhaltung versorgungs- oder PP-bedingter Kapazitätsrestriktionen pro Zeiteinheit, z. B. bei größtmöglichen Lieferumfängen der internen und externen Zulieferer
- Gleichverteilung oder Mindestabstände von Auftragskonfigurationen, die eine höhere Fertigungszeit an bestimmten Stationen haben
- Losgrößen-Bildung wie z. B. im Lackierbereich, um kostspielige Farbwechsel durch Farbblockbildung zu vermeiden [Meißner 2009a]

<sup>1</sup> Unter einer Restriktion sollen Einschränkungen oder Begrenzungen der freien Wahl bei der Planung einer Auftragsreihenfolge verstanden werden.

Dabei haben sich in der Literatur zwei unterschiedliche Zielsetzungen etabliert, die von drei unterschiedlichen Klassen von Optimierungsmodellen auf unterschiedliche Art verfolgt werden [Boysen 2006]:

- Gleichmäßige Verteilung des Bedarfs in der Fertigungsfolge („Level-Scheduling“) zur Reduzierung von Sicherheitsbeständen
- Vermeidung von Überlastung an den einzelnen Stationen aufgrund aufeinanderfolgender arbeitsintensiver Varianten durch exakte Terminierung der Arbeitsgänge an den Stationen unter genauer Beachtung der variantenspezifischen Fertigungszeiten („Mixed-Model-Sequencing“)
- Vermeidung von Überlastung durch Verbot überlastungsträchtiger Auftragsfolgen oder durch Einhaltung von Mindestabständen zwischen arbeitsintensiven Varianten („Car-Sequencing“)

Das Bild der Reihenfolgenplanung in der Automobilindustrie ist sehr differenziert. Während das Level-Scheduling vor allem bei asiatischen Automobilherstellern wie Toyota [Monden 1998] und der Hyundai Motor Company AG [Duplaga 1996] verwendet wird, kommen die überlastungsorientierten Verfahren eher bei westlichen Herstellern zum Einsatz, z. B. der Renault SAS [Gagné 2006].

Im Kern entspricht dieses Optimierungsproblem einer Kompromissfindung einer bestmöglichen Befriedigung der Randbedingungen, da eine alle Restriktionen einhaltende Sequenz in der Automobilindustrie kaum möglich ist. So können auch unterschiedliche Soll-Reihenfolgen für den Karosseriebau, die Lackiererei und die Montage definiert werden. Mit der Reihenfolgenplanung findet der planerische Teil der PPS seinen Abschluss, der meist mit der Einplanung der Aufträge und dem Stopp der Änderungsmöglichkeit durch den Kunden einhergeht.

Die **Produktionssteuerung**, die „Steuerung der durch kunden- bzw. marktbezogene Aufträge veranlassten Produktion hinsichtlich Zeit, Ort und Menge“ [Spur 1994], hat im Automobilbau die Aufgaben,

- die Produktionsaufträge freizugeben,
- die Kapazitäten der Auftragsbearbeitung zu nutzen,
- den Produktionsfluss der Karosserien vom Karosseriebau bis zur Fahrzeugübergabe an den Vertrieb zu lenken und

- den Produktionsfortschritt zu überwachen, um damit
- für die termingerechte Fertigstellung der Aufträge zu sorgen.

Die Reihenfolgenplanung des übergeordneten zentralen PPS-Systems bildet die Grundlage für die Auftragserzeugung. Die aus dem MRP ermittelten Fahrzeugproduktionsaufträge werden dazu an einen Leitstandsrechner beim Karosseriebau übermittelt [Mertens 2009]. Die Aufträge sind dabei mit einer eindeutigen Produktionsauftragsnummer und einem Endtermin versehen. Die Einsteuerung findet somit am Produktionsstart statt. Das Ziel ist es, die für die Montage geplante Sequenz von Produktionsaufträgen in gleicher Reihenfolge auch auf den Vorstufen einzuhalten.

Das Kriterium zur Auftragsfreigabe ist wie bei allen zentralen PPS-Systemen der geplante Fertigstellungstermin. Durch eine retrograde Terminierung wird dies bereits bei der Reihenfolgenplanung berücksichtigt. Beim Verlassen des ersten Arbeitstakts einer Karosserie wird ein Auftrag aus der Reihenfolgenplanung freigegeben und an die unterlagerte Anlagensteuerung in seiner auszuprägenden Variante übermittelt. Somit handelt es sich um eine Auftragsfreigabe nach Termin. Die Auftragsüberwachung erfolgt durch zentrale Fertigungsleitstände, die den Produktionsfortschritt überwachen und bei Störungen eingreifen. Hier findet auch eine Reihenfolgensteuerung auf zentraler Ebene statt.

Das Ziel ist es, aufgetretene Störungen zu kompensieren, um die Plan-Liefertermine zu erreichen. Erreicht wird dieses Ziel durch ein bewusstes Abweichen von der Reihenfolgenplanung in Form einer DDATE-Steuerung. Der Produktionsprozess ist weitgehend in Form eines komplexen Fließfertigungssystems verkettet. Die einzelnen PP-Abschnitte erhalten von der zentralen PPS täglich einen Mengenplan auf Tages- oder Schichtebene. So können die einzelnen Prozessabschnitte in Form einer dezentralen Steuerung Rückstände durch eine Ausweitung des Kapazitätsangebots über Floater oder pausenfreie Produktion beeinflussen [Meyr 2004]. Man spricht deshalb in Bezug auf die Marktkopplung oder Ablauflogik von einer reinen planbedarfsorientierten Fertigungssteuerung.

Die Versorgung der nachgelagerten Prozesse erfolgt nach dem Schiebeprinzip. Aufgrund der nicht vorhandenen Input-/Output-Kopplung, in Verbindung mit Ausschleusstellen oder Puffern zwischen den Prozessen, schwanken die WIPs und somit die Auftragsdurchlaufzeit. In den Ausschleusstellen (Nacharbeit,

Qualitätsprüfungen) existieren, sofern keine Materialflussverkettung vorhanden ist, verschiedene Reihenfolgensteuerungen. Neben der reihenfolgenneutralen stochastischen FCFS-Regel können auch individuelle Regeln Anwendung finden (Random, SLACK). Auch in den Puffern können, je nach und auch durch die Typologie bedingt, unterschiedliche Prioritätsregeln Anwendung finden.

Diese Umstände haben eine unmittelbare Konsequenz für die aus der Plan-Durchlaufzeit ermittelten Fertigstellungstermine. Einzelne Fahrzeuge sind zu früh, andere zu spät (siehe Abschnitt 2.5). Um diese Verwirbelungen vor Einlauf in restriktionsbehaftete Arbeitssysteme (z. B. die Lackierung hinsichtlich Farb-Losgrößen oder Endmontage hinsichtlich der Mindestabstände einzelner Variantenausprägungen) zu eliminieren, sind Sicherheitsbestände in Form investitionsintensiver Resortierpuffer notwendig [Meyr 2004].

### **4.4.2 Produktionssteuerung nach stabiler Auftragsfolge**

Untersucht man den Stand der Technik in der deutschen Automobilindustrie bei der Umsetzung von Auftragsreihenfolgenkonzepten, so erkennt man zum einen, dass nur wenige Automobilhersteller ein solches Konzept tatsächlich umsetzen [Meyr 2004], und zum anderen, dass sich die umgesetzten Konzepte zum Teil erheblich unterscheiden [Meißner 2009]. Als Gründe dafür werden die unterschiedlichen Randbedingungen wie Fabrikstrukturen, Produkte und Prozesse deutlich. Alle umgesetzten Konzeptausprägungen haben allerdings das gemeinsame Ziel, eine geplante Auftragsfolge verlässlich einzuhalten (siehe Abschnitt 2.4).

Im Folgenden wird auf die zwei grundsätzlichen Möglichkeiten einer Produktionssteuerung nach stabiler Auftragsfolge, das Perlenkettenprinzip und das Prinzip der flexiblen Auftragszuordnung, eingegangen und ihre Umsetzung anhand einzelner Automobilhersteller exemplarisch aufgezeigt. Der grundlegende Unterschied zwischen den zwei Prinzipvarianten liegt in der Definition des Kundenentkopplungspunkts (siehe Abschnitt 2.1).

Beim Perlenkettenprinzip erfolgt eine fixe Zuordnung zum Kundenauftrag bereits beim Produktionsstart, wohingegen beim Prinzip der flexiblen Auftragszuordnung, wie der Name sagt, die Zuordnung zum Kundenauftrag flexibel bleibt. So könnte der komplette Produktionsprozess auftragsneutral ablaufen und eine Zuordnung zum Kundenauftrag erst mit Endmontageeinlauf erfolgen.

#### 4.4.2.1 Perlenkettenprinzip

Unter Perlenkettenprinzip versteht man das Festlegen einer bestimmten unveränderbaren Auftragsreihenfolge in der Produktion vor dem Produktionsstart [Weyer 2002]. Ist diese Planreihenfolge gewerkeübergreifend, also durchgängig im gesamten Produktionsprozess aller Gewerke anzuwenden, so spricht man von einer originären<sup>1</sup> Perlenkette. Abbildung 4-22 visualisiert die Hauptmerkmale des originären Perlenkettenprinzips.

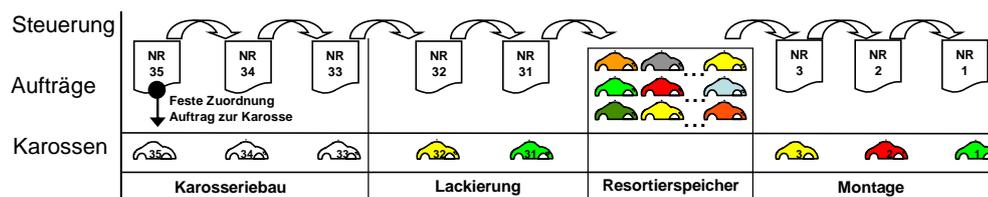


Abbildung 4-22: Originäres Perlenkettenprinzip

Werden bei der Reihenfolgenplanung gewerkespezifische Sequenzen gebildet, so spricht man von einer modifizierten Perlenkette [o. V. 2008].

Bei beiden Prinzipausprägungen ist gleich, dass der Kundenauftrag bereits zum Produktionsstart fest mit der Karosserie verbunden wird. Bei der Reihenfolgenplanung werden die Anforderungen der einzelnen Produktionsbereiche hinsichtlich der Restriktionen berücksichtigt. Das Ziel ist die Produktion nach dem FIFO-Prinzip, mit dem Karosseriebaustart beginnend. Entstehende Verwirbelungen im Prozess oder den unterschiedlichen gewerkespezifischen Soll-Reihenfolgen müssen durch Resortierpuffer ausgeglichen werden, um die Auftragsfolge zur Montage einzuhalten.

Die erreichbare Prozessstabilität und der gewünschte Grad der Reihenfolgengüte dimensionieren die Größe der einzelnen Resequenzierpuffer, die insgesamt teilweise einem Vielfachen der Tagesproduktionsmenge entsprechen (vgl. z. B. [Renner 2000] und [Furmans 2009]).

<sup>1</sup> Synonym wird auch „durchgängige“ oder „strenge“ Perlenkette verwendet.

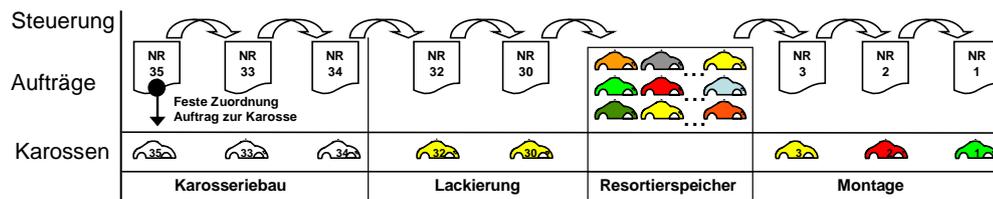


Abbildung 4-23: Modifiziertes Perlenkettenprinzip

Als eines der ersten Automobilunternehmen setzt die Ford Motor Company seit 1994 das originäre Perlenkettenprinzip um [Sawyer 1994], wobei die Reihenfolgenabsicherung mithilfe eines großen Resortierpuffers vor der Montage erfolgt.

Die Porsche AG steuert nach dem Perlenkettenprinzip, wobei die Auftragsreihenfolge sechs Tage vor Montagestart festgelegt wird [Wels 2007]. Porsche sichert die Fahrzeugreihenfolgen durch Resequenzierpuffer zwischen den Gewerken ab und erlaubt Toleranzzeitfenster zur optimierten Produktion im Karosseriebau und der Lackiererei. Zudem werden Sonderfahrzeuge separat gesteuert.

Die Audi AG setzt für einzelne Modelle im Werk Neckarsulm ein Auftragsreihenfolgekonzept nach dem Perlenkettenprinzip um [Braun 2008]. Dabei wird die Perlenkette sieben Tage vor Montagestart festgelegt und bei einigen Lieferanten abgerufen, wobei eine JIS-Materialanlieferung bis aus Tschechien erfolgt.

Auch die MAN Truck & Bus AG hat das Perlenkettenprinzip 2002 im Werk München eingeführt, insbesondere wegen der hohen Produktindividualität [Engelhorn 2005]. Die Produktionsreihenfolge wird bis zu elf Arbeitstage vor der Bandaufgabe gebildet [Lopitzsch 2008].

### 4.4.2.2 Prinzip der flexiblen Auftragszuordnung

Beim Prinzip der flexiblen Auftragszuordnung<sup>1</sup> wird der Kundenauftrag nicht wie beim Perlenkettenprinzip bereits vor dem Karosseriebaustart, sondern erst später im Produktionsprozess einer Karosserie fest zugeordnet. Das Konzept entspricht grundsätzlich der Umsetzung einer Postponement-Strategie (siehe Abschnitt 2.1),

<sup>1</sup> Synonym zu flexibler Auftragszuordnung wird auch „späte Auftragszuordnung“ oder „late order assignment“ verwendet.

also einer möglichst langen Beibehaltung auftragsneutraler, variantenarmer Karosserien und späten Differenzierung der kundenindividuellen Fahrzeugvarianten.

Die endgültige Verbindung des Kundenauftrags mit der Karosserie am sogenannten Taufpunkt ist zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Produktion möglich, z. B. bei der Endmontage. Um die bestmögliche Karosseriebauaufлагesequenz zu erhalten, erfolgt dann eine Rückwärtsrechnung vom Montagestart über die vorgelagerten Bereiche, wobei möglicherweise im Voraus bekannte Verwirbelungen bereits berücksichtigt werden können.

Mithilfe des Konzepts der flexiblen Auftragszuordnung kann die Montagereihenfolge mit einem geringerem Anteil physischer Resequenzierung abgesichert werden. Verwirbelungen, die im Bereich des Karosseriebaus oder der Lackiererei entstehen, werden teilweise durch eine virtuelle Resortierung mithilfe eines Auftragstauschs unter den Randbedingungen von Anzahl und Entstehung der Karosserievarianten ausgeglichen [Pietsch 2002]. Dazu existieren verschiedene Verfahren (vgl. z. B. [Meißner 2008]; [Wiswe 1999]).

Ein vermeintlicher Vorteil des Konzepts ist die Möglichkeit der begrenzten Selbststeuerung von Lackiererei und Karosseriebau. Beide Bereiche können bei ihrer Produktionsreihenfolge in Grenzen von den geplanten Montagesequenzen abweichen, was lokale Optimierungen erlaubt [Inman 2003]. Ein Nachteil ist jedoch, dass die späte Auftragszuordnung nur dann realisiert werden kann, wenn eine geringe Grundvarianz der Karosserien gegeben ist [Meyr 2004]. Je mehr Varianten vorhanden sind, je weiter der Fortschritt einer Karosserie im Produktionsablauf und je größer die damit bereits festgelegte Anzahl der Variantenmerkmale ist, desto schwieriger wird es, im Produktionsprozess eine Karosserie zu finden, die dem Auftrag zugeordnet werden kann.

Die Konsequenz dessen ist, dass die Karosserievarianten im Komplexitätsmanagement konsequent vereinheitlicht werden müssen, was unabhängig von der notwendigen Entwicklungsleistung zu höheren Fertigungs- und Materialkosten führen kann. Hierbei ist zu beachten, dass eine große Fahrzeugvarianz ein zentrales Kundenanliegen zur Differenzierung darstellt (siehe Abschnitt 2.2).

Somit bleibt die Herausforderung, die interne Produktvarianz so einzuschränken, dass dies keine signifikante Veränderung der von den Kunden wahrgenommenen

Varianz (externen Varianz) hat. Neben der beschriebenen Konsequenz für die Fertigungskosten kann eine solche Einschränkung auch Auswirkungen auf die Auftragsdurchlaufzeit haben. Konnten Prozesse zur Variantenerzeugung automatisiert im Karosseriebau bisher innerhalb der Taktzeit durchgeführt werden, so sind jetzt unter Umständen ressourcenintensive manuelle Montageprozesse notwendig.

### Terminsteuerung über Eigenschaften

Bei der Terminsteuerung über Eigenschaften wird eine gewerkeunabhängige Auftragsreihenfolge gebildet, bei der die fixe Auftragszuordnung erst zu Montagebeginn erfolgt. Dann entsteht auch der Impuls für die Sequenzbildung, indem frühzeitig Terminvorgaben (Plan-Abgabetermine) für die dort erforderlichen Karosstypen an die Lackiererei übermittelt werden. Diese gibt die erhaltenen Termine ihrerseits in angepasster Form an den Karosseriebau weiter.

Die Rückwärtsterminierung von der Montage ausgehend ist mit dem Pull-Prinzip zu vergleichen. Jedes Gewerk dient dabei als JIT-Lieferant für das folgende. Durch die dezentrale Selbststeuerung wird jedem Gewerk die Möglichkeit der Selbstoptimierung eingeräumt. Entstehende bewusst in Kauf genommene Sequenzbrüche im Fertigungsverlauf werden durch geplante Resortierungen in einem Sequenzierpuffer vor dem Montageeinlauf ausgeglichen. Das dargestellte Procedere verdeutlicht Abbildung 4-24 nochmals grafisch. Entwickelt wurde das Verfahren bei den KOVP-Aktivitäten bei BMW [Renner 2000].

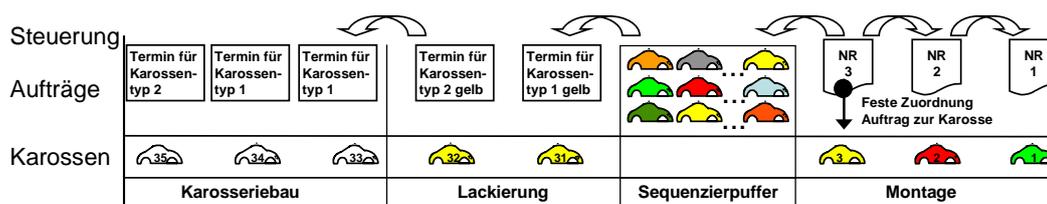


Abbildung 4-24: Prinzip der flexiblen Auftragszuordnung – Terminsteuerung

### Mengensteuerung über ein Zeitfenster

Die Mengensteuerung über ein Zeitfenster funktioniert analog der Terminsteuerung über Eigenschaften mit dem einzigen Unterschied, dass hierbei nicht Termine, sondern Mengenvorgaben als Steuergröße der Abgabe an den nachgelagerten Bereich (Kunden) dienen. Abbildung 4-25 zeigt die Logik der Mengensteuerung exemplarisch auf. Im Einsatz ist dieses Verfahren bei Daimler.

## 4 Produktionssteuerung nach stabiler Auftragsfolge in der Automobilindustrie

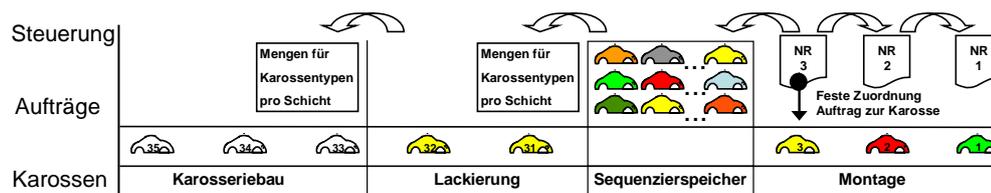


Abbildung 4-25: Prinzip der flexiblen Auftragszuordnung – Mengensteuerung

### Gestufte Auftragsfreigabe

Bei der Gestuften Auftragsfreigabe (GAF) wird eine gewerkeübergreifende Auftragsreihenfolge mit dem wesentlichen Charakteristikum gebildet, dass Auftrags- und Karossenfluss voneinander getrennt sind. Eingesetzt wird das Verfahren bei der Volkswagen AG [Wiswe 1999].

Beim Start des Karosseriebaus wird jede Karosse – wie aus Abbildung 4-26 ersichtlich – zunächst mit einem bestimmten Auftrag verbunden, der dem Push-Prinzip gemäß in die Fertigung eingesteuert wird. Dabei handelt es sich um eine temporäre Verbindung. Im Laufe des Produktionsprozesses besteht an sogenannten GAF-Punkten die Möglichkeit, die Zuordnung eines Auftrags zu einer Karosse flexibel zu verändern, sofern Bedarf besteht. Die Voraussetzung hierfür ist eine Variantenkompatibilität zwischen der Karosse und dem neu zugeordneten Auftrag. Erst beim Einlauf in die Montage wird die Karosse fest mit einem Auftrag verbunden.

Der entscheidende Vorteil des GAF-Konzepts liegt darin, Sequenzbrüche ohne physische Resortierung kompensieren zu können. Meißner bezeichnet diese virtuelle Sequenzierung auch als FZZO, weil an einem Tauschpunkt einem Fahrzeug der beste Auftrag zugeordnet wird [Meißner 2009]. Simulationsstudien zeigen, dass eine AZZO bei der Reihenfolgenwiederherstellung unter Umständen bessere Ergebnisse erzielen kann.

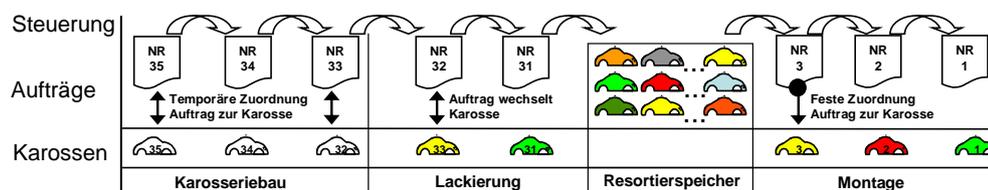


Abbildung 4-26: Prinzip der flexiblen Auftragszuordnung – GAF

## **4.5 Fazit: Fehlende Stabilisierungsfunktion bei zentral gesteuerten Push-Systemen**

Die Fertigungssteuerung hat über den produktionslogistischen Regelkreis einen unmittelbaren Einfluss auf die internen logistischen Zielgrößen der Durchlaufzeit, Termintreue, des Bestands und der Auslastung, die aus der Lieferzeit, Lieferterminabweichung und Liefertreue oder dem Servicegrad in Form der externen Logistikleistung abgeleitet werden.

Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, existieren zahlreiche unterschiedliche Ausprägungen von Steuerungskonzepten. Die Einteilung der Verfahren orientiert sich an den Kernaufgaben der Produktionssteuerung: Auftragserzeugung und Auftragsfreigabe. Eine Systematisierung der grundsätzlichen Steuerungsprinzipien erfolgt nach dem Zentralisierungsgrad (dezentral oder zentral) und der Anstoß-/Steuerungslogik (Push- oder Pull-Prinzip).

Die Automobilproduktion folgt nach der Systematisierung in Abschnitt 4.3.2 letztlich dem klassischen Push-Prinzip ohne explizit limitierten Produktionsbestand und mit gleichgerichtetem Informations- und Materialfluss unter einem zentral steuernden PPS-System [Meyr 2004], dem MRP-Verfahren. Ein Blick in die Automobilindustrie zeigt, dass trotz großer Anstrengungen die Stabilisierung des komplexen Produktionsprozesses nach wie vor Schwierigkeiten bereitet [Grinninger 2006].

Vorhandene Umsetzungsprinzipien des Konzepts der stabilen Auftragsfolge scheinen nur sehr bedingt tauglich, da es innerhalb des komplexen Wertschöpfungsnetzwerks der Automobilindustrie immer wieder zu Verwirbelungen der Reihenfolge kommt. Zur Sicherstellung der Auslastung müssen diese durch investitionsintensive Sequenzrichter, im Produktionsprozess in Form von Karossenspeichern und im Versorgungsprozess durch Teileresequenzierung, ausgeglichen werden. Die Konsequenzen für die logistischen Zielgrößen sind steigende Karossenbestände, stark schwankende Durchlaufzeiten und sich daraus ergebend Defizite bei der Termintreue.

Zu konstatieren ist, dass das eingesetzte Steuerungsprinzip innerhalb der Auftragserzeugung, Auftragsfreigabe, Kapazitäts- und Reihenfolgensteuerung keine ausreichende Kompensation schaffen kann. MRP-Systeme beinhalten in der Regel zwar alle Funktionen der Produktionsplanung. Gewisse Defizite,

einhergehend mit langen Durchlaufzeiten und hohen Beständen, weisen diese allerdings bei der Fertigungssteuerung auf [Wildemann 2001].

Die Problematik bei der Stabilisierungsfunktion ist sozusagen systemimmanent. In herkömmlichen PPS-Systemen basieren die Entscheidungen allein auf einer vorausschauenden Betrachtung und sind nicht in der Lage, Störungen und Änderungen im Prozess zu berücksichtigen (vgl. z. B. [Warnecke 1989], [Jostock 1994] und [Wiendahl 1993]). Von den in Abschnitt 4.3.2.2 beschriebenen Hauptkritikpunkten in Bezug auf MRP-Systeme wirken insbesondere die folgenden Ausprägungen nachteilig auf die Steuerung der Produktion:

- Aufgrund langer Reaktionszeit unsichere, nicht aktuelle Daten führen dazu, dass bei Reihenfolgenabweichung keine oder nur zu späte Eingriffe durch die Reihenfolgensteuerung möglich sind.
- Die Annahme konstanter mittlerer fixer Plan-Durchlaufzeit führt bei Störungen im Produktionsprozess dazu, dass Rückstände durch die Kapazitätssteuerung nicht ausgeglichen werden.

Die Vision einer stabil fließenden Auftragsfolge in Produktion und Logistik bis zum Endkunden kann in der Praxis allerdings nur verwirklicht werden, wenn die Prinzipien und Methoden einer schlanken und stabilen Wertschöpfung konsequent umgesetzt werden [Meißner 2009b]. Im Fokus der Entwicklung standen in den letzten Jahren die Optimierung der Wertschöpfungsprozesse und die Umsetzung der Lean-Production nach dem Vorbild von Toyota bei den Herstellern.

Für nachhaltige Unternehmenserfolge müssen zukunftsfähige Konzepte über das Anwendungsgebiet der PP-Optimierung hinausgehen und die Planung und Steuerung der Aufträge einbeziehen. Die Stabilisierung der Wertschöpfungsprozesse bei Automobilen gelingt nur durch geeignete alternative Produktionssteuerungsverfahren.

## 5 Definition schlanker Produktionssteuerung

Um eine schlanke Produktionssteuerung zu entwerfen, gilt es, neben der notwendigen Begriffsdefinition und Historie (in Abschnitt 5.1) vor allem herauszuarbeiten, was „schlank“ für die Produktionssteuerung bedeutet. Die Darstellung der Prinzipien eines schlanken Produktionssystems erfolgt anhand eines Überblicks über Wissenschaft und Praxis in Abschnitt 5.2. Daraus abgeleitet werden aus den Abschnitten 4.2.2 und 4.2.3 gemeinsam mit den Systemgrößen eines schlanken Systems die Anforderungen an eine schlanke Produktionssteuerung entwickelt (Abschnitt 5.3).

### 5.1 Begriffsdefinition

Das Massachusetts Institute of Technology veröffentlichte 1990 die IMVP-Studie, die unter dem Titel „The Machine that Changed the World“ bekanntgeworden ist. In der Untersuchung analysierte ein Forscherteam um Womack, Jones und Roos innerhalb von fünf Jahren 90 Automobilwerke in Europa, Nordamerika und Japan auf ihre Wirtschaftlichkeit [Womack 1992]. Vom immer weiteren Zurückfallen europäischer und nordamerikanischer Automobilhersteller gegenüber der japanischen Konkurrenz angetrieben lag das Hauptaugenmerk der Forscher darauf, das Erfolgskonzept japanischer Automobilwerke durch einen Vergleich der Produktionsphilosophien besser zu durchleuchten.

Tabelle 5-1 verdeutlicht die Unterschiede in der Produktivität eines nordamerikanischen Werks der General Motors Company LLC und eines japanischen Werks von Toyota Mitte der 1980er Jahre.

Vergleichskriterium	GM Framingham	Toyota Takaoka
Brutto-Montagestunden	40,7	18
Montagestunden pro Auto	31	16
Montagefehler pro 100 Autos	130	45
Montagefläche pro Auto	0,75	0,45
Teilelagerbestand (Durchschnitt)	2 Wochen	2 Stunden

Tabelle 5-1: Vergleich zweier Automobilwerke [Womack 1992]

Grundsätzlich erzielten die Werke der japanischen Hersteller – allen voran von Toyota – bei nahezu allen Kriterien wie z. B. Produktivität, Qualität, Fertigungszeit, Montagebestand, Entwicklungszeit und Personalaufwand erheblich bessere Ergebnisse als die Werke ihrer weltweiten Konkurrenten. In dieser Studie wurde in Abgrenzung zu „buffered“ (englisch, gepuffert) von Krafcik der Begriff „lean“ (englisch, schlank) geprägt [Krafcik 1988].

Die in den europäischen und nordamerikanischen Werken vorgefundenen „buffer“ bezeichnen sämtliche Ressourcenreserven des gesamten Produktionssystems in Form von Lagern und Arbeitskräften, um das Ziel einer hohen Auslastung hochautomatisierter Anlagen zu erreichen. Die Anfänge der schlanken Produktion (der Lean-Production oder des Lean-Manufacturings) gehen somit auf die Produktionsweise des japanischen Automobilherstellers Toyota zurück. Heute werden diese Begriffe synonym mit dem TPS verwendet.

Das TPS wurde in den 1950er Jahren in erster Linie von Toyoda und Ohno entwickelt [Ohno 1978], [Womack 1992]. Eine große Produktvielfalt und fehlende finanzielle Mittel verhinderten in Japan nach dem zweiten Weltkrieg eine Massenproduktion nach westlichem Vorbild. Die Lösung sah Toyoda jedoch nicht in einem verstärkten Preiswettbewerb mit den Konkurrenten, sondern in einer konsequenten Fokussierung auf die Durchlaufzeit vom Auftragseingang bis zum Zahlungseingang (siehe Abbildung 5-1). Umgesetzt werden konnte diese Fokussierung nach Ohnos Ansicht durch die Reduzierung nichtwertschöpfender Aktivitäten (als Verschwendung definiert) in allen Prozessen, vor allem in der Produktion [Ohno 1978].

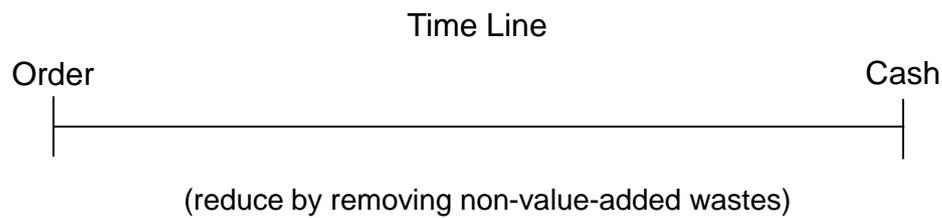


Abbildung 5-1: Oberstes Ziel: Reduzierung der Auftragsdurchlaufzeit [Ohno 1978]

Zusammengefasst ist das TPS ein integrierter Produktionsansatz, um unter Nutzung bestehender Einrichtungen, Materialien und Arbeitskräfte so effizient wie möglich zu arbeiten mit dem Ziel, Verschwendung (japanisch „Muda“<sup>1</sup>), ungleichmäßige Produktionsauslastung (japanisch „Mura“) und Überbeanspruchung (japanisch „Muri“) zu eliminieren. Das System produziert Fahrzeuge JIT, und eine gute Produktqualität ist „eingebaut“ (d. h. prozessimmanent), auf dem Jidōka<sup>2</sup>-(Autonomations-)Ansatz basierend [Shingo 1993].

Corsten versteht Lean-Management als permanente, konsequente und integrierte Anwendung eines Bündels von Prinzipien, Methoden und Maßnahmen zur effektiven, effizienten, strategischen, taktischen und operativen Planung, Implementierung, Gestaltung, Durchführung und Kontrolle sämtlicher Gestaltungsfaktoren der Unternehmung und darüber hinaus des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks mit dem Ziel, Verschwendung prinzipiell zu vermeiden, um somit kurz-, mittel- und langfristig die Systemwirtschaftlichkeit zu optimieren [Corsten 1993]. Zur operativen Umsetzung schlanker Produktionssysteme nach dem Vorbild von Toyota gibt es verschieden definierte Prinzipien.

## 5.2 Prinzipien

Spätestens seit der IMVP-Studie und aufgrund der anhaltenden Unternehmenserfolge von Toyota sind Wirtschaft und Wissenschaft weltweit dabei, die Grundprinzipien des TPS zu analysieren, zu bewerten und verstehen zu lernen. Dabei haben sich in den letzten Jahren mehr oder weniger unterschiedliche Ausprägungen entwickelt.

<sup>1</sup> Muda ist jede Tätigkeit ohne Arbeitsfortschritt und Wertzuwachs [Shingo 1993].

<sup>2</sup> Jidoka, Genauer: Ninben-no-tsuita-Jidōka (Autonomation).

### 5.2.1 Prinzipien nach dem Toyota-Haus

Die typische Darstellungsform des TPS und damit der integralen Prinzipien einer schlanken Produktion ist das Toyota-Haus. Geprägt wurde diese Art der Darstellung von Chō, dem früheren Präsidenten von Toyota, einem Schüler Ohnos [Liker 2004]. Damit wird zum Ausdruck gebracht, dass ein Haus oder das TPS nur dann stabil ist, wenn das Dach, die Säulen und das Fundament stabil sind.

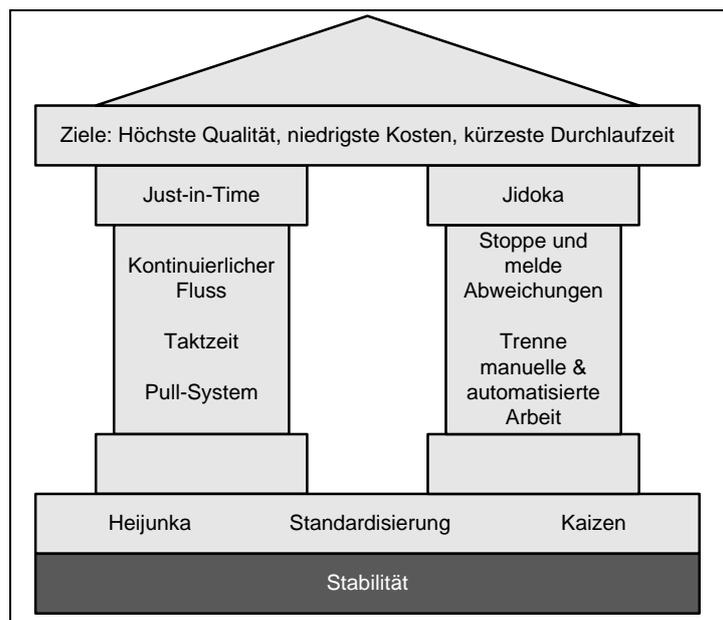


Abbildung 5-2: TPS-Haus (in Anlehnung an [o. V. 2003b])

Vom Toyota-Haus existieren mittlerweile teilweise sehr unterschiedliche Varianten. So werden bei Monden gegenüber Abbildung 5-2 zusätzlich zu JIT und Jidōka die Säulen Shojinka<sup>1</sup> und Soikufu<sup>2</sup> als tragende Elemente aufgeführt [Monden 1998]. Oeltjenbruns sieht hingegen „Total Quality Control“ mit den Einzelementen TPM<sup>3</sup>,

---

<sup>1</sup> Shojinka (Japanisch, flexibler Mitarbeiter, verkörpert die Idee, die Arbeitskraft der Mitarbeiter flexibel einzusetzen, um schnell auf Nachfrageschwankungen reagieren zu können [Monden 1998].

<sup>2</sup> Soikufu (Japanisch, kreatives Denken und erfindungsreiche Ideen, stellt ein Konzept dar, das Kreativitätspotential der Mitarbeiter zu nutzen und ein betriebliches Vorschlagswesen zu implementieren [Monden 1998].

<sup>3</sup> TPM (Total Productive Maintenance) stellt eine Methode, um sicherzustellen, dass jede Maschine im Produktionsprozess immer funktionstüchtig ist und es keine Produktionsunterbrechung gibt, entwickelt vom Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM).

Kaizen<sup>1</sup>/KVP, Soikufu, Standardisierung und Visualisierung als Stützpfiler des TPS an [Oeltjenbruns 2000].

Auch über das Fundament gibt es unterschiedliche Auffassungen. Während in Abbildung 5-2 Heijunka<sup>2</sup>, Standardisierung und Kaizen gemeinsam mit der Stabilität das Fundament bilden, ist bei Yagyu lediglich die geglättete Produktion die Grundlage für ein synchrones Produktionssystem [Yagyu 2007]. Die Basis für alle Prinzipien einer schlanken Produktion ist bei Oeltjenbruns die Kostenreduzierung durch Vermeidung von Verschwendung [Oeltjenbruns 2000]. Ergänzt werden die bereits sehr differenzierten Darstellungen in einigen Veröffentlichungen durch „visual management“ (vgl. z. B. [McBride 2007] und [Liker 2004]).

Übereinstimmung finden die Darstellungen weitestgehend in der obersten Maxime (dem Dach) des Produktionssystems: „best quality“ – „lowest cost“ – „shortest lead time“ – „best safety“ – „high morale“.

### **5.2.2 Prinzipien nach Yagyu/Takeda**

Das TPS bietet in systematisierter Form zahlreiche Ideen und Methoden, genau das, was der Kunde benötigt, schnell und zeitgerecht zu produzieren. Die Umstellung von einer Massenfertigung auf eine Fertigung mit kleinen Losen bei großer Sortenvarianz ist nicht allein durch kontinuierliche Einzelverbesserungen in Form von Effizienzsteigerungen, der Verringerung von Beständen oder Verkürzung von Durchlaufzeiten herbeizuführen. Vielmehr sind veränderte Denkweisen, Werte und Produktionsabläufe notwendig. Yagyu fasst die Managementansätze, um diese zu erreichen, in den folgenden Schlüsselsätzen zusammen [Yagyu 2007].

#### **Reine Wertschöpfung durch gründliche Beseitigung von Verschwendung**

Die gründliche Beseitigung von Verschwendung sind die Grundphilosophie und der Zweck der Einführung eines synchronen Produktionssystems. Somit sind alle eingesetzten Ressourcen (Mensch, Material, Maschine, Fläche, Information, Kapital etc.), die nicht dazu beitragen, dem Kunden einen Mehrwert zu bieten, konsequent zu eliminieren. Dadurch ist die Beseitigung jeder Art der Verschwendung direkt mit

---

<sup>1</sup> Kaizen (Japanisch, Veränderung zum Besseren, ist eine japanische Lebens- und Arbeitsphilosophie, deren Leitidee das Streben nach ständiger Verbesserung ist.

<sup>2</sup> Heijunka (Japanisch, Glätten, dient der Schaffung einer einheitlichen, nivellierten Produktionsplanung, indem die Aufträge in eine bestimmte, sich wiederholende Reihenfolge gebracht und die Tagesschwankungen bei den Gesamtaufträgen geglättet werden.

einer Senkung der Kosten verbunden. Ein Überblick über die verschiedenen Arten der Verschwendung wird im Folgenden aufgezeigt ([Shingo 1993] und [Susaki 2002]).

- Überproduktion
- Lagerhaltung
- Wartezeiten
- Transport
- Bewegungen
- Produktion von Schlecht-Teilen
- bei der Bearbeitung selbst

Um Verschwendung zu eliminieren, müssen Mensch, Maschine und Material auf effizienteste Weise kombiniert werden. Diese Kombination wird nunmehr zum Standard gemacht, nach dem produziert wird. Dadurch werden zwei Ziele verfolgt: Zum einen führen klare Regeln zur Gewährleistung von Qualität, Ausbringung und Lieferzeit. Außerdem werden Prozesskosten reduziert und wird damit die Prozesssicherheit gewährleistet. Zum anderen beschreiben standardisierte Prozesse den aktuellen bestmöglichen Stand („best practice“), der den Normalzustand beschreibt. Jegliche Abweichungen vom Normalzustand können somit festgestellt, bewertet und Verbesserungspotentiale aufgezeigt werden.

### **Im Fluss jeweils nur so viel produzieren, wie abgesetzt werden kann**

Nicht mit produzierter Ware, sondern nur mit verkaufter Ware ist Profit zu erzielen. Eine Erhöhung des Nutzungsgrades von Anlagen und Personal zur Senkung von Kosten generiert keinen Profit, sondern Überproduktion. Durch eine JIT-Fertigung müssen die Bestände minimiert werden. Es gilt, nur das, was vom Kunden benötigt wird, zum benötigten Zeitpunkt in der benötigten Menge zu produzieren. Produktionsprozesse sollten möglichst so gestaltet werden, dass ein produktbezogener Einzelstückfluss entsteht. Dabei erfolgt die Produktion nach dem Pull-Prinzip in der Kundentaktzeit<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Kundentaktzeit ist ein Zeitwert, der angibt, alle wie viele Minuten und Sekunden ein Produkt fertiggestellt werden muss [Yagyu 2007].

### **Geglättet fertigen**

Als (Produktions-)Nivellierung wird die Einteilung der in einem Jahr, Monat oder einer Woche zu produzierenden Produkte in Tagesrationen bezeichnet. Wird die Tagesmenge in weitere Teilmengen (Taktzeit) zerlegt, so wird von (Produktions-)Glättung gesprochen (japanisch „Heijunka“). Diese Art der Fertigung ist nach Yagyu die kostengünstigste und effektivste Methode der Produktion von Gütern. Deren Ziel ist immer, Bestände und Bedarfsschwankungen innerhalb der Produktion in Bezug auf Sorte und Menge zu vermeiden, da sich diese Schwankungen rückwärtsgerichtet entlang der Wertschöpfungskette aufschaukeln und schließlich dazu führen, dass die vorgelagerten Prozesse ihre WIPs, Anlagen und Arbeitskräfte an den Spitzen ausrichten müssen.

### **Starke Prozesse schaffen**

Autonomation (japanisch „Jidōka“) steht für das Prinzip, eine Maschine mit „menschlicher Vernunft“ auszustatten, so dass diese das Auftreten von Abweichungen autonom erkennt und den Produktionsprozess unterbricht. Ein Prozess, der die Anforderungen an eine hohe Zuverlässigkeit, Effizienz und Flexibilität aufweist, ist ein starker Prozess. Die Zuverlässigkeit drückt sich dadurch aus, dass keine Schlecht-Teile produziert werden und es zu keinen Störungen kommt. Ein Prozess ist effizient, wenn menschliche und maschinelle Arbeit frei von Verschwendung und die Gesamtkosten gering sind. Als flexibel gilt ein Prozess, der auf veränderliche Stückzahlen und Varianten ohne Produktivitätseinbußen oder Kostensteigerungen reagiert.

### **Unabhängig von Skalenerträgen und Stückzahlen fertigen**

Das Prinzip der Skalenerträge besteht darin, den Fixkostenanteil an den Gesamtkosten auf eine große Stückzahl zu verteilen. Dabei werden die Fixkosten als gegeben akzeptiert. Das Ziel muss es aber sein, eine Fertigungsweise zu erreichen, mit der auch kleinvolumige Aufträge profitabel abgewickelt werden können. Um die Flexibilität zu fördern, soll die Kostenverteilung so gestaltet werden, dass ein hoher Anteil der Produktionskosten auf die variablen Kosten entfällt, um den Anteil fixer Kosten somit möglichst gering zu halten.

### **Den Ort des Geschehens und die realen Gegenstände ernst nehmen**

In einem produzierenden Unternehmen liegt die Quelle des Profits und der Wettbewerbsfähigkeit in den Produktionslinien. Deswegen sind der Ort des

Geschehens und die realen Gegenstände ernst zu nehmen. Die Produktionslinien sollen ihr tägliches Produktionsgeschäft dabei selbstständig steuern. PPS-, Logistik-, QS- und Instandhaltungsaufgaben sollten nach Möglichkeit von Produktionsmitarbeitern durchgeführt werden. Dies wiederum fördert den Abbau von Hierarchien, führt zu mehr Flexibilität und zur Beschleunigung des KVP.

Des Weiteren müssen Mechanismen geschaffen werden, mit deren Hilfe jeder Mitarbeiter am Ort des Geschehens zwischen Normalzustand und Abweichung unterscheiden kann. Aufgaben und Probleme sind nicht in indirekten Bereichen am Schreibtisch, sondern vom Linienpersonal vor Ort lösen. Dafür sind Mechanismen zur Förderung der Fähigkeiten der Produktionsmitarbeiter zu schaffen und unterstützende Strukturen (indirekte Bereiche) zu etablieren.

### **Menschliche Fähigkeiten nutzen**

Mit einem synchronen Produktionssystem kann schnell auf die Kundenbedürfnisse nach kleinen Mengen bei großer Artikelvarianz reagiert werden, indem es auf die maximale Nutzung menschlicher Fähigkeiten setzt. Es reicht nicht aus, dass das Linienpersonal seine Arbeit nach Vorschrift erledigt. Verbesserungen sind nicht mehr allein die Aufgabe des indirekten Personals, sondern auch oder vor allem der Produktionsmitarbeiter.

### **5.2.3 Prinzipien nach Pfeiffer**

Lean-Management bezeichnet „die permanente, konsequente und integrierte Anwendung eines Bündels von Prinzipien, Methoden und Maßnahmen zu [sic!] effektiven und effizienten Planung, Gestaltung und Kontrolle der gesamten Wertschöpfungskette von industriellen Gütern. Die Perspektive bezieht strategisch-langfristige, taktisch-mittelfristige sowie operativ-kurzfristige Aspekte mit ein. Die Betrachtung erstreckt sich auf das Wertschöpfungsnetz inklusive der Systeme der Zulieferer und Kunden, mit dem Ziel, die Wirtschaftlichkeit des gesamten Systems kurz-, mittel- und langfristig für jeden Beteiligten zu optimieren“ [Pfeiffer 1994]. Zur operativen Umsetzung der Philosophie des Lean-Thinkings<sup>1</sup> gibt es nach Pfeiffer eine Reihe von Prinzipien (siehe Abbildung 5-3).

---

<sup>1</sup> Als Lean Thinking wird eine neue Form des Denkens auf dem Weg zum schlanken Wertschöpfungsnetz beschrieben [Womack 2003].

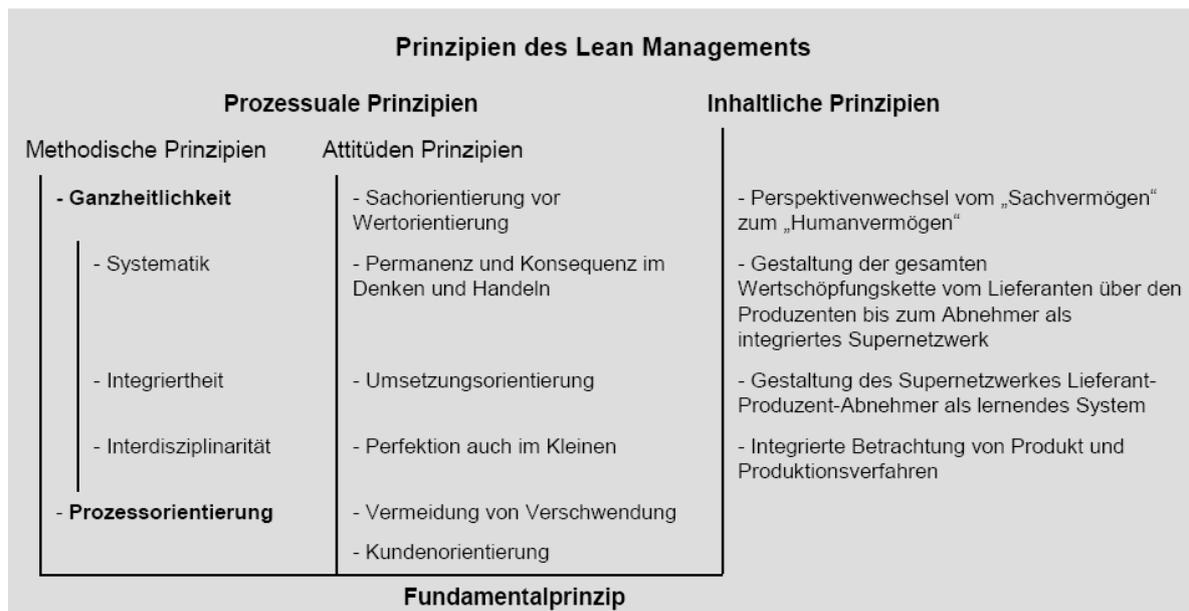


Abbildung 5-3: Prinzipien des Lean-Managements [Pfeiffer 1994]

Die Prinzipien des Lean-Managements lassen sich in die beiden Gebiete **prozessualer Prinzipien** und **inhaltlicher Prinzipien** aufteilen. Die prozessualen Prinzipien betreffen die Bereiche des rationalen Denkens und Handelns, ihnen unterzuordnen sind die methodischen und die Attitüden-Prinzipien.

### Prozessuale (methodische) Prinzipien

Die methodischen Prinzipien spalten sich in das Prinzip der Ganzheitlichkeit, das einer systematischen, integrierten und interdisziplinären Sichtweise entspricht, und das Prinzip der Prozessorientierung auf. Die Betrachtung der Prozesse erfolgt über die Unternehmensgrenzen hinweg. Bei der Modellierung der Prozesse werden die Aktivitäten des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks gestaltet.

### Prozessuale (Attitüden-)Prinzipien

Die Attitüden-Prinzipien beschreiben den Umgang mit Problemen. Die Sachorientierung vor der Wertorientierung als Unterkategorie zeigt, dass keine Orientierung an monetären Werten erfolgt, weil diese sehr stark subjektiven Bewertungen unterliegen. Zur Steuerung werden deshalb Kriterien der Sachebene verwendet wie Qualität, Zeit, Geschwindigkeit, Flexibilität, Produktivität und Bestände. Zudem passen sich die monetären Zahlen automatisch an, sobald die Kriterien der Sachebene verbessert werden.

Die Permanenz und Konsequenz im Denken und Handeln zeigen sich vor allem bei den Mitarbeitern japanischer Unternehmen. Dies hat Rehfeld, Präsident von Seiko Instruments USA Inc., erkannt: „Für Japaner sind absolute Erfolgszahlen allein nicht interessant; diese interessieren sich ebenso für den Prozess, der zu ihnen führt, und für die Frage, wie man es noch besser machen kann“ [Pfeiffer 1994]. Ein erreichter Zustand wird also nie als endgültig anerkannt, sondern permanent auf Optimierungsmöglichkeiten überprüft.

Das Prinzip der Umsetzungsorientierung verlangt eine klare Zuordnung von Verantwortlichkeiten zu den Aufgaben. Das Hindernis liegt darin, dass keine klaren Verantwortlichkeiten ausgesprochen werden und niemand konkret mit der Lösung eines Problems beauftragt wird. Der Nachteil dieses Ansatzes, „when something is everyone's problem it becomes no one's problem“ ([o. V. 2006a]), wurde bei Toyota erkannt und deshalb jeder Aufgabe genau eine Person zugeordnet.

Das Prinzip der Umsetzungsorientierung umfasst außerdem die konkrete Definition jedes einzelnen Arbeitsschrittes. Dazu gehören auch das Experimentieren und das Erproben neuer Ideen, das als Grundstein lernender Organisationen anzusehen ist [o. V. 2006a]. Das Verfolgen des Prinzips der Perfektion im Kleinen bedarf einer flachen Organisationsstruktur, die es den Mitarbeitern an der Produktionslinie erlaubt, kleinere Fehler sofort zu beheben. Müssen zur Lösung eines Problems erst hierarchische Hürden überwunden werden, so werden die kleinen Probleme außer Acht gelassen, denn die Managementebene konzentriert sich aufgrund von Zeitmangel auf die schwerwiegenden Probleme.

Ein weiteres Prinzip der Attitüden-Prinzipien ist die Vermeidung von Verschwendung. Das Prinzip der Kundenorientierung wird auf die Beziehungen innerhalb des Wertschöpfungsnetzwerks übertragen. Jede Aktivität in der Kette hat einen Kunden, der zufriedenzustellen ist.

### **Inhaltliche Prinzipien**

Den inhaltlichen Prinzipien des Lean-Managements ist das Prinzip vom Sachvermögen zum Humanvermögen unterzuordnen. Hier erfolgt ein Perspektivenwechsel: Die Arbeitskraft wird als Ressource betrachtet, deren Nutzen zu maximieren ist, und nicht als Kostenfaktor, den es zu minimieren gilt.

Dieses Prinzip hat seinen Ursprung in den 1940er Jahre bei Toyota. Aufgrund gesamtwirtschaftlicher Probleme und staatlicher Unterstützung erreichte die

Betriebsgewerkschaft von Toyota damals eine sehr starke Position. Das Unternehmen musste den Arbeitern eine lebenslange Beschäftigung garantieren. Zudem wurde ihr Lohn an den Unternehmensgewinn und die Dauer der Betriebszugehörigkeit gekoppelt. Die Lohndegression war so steil, dass die Mitarbeiter ihr gesamtes Arbeitsleben bei Toyota verbrachten, da ein Wechsel des Arbeitgebers enorme Lohnverluste mit sich gebracht hätte. Im Gegenzug stimmten die Beschäftigten einer flexiblen Arbeitszuordnung und dem aktiven Eintreten für die Unternehmensinteressen zu.

Das Ziel des Unternehmens ist es seitdem, über die Lebensarbeitszeit der Beschäftigten hinweg so viel wie möglich aus dem menschlichen Produktionsfaktor herauszuholen. Da die Arbeitnehmer für Toyota bedeutende Fixkosten verursachen, ist es sinnvoll, ihre Fähigkeiten kontinuierlich zu verbessern und ihr Wissen, ihre Erfahrung und ihre Muskelkraft zu nutzen [Womack 1992].

Ein weiteres inhaltliches Prinzip ist die Gestaltung der gesamten Wertschöpfungskette vom Lieferanten über den Produzenten bis zum Abnehmer als integriertes Supernetzwerk. Auch dieses Prinzip hat seinen Ursprung bei Toyota. Für das japanische Unternehmen waren ein Nachfrageanstieg im Jahr 1950 und Probleme im Zulieferprozess die Auslöser dafür, das Zuliefersystem integriert zu gestalten. Toyota richtete nach den Grundsätzen der schlanken Produktion ein neues System der Komponentenzulieferung ein. Die Produktentwicklung wurde den Tier-1-Lieferanten übertragen. Sie erhielten als Vorgaben lediglich Leistungsspezifikationen und waren selbst für die Konstruktionsentscheidungen verantwortlich.

Zudem wurden die Tier-1-Lieferanten dazu ermutigt, untereinander Informationen zur Verbesserung des Produktionsprozesses auszutauschen. Die Tier-2-Lieferanten wurden zu Fertigungsspezialisten ohne Konstruktionsfachwissen. Sie waren den Tier-1-Lieferanten untergeordnet und in Zulieferverbänden organisiert. Es wurden Verflechtungen auf Kapitalbasis aufgebaut. Die Zulieferer beteiligten sich untereinander am Kapital, und Toyota agierte als Bank, indem diese ihnen Finanzierungskredite gewährte.

Die Verbindungen wurden auch auf der Personalebene verstärkt, da sich Toyota mit den Lieferanten Arbeitskräfte teilte. Einerseits unterstützten Toyota-Mitarbeiter die Zulieferer bei Fertigungsspitzen, andererseits transferierte Toyota leitende

Angestellte in Führungspositionen seiner Lieferanten [Womack 1992]. So wurden die Zulieferer auf mehrere Arten eng miteinander und mit Toyota verbunden.

Das dritte inhaltliche Prinzip besagt, dass das Netzwerk als lernendes System zu gestalten ist. Um dieses Prinzips umzusetzen, wird bei Toyota wie folgt vorgegangen: Das Unternehmen motiviert seine Zulieferer dazu, den KVP zu „leben“ und das gesamte Netzwerk dem Kaizen-Gedanken gemäß zu gestalten. Dafür wird bereits im Voraus gemeinsam eine Kostensenkungskurve über den Produktionszyklus des Produkts festgelegt.

Die Besonderheit daran ist, dass jede erreichte Einsparung, die über die Vereinbarung hinausgeht, voll dem Zulieferer zugutekommt. Dadurch werden die Teilnehmer eines schlanken Zuliefersystems zu schnellen und kontinuierlichen Verbesserungen ermutigt [Womack 1992].

Das letzte Prinzip ist die integrierte Betrachtung von Produkt und Produktionsverfahren. Das Ziel dessen ist, bereits bei der Konstruktion des Produkts das Produktionsverfahren zu berücksichtigen.

### **5.2.4 Prinzipien nach Liker**

„TPS ist kein Werkzeugkasten. Es ist kein Set an schlanken Instrumenten wie JIT, Zellen, 5S, Kanban etc.“ [Liker 2004]. Innerhalb des TPS werden nicht die Instrumente, sondern die Menschen in den Mittelpunkt gestellt – die Werkzeuge dienen lediglich der Unterstützung der Umsetzung der Toyota-Prinzipien. Liker beschreibt diese 14 Prinzipien, unterteilt in vier große Kategorien, die den Toyota-Weg ausmachen, wie folgt [Liker 2004].

#### **Kategorie: langfristige Philosophie**

Das erste Prinzip soll verdeutlichen, dass eine langfristige Philosophie die Grundlage für alle Managemententscheidungen sein soll, selbst wenn dies zulasten kurzfristiger wirtschaftlicher Ziele geht. Bei Toyota ist alles Handeln auf Langfristigkeit angelegt. Ihre Tätigkeit soll Werte für die Kunden und die Gesellschaft schaffen. Dieses erklärte Ziel liefert den Antrieb zum Aufbau einer lernenden Organisation, die sich den wechselnden Umweltbedingungen anpassen und so langfristig überleben kann. Allein dieses tragfähige Fundament rechtfertigt Investitionen in kontinuierliche Verbesserung und unaufhörliches Lernen.

**Kategorie: der richtige Prozess führt zu den richtigen Ergebnissen**

Hinter dieser Zusammenfassung stecken sieben Prinzipien, welche die konsequente Prozessorientierung von Toyota beschreiben. Die Grundlage des zweiten Prinzips ist die Schaffung von Fließprozessen, um Probleme im Ablauf zu erkennen. Deshalb sind alle Prozesse auf den kontinuierlichen Einzelstückfluss (One-Piece-Flow) auszulegen. Nach Liker ist der Materialfluss in einem bestimmten, konstant bleibenden Rhythmus der Schlüssel für gute Qualität bei minimalen Kosten [Liker 2004].

Um Überproduktion und Überlieferung zu vermeiden, sind verbrauchsgesteuerte JIT-Versorgungs-Strategien im Pull-Prinzip umzusetzen (drittes Prinzip). Das Ziel ist es, den Kunden – damit ist der nächste Prozess gemeint – zu beliefern mit dem, was dieser benötigt, wann dieser es benötigt und mit der Menge, die dieser benötigt. Um dies zu erleichtern, ist durch Nivellierung und Glättung des Produktionsprogramms eine ausgeglichene Produktionsauslastung der Mitarbeiter vorzusehen (viertes Prinzip).

Die Maxime des fünften Prinzips zielt auf eine nachhaltige Qualitätserzeugung anstelle einer Kultur der Nachbesserung. Dabei bilden bewusstseinsfördernde Maßnahmen, moderne QS-Methoden und eine selbststeuernde Fehlererkennung (Jidōka) die Grundlagen für prozessimmanente Qualität. Förderlich ist hierbei des Weiteren die Einführung standardisierter Arbeitsschritte mit dem Ziel einer kontinuierlichen Verbesserung. Das Ziel ist es nicht, den „einen richtigen“ Weg zu finden und „einzufrieren“. Vielmehr soll erreicht werden, durch Standards die Mitarbeiter in ihrer Individualität und Kreativität zu stärken und ihnen ihre Arbeit zu erleichtern, so dass diese die Standards ständig weiterentwickeln und verbessern (sechstes Prinzip).

Im siebenten Prinzip sollen einfache visuelle Kontrollmechanismen die Mitarbeiter bei ihrer Prozessbewertung unterstützen. Dabei gilt es, einfache Methoden ohne IT-Systemunterstützung zu finden, die Ergebnisse und vor allem Abweichungen visualisieren. Hinsichtlich des Technologieeinsatzes bedeutet dies, dass nur zuverlässige, gründlich getestete Verfahren zum Einsatz kommen sollten. Dabei ist Technik nur einzusetzen, um den Menschen zu unterstützen, und nicht, um ihn zu ersetzen (achtes Prinzip).

### **Kategorie: Generieren Sie Mehrwert für Ihre Organisation, indem Sie Ihre Mitarbeiter und Geschäftspartner entwickeln**

Die letzte Kategorie beschäftigt sich mit dem nach Liker wesentlichsten Element innerhalb des TPS – dem Menschen. Der Mensch ist der Schlüsselfaktor auf dem Weg zur Realisierung eines schlanken, flexiblen und Durchlaufzeitorientierten Produktionssystems. Im neunten Prinzip geht es darum, aus den eigenen Reihen heraus Führungskräfte zu entwickeln, welche die Prozesse genau kennen und verstehen. Durch das Vorleben der Unternehmensphilosophie wird implizit permanent Wissen vermittelt.

Die Entwicklung herausragender Mitarbeiter und Teams wird am zehnten Prinzip verdeutlicht. In diesem Prinzip bezieht sich Liker unter anderem auf die Maslowsche Bedürfnispyramide und behauptet, dass Menschen immer ein Grundbedürfnis nach Sicherheit und Zugehörigkeitsgefühl hätten [Robbins 2001]. Darauf aufbauend müsse eine starke und stabile Unternehmenskultur Werte und Philosophien vermitteln. Auf dieser Grundlage solle das Unternehmen mithilfe zu erlernender Teamarbeit Mitarbeiter mit hohen Potentialen trainieren, damit diese außergewöhnliche Leistung erbringen.

Das elfte Prinzip erweitert den Kreis auf die Geschäftspartner und Zulieferer. Sie sollten als wesentliche Bestandteile des Unternehmens wahrgenommen werden, was die Förderung und Unterstützung der Lieferanten beinhaltet, um die Produktivität in den verschiedensten Bereichen zu verbessern.

### **Kategorie: die kontinuierliche Beseitigung der Problemursachen ist der Motor für organisationsweite Lernprozesse**

Als „Genchi Genbutsu“ wird die Notwendigkeit bezeichnet, Probleme an der Wurzel anzupacken und sich zum Verständnis von Prozessen an den Ort des Geschehens zu begeben. Dies gilt auch oder insbesondere für das Management. Im 13. Prinzip geht es darum, Entscheidungen zu treffen. Auch in diesem Punkt unterscheidet sich Toyota wesentlich von westlichen Unternehmen. Dabei gilt es, sich zur Lösung von Problemen intensiv mit Alternativen zu beschäftigen. Die Lösungen sollten dabei mit allen Beteiligten erarbeitet werden, was wiederum die Grundlage für eine schnelle Umsetzung bildet.

Im letzten der 14 Prinzipien beschreibt Liker den Weg zu einer wahrhaft lernenden Organisation durch unermüdliche Selbst-Reflexion (Hansei) und kontinuierliche Verbesserung (Kaizen). Die Entwicklung von Prozessen, die keinen Lagerbestand

erfordern, macht Verschwendung sichtbar, die durch Kaizen beseitigt werden muss. Anhand von Wegmarken innerhalb eines Projekts erfolgt die Offenlegung aller Defizite, um diese in den folgenden Projekten zu vermeiden. Durch die Erhebung von „Best-Practice“ zum Standard erfolgt kontinuierliches Lernen im Unternehmen.

### 5.2.5 Prinzipien nach Womack/Jones

Womack und Jones, die Begründer des Begriffs „lean“ (vgl. dazu Abschnitt 5.1), definieren in „Lean Thinking“ („Auf dem Weg zum perfekten Unternehmen“) fünf Prinzipien, um eine schlanke Produktion zu erreichen [Womack 2003]:

- value (englisch, Wert)
- value stream (englisch, Wertstrom)
- flow (englisch, Fluss)
- pull (englisch, Zug)
- perfection (englisch, Perfektion)

Lean-Management bedeutet, „Werte ohne Verschwendung [zu] schaffen“ [Womack 2003]. Das Ziel ist es, alle Aktivitäten, die für die Wertschöpfung notwendig sind, optimal aufeinander abzustimmen, und überflüssige Tätigkeiten zu vermeiden. Dazu gilt es, ein bestehendes System aus zwei Perspektiven zu überprüfen und zu verbessern: aus Sicht des Kunden, dessen Wünsche nach Verfügbarkeit, Individualität, Qualität und Preisgestaltung es möglichst optimal zu erfüllen gilt, und aus Sicht des Unternehmens selbst, das profitabel funktionieren und seine Wettbewerbsfähigkeit verbessern muss. Um den Kundennutzen zu erhöhen, muss der **Wert** eines Produkts daher durch dessen Wert aus Kundensicht definiert werden (erstes Prinzip).

Aus der Perspektive des Kunden ist dies letztlich der Grund dafür, dass es Hersteller gibt. Grundlegend bei dieser Neuorientierung ist das Lösen von traditionellen Denkansätzen wie dem Denken in „economies of scale“ (Mengenvorteilen). Dazu müssen die Prozesse identifiziert werden, die den Wert des Produkts erhöhen. Der Wert des Produkts wird immer dann erhöht, wenn der Kunde bereit ist, für den entsprechenden Prozessschritt zu bezahlen. Dies bezeichnet Womack in Anlehnung an das TPS als Wertschöpfung. Alle nichtwertschöpfenden Tätigkeiten werden als Verschwendung (japanisch „Muda“)

definiert und sollten so weit wie möglich reduziert werden, da der Kunde nicht bereit ist, dafür zu bezahlen.

Es gibt zwei Arten der Verschwendung: nichtvermeidbare und vermeidbare. Tätigkeiten, die nicht zur Wertschöpfung beitragen, aber aus gegebenen Anlässen erledigt werden müssen, stellen zwar aus Kundensicht eine Verschwendung dar, sind aus Unternehmenssicht aber erforderlich. Hierzu zählt z. B. das Einlegen von Teilen in eine Maschine oder das Umrüsten auf eine andere Produktvariante. Alle anderen Tätigkeiten, die nicht zur Wertschöpfung beitragen, sind vermeidbare Verschwendung. Ohno entwickelte sieben Arten der Verschwendung:

1. Überproduktion: Werden mehr Teile produziert, als der Kunde tatsächlich benötigt, so spricht man von Überproduktion. Dies betrifft die Menge, Art und Liefersequenz. Ohno bezeichnet Überproduktion als „schlimmste Art der Verschwendung“, weil diese alle anderen Arten der Verschwendung nach sich ziehe. Die Ursachen von Überproduktion sind vielfältig: Einerseits werden teure Maschinen meist mit hoher Auslastung betrieben, um „wirtschaftlich“ zu arbeiten. Andererseits entsteht Überproduktion durch Sicherheitsreserven. Statt Sicherheitsbestände anzuhäufen, sollten die Probleme, die zu hohen Beständen führen, beseitigt werden.
2. Bestände: Bestände werden in drei Kategorien eingeteilt werden, wobei jede Kategorie aufgrund typischer Denkweisen entsteht.
  - Rohmaterial: Lagerhaltung von Rohmaterial wird durch Mengenrabatte oder geringere Transportkosten gerechtfertigt. Diesen Einsparungen müssen aber Lagerhaltungskosten, mögliche Änderungen der Kundenanforderungen oder Qualitätsprobleme gegenübergestellt werden.
  - Bestände im Prozess: Die in vielen Unternehmen vorherrschenden funktionalen Layouts führen zu „Inseln“ im PP. Da jede Insel nach ihrer eigenen optimalen Losgröße arbeitet, um die Auslastung von Mensch und Maschine zu optimieren, werden Bestände zwischen den einzelnen Stationen aufgebaut.
  - Fertige Produkte: Diese Art der Verschwendung entsteht durch mangelndes Vertrauen in die Lieferfähigkeit. Um dennoch je-

derzeit jedes Produkt liefern zu können, wird ein Lager aufgebaut. Ein weiterer Grund dafür sind saisonbedingte Schwankungen: Zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Maschinenauslastung wird das Fertigteillager aufgefüllt.

3. Transportbewegungen: Aus Kundensicht trägt der Transport von Produkten, Material und Mitarbeitern nicht zur Wertschöpfung bei. Die Hauptgründe für Transporte liegen in nichtzusammenhängenden Fertigungsprozessen und Überproduktion. Durch die Fertigungsinseln wird es nötig, Material von einem Prozess zum nächsten zu bringen oder vorübergehend in Zwischenlagern zu deponieren. Durch Überproduktion werden Materialien unnötig bewegt, damit man an nicht sofort zugängliche Teile gelangen kann.
4. Wartezeiten: Diese Art der Verschwendung betrifft Prozesse, in denen Ressourcen nach einem Prozessschritt (z. B. Mitarbeiter nach der Bestückung einer Maschine) warten.
5. Prozessgestaltung: Für die Prozessgestaltung beschreibt Ohno zwei Ursachen. Einerseits können zusätzliche Prozesse dadurch entstehen, dass der ursprüngliche Prozess nicht fähig ist, das gewünschte Ergebnis zu erreichen. Andererseits kann es zu Verschwendung kommen, wenn die Leistungsfähigkeit von Prozessen und Anlagen nicht ausgenutzt wird.
6. Bewegungsabläufe: Beispiele für Bewegungsabläufe sind Werkzeuge und Materialien, die nicht griffbereit sind; unnötiges Gehen, Drehen oder Strecken; zu schwere oder unhandliche Werkzeuge oder Materialien.
7. Fehlerhafte Produkte: Sie führen zu unnötigem Aufwand, ineffektiver Nutzung von Ressourcen und Qualitätsproblemen. Neben dem Aufwand für Nacharbeit kann es auch zu Kundenreklamationen kommen, die dem Ansehen des Unternehmens schaden.

Das zweite Prinzip besteht darin, den **Wertstrom** eines Produkts von der Bestellung bis zur Übergabe an den Kunden zu identifizieren. Der Wertstrom besteht aus allen erforderlichen spezifischen Tätigkeiten, um ein bestimmtes

Produkt durch die drei entscheidenden Managementaufgaben in jedem Unternehmen zu führen [Womack 2003]:

- die Produktentwicklung, die vom Konzept über die Konstruktion und die Produktionsvorbereitung bis zum Produktionsanlauf reicht
- das Informationsmanagement, das von der Bestellung über die genaue Terminierung bis zur Auslieferung reicht
- die physikalische Transformation vom Rohmaterial bis zum fertigen Produkt in den Händen des Kunden

Das Ziel durch die Aufnahme des Wertstroms ist es, durch Schaffung von Transparenz der Prozesse Verschwendung über Prozess- und Unternehmensgrenzen hinweg zu erkennen. Die Wertstromanalyse<sup>1</sup> ist ein Werkzeug, das dabei hilft, die Material- und Informationsflüsse bei der Wertschöpfung eines Produkts zu verstehen und zu verbessern [Rother 1999]. Elementar bei der Wertstromanalyse sind die Ermittlung des Kundenbedarfs und die Kundenperspektive auf die Prozesse. Ihre Ziele sind:

- Schaffung von Transparenz der Informations- und Materialflüsse
- Identifikation von Verschwendung und Wertschöpfung
- Fokussierung auf die Aktivitäten, die zur Erstellung eines Werts für den Kunden notwendig sind
- ganzheitliche und nicht lokale Optimierung der Prozesse

Diese Methode entstammt dem TPS, wo diese den Mitarbeitern als Kommunikationsmittel zur Darstellung von Ist- und Soll-Zuständen dient. Rother und Shook beschreiben diese formalisiert [Rother 1999]. Bei der Erstellung des Wertstromdiagramms werden einheitliche Symbole verwendet (vgl. z. B. [Rother 1999]). Einen Auszug wichtiger Symbole zeigt Abbildung 5-4.

---

<sup>1</sup> Während in Literatur und Praxis teilweise eine starke begriffliche Trennung zwischen Wertstromanalyse und dem sich anschließenden Wertstromdesign gemacht wird, werden vor allem in US-amerikanischen Fachbüchern die Begriffe „Value Stream Mapping“ und „Value Stream Design“ zu einem großen Teil synonym verwendet, da es sich letztlich um dasselbe Werkzeug handelt.

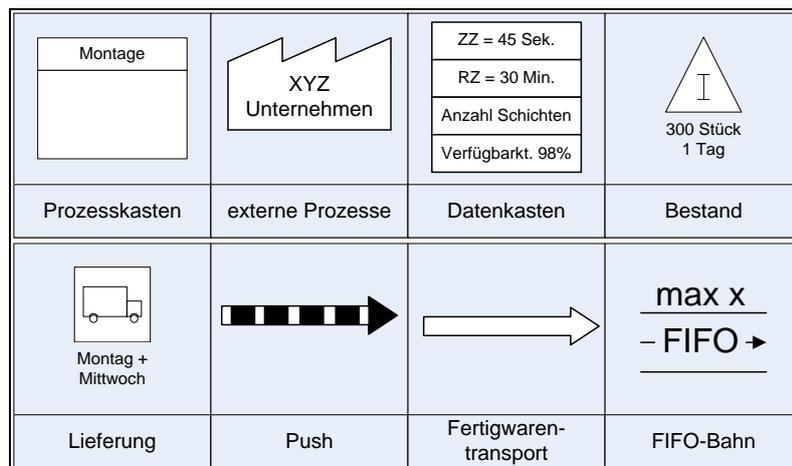


Abbildung 5-4: Wichtige Symbole der Wertstromanalyse [Bauer 2008]

Die Aufnahme des Wertstroms erfolgt für ein Produkt oder eine Produktfamilie durch die Dokumentation der Prozesse sowie der Material- und Informationsflüsse „flussaufwärts“, vom Kunden zum Lieferanten. Die Prozessdaten werden ausschließlich durch Vor-Ort-Beobachtungen gewonnen („go & see“). Insbesondere werden Stillstände des Materials im Produktionsfluss erfasst. Pufferbestand wird in Form eines Warndreiecks gekennzeichnet und die Verweildauer des Materials als Bestandsreichweite nach Little's Law berechnet, entsprechend (Gl. 3-19).

In der Wertstromdarstellung setzt sich der innerbetriebliche Materialfluss aus Transportieren und Lagern zusammen, wobei das Handhaben vernachlässigt wird. Die logistischen Verknüpfungen zwischen den einzelnen Produktionsschritten werden durch Materialflusspfeile repräsentiert, die von Bestandssymbolen überlagert werden können. Die Art des Pfeils gibt Auskunft darüber, ob der Materialfluss nach dem Push- oder dem Pull-Prinzip oder mithilfe einer FIFO-Bahn funktioniert. Eine weitere Detaillierung und Differenzierung der logistischen Tätigkeiten und der verwendeten Fördertechnik finden üblicherweise nicht statt.

Abbildung 5-5 gibt das Ergebnis einer exemplarischen Wertstromanalyse einer einfachen Produktion eines Produkts in vier Teilprozessen, deren Versorgung und den Fertigteileversand wieder. Um die Entwicklung des Soll-Wertstroms zu fördern, ist es sinnvoll, das erkannte Verbesserungspotential mit sogenannten Kaizen-Blitzen zu kennzeichnen. Im Beispiel betrifft das erkannte Verbesserungspotential die hohen Bestände in den Puffern, fehlende Schrittmacherprozesse und eine aufwendige Push-Steuerung.

## 5 Definition schlanker Produktionssteuerung

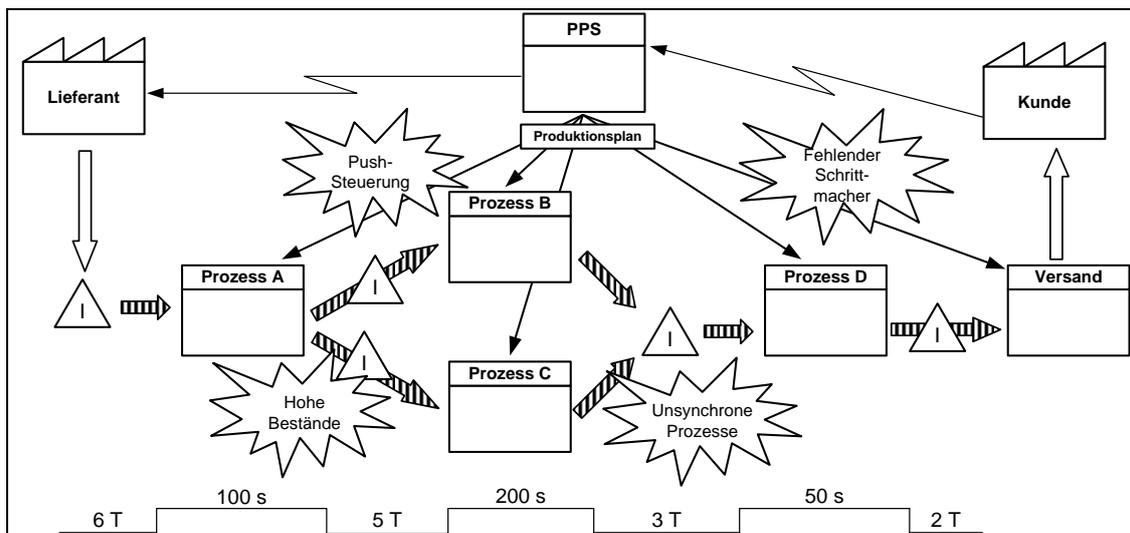


Abbildung 5-5: Exemplarischer Ist-Wertstrom [Meißner 2009a]

Der Vorteil der Wertstromanalyse ist die einfache und intuitive Möglichkeit der Prozessaufnahme und -darstellung, die sich besonders zur Verwendung im operativen Umfeld eignet.

Nach der Definition des Werts aus Kundensicht, Aufnahme des Wertstroms für ein bestimmtes Produkt und Beseitigung vermeidbarer Prozessschritte erfolgt die Planung und Implementierung des dritten Prinzips auf dem Weg zu einem schlanken Unternehmen. Die verbleibenden Schritte des Wertstroms werden so angeordnet, dass sich das Werkstück ohne unnötige Unterbrechungen von einem wertschöpfenden Prozessschritt zum nächsten bewegt, bis es am Ende der Produktion beim Kunden ankommt. Dies wird als **fließende Produktion** („flow“) bezeichnet.

Ford und seine Mitarbeiter erkannten als Erste das Potential eines fließenden Ablaufs. Ford reduzierte den Arbeitsaufwand für die Montage des T-Modells im Frühjahr 1913 um 90 %, indem dieser in der Endmontage zu einem kontinuierlichen Ablauf überging [Womack 2003]. Dazu brachte dieser alle für die Produktion notwendigen Maschinen in die richtige Reihenfolge und verkettete diese durch ein Fließband. Dadurch konnten in wenigen Jahren über zwei Millionen identische T-Modelle montiert werden.

Ohno und Shingo kamen nach Ende des zweiten Weltkriegs zu dem Entschluss, dass die wirkliche Herausforderung darin bestehe, bei der Produktion kleiner

Losgrößen für einen kontinuierlichen Fluss zu sorgen, weil diese kleinen Lose den größten Teil der menschlichen Bedürfnisse abdecken [Womack 2003]. Infolge der Marktveränderungen steht diesen Herausforderungen heute der Großteil der Unternehmen gegenüber. Die Umsetzung eines kontinuierlichen Flusses unter diesen neuen Bedingungen kann nur erreicht werden, wenn

- alle Arbeitssysteme mit den gleichen Taktzeiten produzieren,
- Rüstvorgänge vermieden oder schnell durchgeführt werden können und
- stabile Prozesse ohne Störungen vorliegen.

Störungen im Produktionsprozess sind auf den ersten Blick nur schwer zu erkennen, was häufig daran liegt, dass die Probleme durch ausgefeilte Mechanismen verdeckt und verschleiert werden. Zwei dieser Mechanismen sind Lager und Bestände, die beseitigt werden müssen, da den Fluss der Teile behindern [Wildemann 2001]. Bestände kaschieren Probleme und sind ihrerseits ein Ursprung großer Verschwendung. Puffer verdecken störanfällige Prozesse, unabgestimmte Kapazitäten, mangelnde Flexibilität, Ausschuss und mangelnde Liefertreue [Womack 2003]. Nach Wildemann stellen **Bestände** dementsprechend ungenutzte Kapazitäten dar, da diese Kapital in Umlauf- statt in Anlagevermögen binden [Wildemann 2001].

Das Ziel einer schlanken Fertigung muss es daher sein, die Lager und Bestände schrittweise auf ein absolutes Minimum zu reduzieren und eine „fließende Produktion“ einzuführen. Die Synchronisation der Kapazitäten und Taktzeit, die Senkung der Bestände, die Reduzierung der Rüstzeiten und die Minimierung der Transport- und Liegezeiten ermöglichen die Umsetzung des Fließprinzips [Takeda 2004]. Durch diese synchronisierte Fließfertigung kann der Anteil von Stillständen an der Durchlaufzeit verringert werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Produkte möglichst verschwendungsarm produziert werden.

Eine weitere Anforderung an eine synchrone, kontinuierliche Fließfertigung ist die Umsetzung der Produktions-Zykluszeit im Kundentakt. Als Kundentakt wird bei Toyota die ideale Zykluszeit verstanden, die für die Herstellung eines Werkstücks oder einer Einheit vorgesehen ist. Der Kundentakt wird durch die vom Markt und Kunden bestimmte Produktionsmenge und die zur Verfügung stehende Betriebszeit determiniert [Ohno 1993]. Somit ist der Kundentakt der vom Kunden vorgegebene Zeitrahmen, der für die Produktion eines Teils in einem Prozessschritt zur

## 5 Definition schlanker Produktionssteuerung

Verfügung steht [Takeda 2004]. Sowohl eine zu schnelle als auch eine zu langsame Produktion sind dabei unzulässig. Abbildung 5-6 stellt die Synchronisation von Zykluszeit und Kundentakt durch Leistungsabstimmung exemplarisch dar.

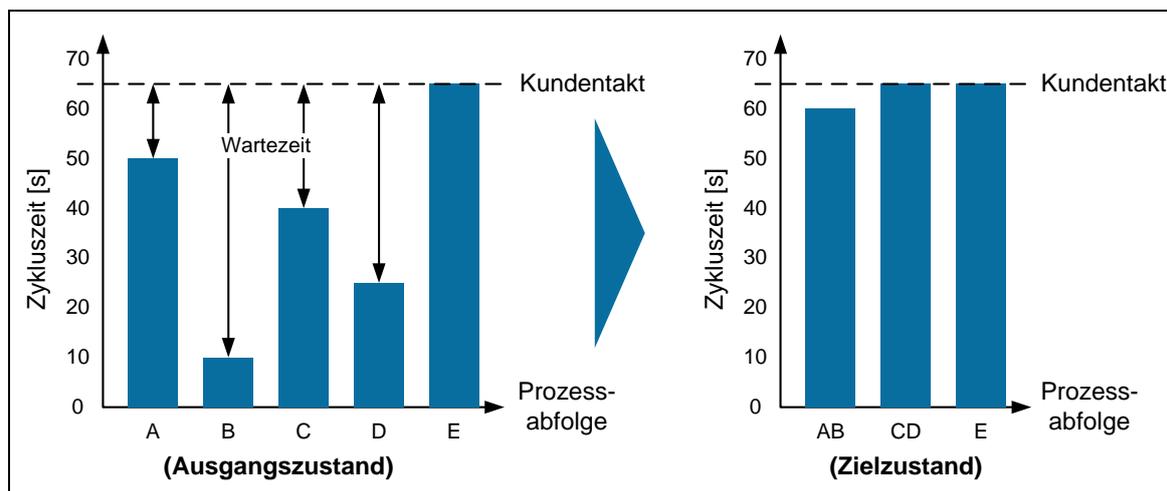


Abbildung 5-6: Prozesssynchronisation (in Anlehnung an [Bauer 2008])

Durch die **Einführung eines Pull-Systems** (siehe dazu Abschnitt 4.3.2.1) wird zusätzlich sichergestellt, dass nur die Produkte hergestellt werden, die vom Kunden auch nachgefragt werden (viertes Prinzip). Der Anstoß für die Produktion muss zwingend vom Ende des Wertstroms, also vom Kunden ausgehen.

Das fünfte, letzte Prinzip des Lean-Manufacturings nach Womack und Jones ist das **Anstreben von Perfektion** durch kontinuierliche Verbesserung. Dabei kann die Optimierung radikal (japanisch „Kaikaku“) oder schrittweise (japanisch „Kaizen“) erfolgen. Perfektion kann man nie erreichen, sondern nur anstreben. Der KVP und der Punkt-Kaizen sind Methoden, durch welche die Mitarbeiter fortlaufend dazu aufgefordert werden, die Abläufe zu hinterfragen und Ideen einzubringen [Womack 2003]. Die Voraussetzung auf dem Weg zur Perfektion ist das Durchlaufen oder Umsetzen der vier zuvor beschriebenen Prinzipien.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass eine Produktion nur dann wirklich schlank ist, wenn alle genannten Prinzipien befolgt werden [Womack 2003].

### 5.3 Kriterien einer schlanken Produktionssteuerung

In diesem Abschnitt gilt es zunächst, als Grundlage für die Konfiguration von schlanken Produktionssteuerungsverfahren in dieser Arbeit Kriterien oder Merkmale zur Beschreibung von „lean“ oder „schlank“ zu definieren. Nachdem in der Literatur keine für diese Arbeit sinnvolle oder allgemeingültige Aggregation vorhanden ist, wird diese im Folgenden erarbeitet.

Die zentrale Aufgabe der Produktionssteuerung ist die operative PP-Planung und -steuerung im produktionslogistischen Regelkreis. Dementsprechend sind die Merkmale, die für eine Definition der schlanken Produktionssteuerung in der weiteren Untersuchung notwendig sind, nach ihrem operativen Prozesscharakter zu kategorisieren. Darüber hinaus werden prozessübergeordnete Merkmale ebenfalls zusammengefasst. Daraus ergibt sich die Unterscheidung in

- Aktions- oder Prozessmerkmale und
- Gestaltungs- oder Perspektivenmerkmale.

Im Folgenden werden zunächst die Aktions- oder Prozessmerkmale herausgearbeitet. Trotz der teilweise kontroversen Diskussion über die Ausprägungen der schlanken Produktion in der Literatur gibt es zahlreiche „fundamentale“ Übereinstimmungen.

Zu nennen ist allen voran das Ziel schlanker Systeme, ohne Ressourcenreserven in Form von Arbeitskräften oder Material auszukommen. Dieses Ziel ist gleichzusetzen mit der konsequenten **Reduzierung nichtwertschöpfender Tätigkeiten** (erstes Merkmal), beschrieben mit den sieben Arten der Verschwendung des TPS (Überproduktion, Bestände, Transport, Wartezeiten, Prozessgestaltung, Bewegungsabläufe, fehlerhafte Produkte). Die Basis dafür sind die Definition des Werts eines Produkts aus Kundensicht und die Identifikation des Wertstroms.

Das zweite Merkmal, über das Einigkeit herrscht, beschreibt das Erfordernis der Kundenorientierung auf allen internen und externen Wertschöpfungsstufen. Der **Kundenbedarf ist ausschließlicher Auslöser der Produktion**. Damit einher geht die allgemeine Forderung der Literatur nach **Umsetzung eines Pull-System** (drittes Merkmal) im gesamten Wertschöpfungsprozess. Die kennzeichnenden Eigenschaften wurden nach Hopp in Abschnitt 4.3.1.1 beschrieben [Hopp 2000].

Gemeinsam mit dem vierten Merkmal „**Implementierung eines kontinuierlichen FIFO-Flusses bei kleinen Losgrößen durch Taktung im Kundentakt**“ sind diese Eigenschaften die Eckpfeiler einer JIT-Produktion. schlanke Produktionssysteme müssen nach Ansicht des Großteils der Lean-Experten des Weiteren das **Glättung und Nivellierung ermöglichen** oder unterstützen, um so eine ausgeglichene Produktionsauslastung zu realisieren (fünftes Merkmal). Diese Form der Fertigung ist nach Yagyu die kostengünstigste und effektivste Methode der Produktion von Gütern.

Ein weiteres Kernelement des Lean-Managements ist die **dezentrale Verantwortung und Steuerung der täglichen Produktionsaktivitäten durch die operativen Produktionsmitarbeiter** (sechstes Merkmal). Durch die hohe Selbstverantwortung der Mitarbeiter können flache Hierarchie im Unternehmen sichergestellt werden. **Kontrollmechanismen** in visueller Form für Mitarbeiter („visual management“) oder in technischer Form für Maschinen (Jidōka) **sorgen für Transparenz von Abweichungen/Störungen** und stellen die Zuverlässigkeit von Prozessen sicher (siebentes Merkmal).

Konsens herrscht in der Literatur auch über die Anforderungen an schlanke Unternehmen bei der Art der Prozessoptimierung. Über **kontinuierliche, nicht endende Verbesserungen**, insbesondere durch Produktionsmitarbeiter wird Perfektion in allen Prozessen angestrebt und der Standard immer wieder neu definiert (achtes Merkmal). Dies bildet die Grundlage für den Aufbau einer lernenden, adaptiven Organisation. Ein weiteres, von allen Experten als übergeordnet angesehenes Differenzierungsmerkmal schlanker Organisationen ist die **Sachorientierung** anstelle der Wertorientierung (neuntes Merkmal). Zur Steuerung von Prozessen werden keine monetären Werte, sondern Kriterien wie Qualität, Durchlaufzeit, Produktivität und Bestände in Form von Zielgrößen verwendet.

Die **Reduzierung der Zielgröße der Durchlaufzeit** vom Auftragseingang bis zur Bezahlung gilt neben „best quality“, „best safety“ und „high morale“ als erklärte Maxime (zehntes Merkmal). In den genannten Randbedingungen der „best safety“ und „high morale“ sind weitere, vor allem in der neueren Literatur beschriebene Merkmale von Lean-Enterprises enthalten. Diese nicht prozess- oder aktionsspezifischen Kriterien beziehen sich auf allgemeine, teils übergreifende Gestaltungsaspekte im und Perspektiven auf das Unternehmen (Gestaltungs- oder Perspektivenmerkmale).

Ein wesentlicher Punkt dessen ist die Integration aller Wertschöpfungspartner entlang der Kette, in erster Linie der Mitarbeiter. Pfeiffer bezeichnet dies als Perspektivenwechsel vom Sach- zum Humanvermögen, bei dem die **Nutzenmaximierung der Arbeitskraft der Mitarbeiter** im Vordergrund steht (elftes Merkmal). Erweitert wird dieses Prinzip der **Integration** und Entwicklung auf das **Zuliefernetzwerk** in der Gestaltung sogenannter Supernetzwerke (zwölftes Merkmal) und der **Einbindung der Produktion vorgelagerter Bereiche**, z. B. bei der fertigungskonformen Produktentwicklung (13. Merkmal).

Das 14. Merkmal bildet sozusagen eine Klammer über alle Unternehmensaktivitäten. Die Grundlage jeder Managemententscheidung sollte eine **langfristige Philosophie der Schaffung von Werten** für die Kunden und die Gesellschaft sein, selbst wenn dies zulasten kurzfristiger wirtschaftlicher Ziele geht. In Abbildung 5-7 sind die Kriterien zur Beschreibung einer schlanken Produktion visuell zusammengefasst.

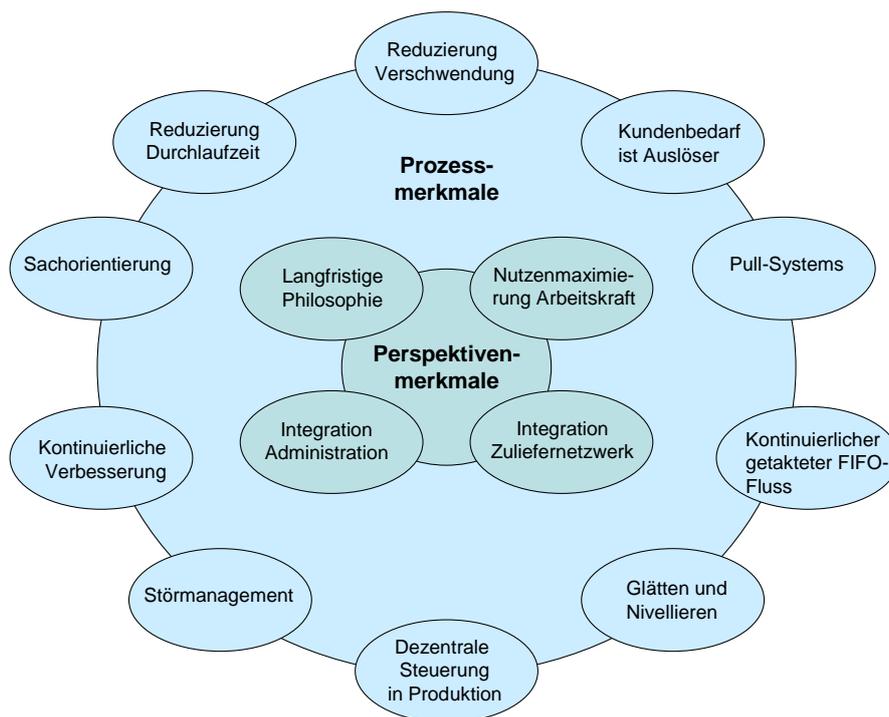


Abbildung 5-7: Merkmale einer schlanken Produktion

Für die zu untersuchende Fragestellung zu einer schlanken Produktionssteuerung sind, wie bereits erörtert, primär Aktions- oder Prozessmerkmale relevant, weil diese einen direkten Einfluss auf die operativen Prozesse und über die

## 5 Definition schlanker Produktionssteuerung

Auftragserzeugung, -freigabe, Reihenfolgenbildung/-steuerung und Kapazitätssteuerung somit auch auf die Konfiguration der PPS haben.

Anhand einer systematischen Bewertung der erarbeiteten Prozessmerkmale einer schlanken Produktion wird nachfolgend die Relevanz für die Fertigungssteuerung ermittelt. Dabei wird unterschieden zwischen Merkmalen/Kriterien, die eine Produktionssteuerung zwingend aufweisen/erfüllen (Primär-Merkmal - PM) muss, da diese unmittelbar durch die Konfiguration festgelegt werden, und Merkmalen, die nicht direkt durch die Fertigungssteuerung definiert werden und somit lediglich eine Unterstützung (Sekundär-Merkmal - SM) auf dem Weg zu einer schlanken Produktion ermöglichen. Auch hier gilt die Sichtweise, dass die Produktionssteuerung an sich nicht nur „schlank“ sein muss, sondern eine Enabler-Funktion auf dem Weg zur Lean-Production besitzt.

(Prozess-) Merkmal	Relevanz für Produktionssteuerung	Merkmaltyp
1. Reduzierung Verschwendung <ul style="list-style-type: none"> <li>Überproduktion</li> </ul>	Über die Auflösungsart der Auftragserzeugung wird die Kundenauftrags- oder Lagerfertigung durch die Produktionssteuerung festgelegt. Zur Vermeidung von Überproduktion muss jeder Prozess strikt nach Kundenbedarf fertigen.	PM
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bestände</li> </ul>	Eine Einflussmöglichkeit der Produktionssteuerung auf Rohmaterialbestände ist nicht vorhanden. Auf Bestände im Prozess (WIPs) und Fertigwaren-Bestände besteht ein direkter Einfluss. Über die Auftragsfreigabe, im Besonderen die Auslösungslogik kann die WIP gesteuert werden. Um diese konstant zu halten, wird ein neuer Fertigungsauftrag ereignisorientiert erst nach Fertigstellung des vorherigen Auftrags freigegeben. Ebenfalls ist es über das Kriterium der Auftragsfreigabe möglich, den Fertigwaren-Bestand zu beeinflussen.	SM PM  PM

### 5.3 Kriterien einer schlanken Produktionssteuerung

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transport</li> <li>• Proz.gestaltung</li> <li>• Bew.abläufe</li> <li>• fehlerh. Prod.</li> </ul>	Keine direkte Relevanz für die Produktionssteuerung	SM
2. Kundenbedarf ist Auslöser für Produktion	Über die Auflösungsart der Auftragserzeugung wird die Kundenauftrags- oder Lagerfertigung durch die Produktionssteuerung festgelegt. Für eine schlanken Produktionssteuerung darf ausschließlich ein Kundenbedarf Auslöser der Produktion sein.	PM
3. Pull-System	Die Relevanz zur Erfüllung der 1. Eigenschaft eines Pull-Systems (Auftragsauslösung durch einen Kundenbedarf gegen Materialflussrichtung) wurde oben bereits erörtert. Die Einsteuerung von Aufträgen ohne expliziten Endtermin oder Auftragsnummer wird ebenfalls ausschließlich durch die Fertigungssteuerung, konkret über das Kriterium der Auftragsfreigabe festgelegt. Eine Output-Input-Kopplung, also eine feste Synchronisation von Input durch den Output zur Bestandsbeschränkung kann, wie oben bereits beschrieben, allein durch das Steuerungssystem erfolgen.	PM
4. kontinuierlicher, getakteter FIFO-Fluss	<p>Das FIFO-Prinzip als Prioritätsregel im Produktionsprozess wird von der Reihenfolgensteuerung vorgegeben und ist somit direkt durch die Fertigungssteuerung zu definieren. Die Produktion nach Kundentakt als weitere Bedingung eines „continuous flow“ kann von der Auslösungslogik der Auftragsfreigabe vorgegeben werden. Die Kundenaufträge werden darauf im Kundentakt in die Produktion eingesteuert.</p> <p>Zur Umsetzung eines kontinuierlichen und über alle Arbeitssysteme hinweg getakteten FIFO-Flusses sind weitere Bedingungen zu erfüllen. Nur durch die gleiche Austaktung aller Arbeitssysteme, am</p>	<p>PM</p> <p>SM</p>

## 5 Definition schlanker Produktionssteuerung

	Kundentakt orientiert, wird Verschwendung in Form von Beständen verhindert. Dies ist allerdings durch die Produktionssteuerung nicht beeinflussbar.	
5. Glättung und Nivellierung	Die Produktionssteuerung hat nur einen bedingten Einfluss auf die Schaffung eines geglätteten/nivellierten Produktionsprogramms. Der erste Schritt des Heijunka besteht in der Nivellierung, der Aufteilung der Gesamtstückzahlen eines bestimmten Produkts auf gleichmäßige Tagesmengen. Dies ist die Aufgabe der der Fertigungssteuerung vorgelagerten Produktionsprogrammplanung. Eine Produktionssteuerung ist als „lean“ anzusehen, wenn ein nivelliertes Produktionsprogramm eingesteuert werden kann. Der zweite Schritt des Heijunka besteht in der Glättung, der Unterteilung der Tagesmenge in weitere, gleichmäßig über den Tag verteilte Teilmengen. Die Produktionssteuerung definiert dies über die Auslösungslogik der Auftragserzeugung und Auftragsfreigabe.	PM
6. dezentrale Steuerung der Produktion	Im Merkmal selbst ist die Relevanz für die Produktionssteuerung bereits enthalten. Eine schlanken Produktionssteuerung hat dezentral durch die operativen Mitarbeiter vor Ort zu erfolgen und nicht zentral. Dies umfasst alle Aufgaben der Produktionssteuerung, von der Auftragserzeugung und -freigabe bis zur Reihenfolgen- und Kapazitätssteuerung.	PM
7. Stör-/Abweichungsmanagement	Keine direkte Relevanz für die Produktionssteuerung	SM
8. kontinuierliche Verbesserung	Keine direkte Relevanz für die Produktionssteuerung	SM

### 5.3 Kriterien einer schlanken Produktionssteuerung

9. Sachorientierung	Keine direkte Relevanz für die Produktionssteuerung	SM
10. Reduzierung der Durchlaufzeit	Die Fertigungssteuerung hat einen unmittelbaren Einfluss auf die internen logistischen Zielgrößen wie der Durchlaufzeit. Dies erfolgt über die Reduzierung der WIPs (siehe oben) und entsprechende Reihenfolgensteuerungen nach Durchlaufzeitkonformen Prioritätsregeln.	PM

Tabelle 5-2: Darstellung der Relevanz der Prozessmerkmale für die Produktionssteuerung und Zuordnung zum Merkmalstyp

In Abbildung 5-8 sind in Anlehnung an Abbildung 5-7 alle Kriterien zusammengefasst, die eine Produktionssteuerung erfüllen muss, um als „schlank“ bezeichnet zu werden.

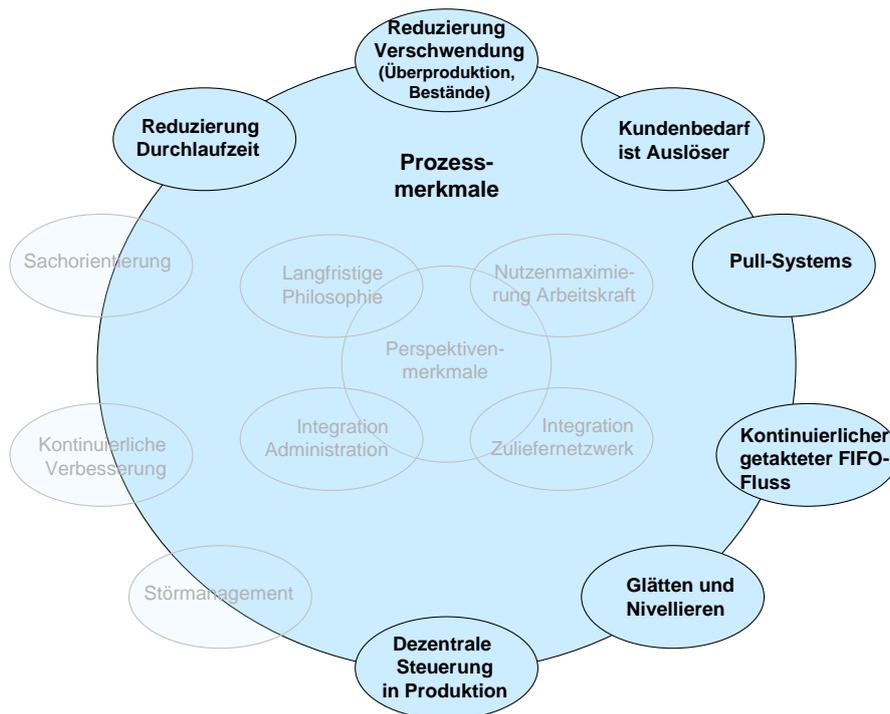


Abbildung 5-8: Merkmale einer schlanken Produktionssteuerung (Primärmerkmale)

Zu konstatieren ist, dass eine Produktionssteuerung nur dann als „schlank“ anzusehen ist, wenn **alle** und nicht nur einzelne Primär-Merkmale erfüllt sind und keine negative Beeinflussung der Sekundär-Merkmale (SM) erfolgt.

### 5.4 Fazit: Stabilisierungspotential bei schlanken Steuerungssystemen

In der wissenschaftlichen und unternehmerischen Praxis existieren unterschiedliche Beschreibungen der Prinzipien zur Umsetzung schlanker Produktionssysteme. Dabei existiert keine explizite Darstellung der Anforderungen an die Produktionssteuerung zur Realisierung einer Lean-Production.

Im vorangegangenen Abschnitt erfolgte deshalb die bisher fehlende Definition der Kriterien zur Auswahl von schlanken Produktionssteuerungen. Aus den Merkmalen einer schlanken Produktion wurden Primär- und Sekundärkriterien einer Lean-PPS entwickelt. Dies stellt die Basis für eine systematische Auswahl einer schlanken Produktionssteuerung dar. Zu konstatieren ist, dass eine Produktionssteuerung nur dann als „schlank“ anzusehen ist, wenn **alle** folgenden und nicht nur einzelne Primär-Merkmale unterstützt werden:

- Reduzierung der Durchlaufzeit
- Reduzierung von Verschwendung
- Kundenbedarf als Auslöser
- Pull-System
- kontinuierlicher, getakteter FIFO-Fluss
- Glättung und Nivellierung
- dezentrale Steuerung in der Produktion

Unter Beachtung der Erkenntnisse der Prinzipien des Lean-Managements ergibt sich ein direkter Zusammenhang zwischen „Stabilität“ und „schlank“. Im TPS stellt „Stabilität“ das Fundament des Toyota-Hauses dar. Meißner konstatiert, dass eine stabil fließende Auftragsfolge in Produktion und Logistik bis zum Endkunden in der Praxis nur erreicht wird, wenn die Prinzipien und Methoden einer schlanken und stabilen Wertschöpfung konsequent umgesetzt werden [Meißner 2009b].

## 5.4 Fazit: Stabilisierungspotential bei schlanken Steuerungssystemen

Neben den Maßnahmen zur PP-Optimierung in Bezug auf „lean“ wurde in Abschnitt 5.3 erörtert, welchen elementaren Beitrag die Produktionssteuerung zur Umsetzung einer schlanken Fertigung liefern kann (siehe Abbildung 5-8). An Tabelle 5-3 wird darüber hinaus verdeutlicht, welche der Prinzipien und Methoden durch eine zielgerichtete PPS-Konfiguration allgemein umgesetzt werden können.

Prinzipien			
• Montage (Kunde) zieht ✓	• Just-in-time ✓	• getaktete Produktion ✓	
• transparenter Info-/Materialfluss ✓	• Hauptfluss bestimmt Nebenfluss ✓	• Prozessbeherrschung	
Methoden			
• späte Sequenzierung ✓	• fifo-Steuerung ✓	• flexible Auftragszuordnung ✓	• Blaulichtkonzepte ✓
• DLZ-Steuerung ✓	• One-piece-flow ✓	• Karosserie-Kanban ✓	• Überholkonzepte ✓
• Sequenzgerechte Pausen- und Schichtmodelle ✓	• 1-Linienfertigung	• Varianten-Verteilung ✓	• Notfallkonzepte ✓
• dezentrale Steuerung ✓	• in-line-quality-process	• späte Variantenbildung	• Reihenfolge-bewertungssysteme
• physisches Resortieren ✓	• Reißleine bei Verwirbelung	• Variantenmanagement	• ...

✓ = unterstützt durch die PPS

Tabelle 5-3: Prinzipien und Methoden der Umsetzung der stabilen Auftragsfolge in der Produktion (in Erweiterung zu [Günthner 2007b])

Über einen analytischen Vergleich der Zielrichtungen werden die Prinzipien zur Umsetzung einer stabilen Auftragsfolge in der Produktion den Merkmalen einer schlanken Produktionssteuerung abschließend gegenübergestellt.

Stabilitätsprinzip	Lean-Merkmal	Vergleich, Zielrichtung
Montage (Kunde) zieht	2. Merkmal: Kundenbedarf ist Auslöser der Produktion	gleich
JIT	3. Merkmal: Pull-System	gleich
getaktete Produktion	4. Merkmal: kontinuierlicher, getakteter FIFO-Fluss	gleich
transparenter Informations- und	3. Merkmal: Pull-System 6. Merkmal: dezentrale Produktionssteuerung	gleich

## 5 Definition schlanker Produktionssteuerung

---

Materialfluss	7. Merkmal: Stör-/Abweichungsmanagement	
Hauptfluss bestimmt Nebenfluss	3. Merkmal: Pull-System	gleich
Prozessbeherrschung	1. Merkmal: Reduzierung von Verschwendung 7. Merkmal: Stör-/Abweichungsmanagement	gleich

Tabelle 5-4: Vergleich der Zielrichtungen der Prinzipien zur Umsetzung einer stabilen Auftragsfolge in der Produktion mit den Merkmalen einer schlanken Produktionssteuerung

Das Ergebnis zeigt durch die gleiche Zielrichtung bei allen Argumenten, dass die Prinzipien zur Stabilisierung von Automobilproduktionen durch die Primär-Merkmale der schlanken Produktionssteuerung unterstützt werden. Zur Validierung des Zusammenhangs zwischen „Stabilität“ und „lean“ erfolgt im nächsten Abschnitt die konkrete Konfiguration, Anwendung und Bewertung des Lösungsansatzes in Form eines praktischen Nachweises der gestellten Anforderungen an eine Steuerung.

## **6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen**

In Kapitel 6 wird die Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung zur Umsetzung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts dargestellt. Im ersten Teil werden die Anforderungen an die künftige Fertigungssteuerung zusammengefasst. In Abschnitt 6.2 wird die entwickelte Konfigurationsmethodik zur situativen Auslegung der Produktionssteuerung einer Automobil-Variantenfließfertigung beschrieben. Dabei findet eine Einteilung in Konfigurationsmodule statt, die im Anschluss detailliert beschrieben werden, so dass im folgenden Abschnitt die Konfiguration anhand eines exemplarischen Wertschöpfungsprozesses der Automobilindustrie erfolgen kann.

Den Abschluss der Konfiguration bilden die Anwendung, Validierung und Bewertung der Verfahrensauswahl und -parametrisierung. Die Kontrolle der systematischen Erfüllung der in Abschnitt 6.1 definierten Anforderungen, die Überprüfung der entwickelten Methodik zur Auswahl einer Konfiguration und die grundsätzliche Eignung schlanker Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsreihenfolgen sind die dabei zu bewertenden Aufgaben.

### **6.1 Anforderungen an eine Konfiguration**

Als Grundlage für die Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung zur Stabilisierung von Auftragsfolgen müssen die Anforderungen spezifiziert oder zusammengefasst werden. Diese stellen bei der Anwendung, der sogenannten Durchsetzung der Konfiguration, den Schlüssel für die Bewertung oder eine Möglichkeit eines Vergleichs mit Ausgangszustand dar. Dabei müssen die drei folgenden, teilweise in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen unabhängigen Anforderungsquellen, im Folgenden jeweils mit dem Anfangsbuchstaben abgekürzt, berücksichtigt werden:

- Zielgrößen der Produktionssteuerung (Z) aus Abschnitt 4.2.2
- Merkmale einer schlanken Produktionssteuerung (MLPPS) aus Abschnitt 5.3
- Leitsätze zur Gestaltung von Produktionssteuerungsverfahren (L) aus Abschnitt 4.3.2

In Abschnitt 4.2.2 wurden die folgenden Zielgrößen (Z) der Produktionssteuerung im Allgemeinen und der Steuerung von Auftragsreihenfolgen im Besonderen beschrieben. Diese im weiteren Verlauf als quantitative Anforderungen bezeichneten Merkmale werden hier nochmals aggregiert dargestellt:

- Durchsatz
- Umlauf- und Fertigwaren-Bestand
- Durchlaufzeit
- Reihenfolgenstabilität mit enthaltener Termintreue
  - Reihenfolgenabweichung (Mittelwert, Standardabweichung)
  - Reihenfolgenrückstand (Max)
  - Reihenfolgeneinhaltung

Des Weiteren müssen als Anforderungen an eine schlanke Produktionssteuerung die erarbeiteten sieben Merkmale (MLPPS) aus Abschnitt 5.3 berücksichtigt werden:

- Reduzierung von Verschwendung (Überproduktion, Beständen)
- Kundenbedarf als Auslöser der Produktion
- Pull-System
- kontinuierlicher, getakteter FIFO-Fluss
- Glättung und Nivellierung
- dezentrale Steuerung der Produktion
- Reduzierung der Durchlaufzeit

Aus der Modellierung der internen logistischen Zielgrößen lassen sich Gestaltungsrichtlinien/Leitsätze (L) zur Konfiguration von Produktionssteuerungen ableiten [Lödding 2005], die in dieser Arbeit als Anforderungen Berücksichtigung finden:

- Möglichkeit der Bestandsregelung

- Reduzierung von WIP-Schwankungen
- Verursachung möglichst weniger blockierter Bestände
- Abgleich der Belastung mit der Kapazität
- Vermeidung von Reihenfolgenvertauschungen
- Ausgleich von Planabweichungen durch Rückstandsregelung
- Berücksichtigung des Engpassprinzips
- Einfachheit der Produktionssteuerung
- schnelle/unverzerrte Kommunikation von Nachfrageinformationen

Gemeinsam mit den Lean-Kriterien werden diese Leitsätze als qualitative Anforderungen an eine schlanke Produktionssteuerung bezeichnet. Aufgrund der oben beschriebenen Unabhängigkeit der Anforderungsquellen ergeben sich zwangsläufig Redundanzen bei einzelnen Kriterien, so dass eine Verringerung der Anzahl von Anforderungen möglich ist. Daraus ergeben sich die bei der Konfiguration zu berücksichtigenden Anforderungen, die, sofern notwendig, als Bedingung formuliert werden:

1. Z: gleicher oder höherer Durchsatz als beim Ist-Zustand
2. Z: gleicher oder geringerer Umlauf- und Fertigwaren-Bestand als beim Ist-Zustand
3. Z: geringere Durchlaufzeit als beim Ist-Zustand
4. Z: geringere Reihenfolgenabweichung (Mittelwert und Standardabweichung) als beim Ist-Zustand mit einem Zielmittelwert  $\geq 5$  bzw. 10
5. Z: geringerer maximaler Reihenfolgenrückstand als beim Ist-Zustand
6. Z: höhere Reihenfolgeneinhaltung als beim Ist-Zustand mit einem Zielwert  $\geq 98$  %
7. MLPPS: Vermeidung von Überproduktion
8. MLPPS: Steuerung nach Zieh-(Pull-)Prinzip
9. MLPPS: Reihenfolgensteuerung nach FIFO im Kundentakt

- 10.MLPPS: Unterstützung von Nivellierung und Glättung
- 11.MLPPS: dezentrale Steuerung der Produktion
- 12.L: Verursachung möglichst weniger blockierter Bestände
- 13.L: Ermöglichung des Abgleichs der Belastung mit Kapazität
- 14.L: Ausgleich von Planabweichungen durch Rückstandsregelung
- 15.L: Berücksichtigung des Engpassprinzips
- 16.L: Einfachheit des Produktionssteuerungsverfahrens
- 17.L: schnelle/unverzerrte Kommunikation von Nachfrageinformationen

Dabei ist festzuhalten, dass die quantitativen Zielgrößenanforderungen erst nach der Durchsetzung der Konfiguration, bei der Anwendung (im Idealfall in Form einer Simulation), bewertet werden können. Die Gestaltungsleitsätze nach Lödding und die Lean-Merkmale als qualitative Aspekte müssen jedoch bereits präventiv bei der Auswahl des Verfahrens Eingang finden.

## 6.2 Methodik und Vorgehensweise

Auf den Ergebnissen aufbauend wird das methodische Vorgehen zur Konfiguration der Produktionssteuerung erläutert, um es in Abschnitt 6.3 anzuwenden. Damit ein Unternehmen seine logistischen Ziele erreichen kann, genügt es nicht, auf einem bestimmten Teilgebiet der Fertigungssteuerung herausragende Ergebnisse zu erzielen. Vielmehr ist die gesamte Fertigungssteuerung aufeinander abzustimmen und sollte darüber hinaus auch Vorgaben aus der Produktionsplanung sowie die Produkt- und Produktionsstruktur berücksichtigen [Lödding 2005].

Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich auf die vier in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Aufgaben der Fertigungssteuerung – die Konfiguration der Produktionsplanung, die im Idealfall gleichzeitig erfolgt, wird als gegeben betrachtet und die Fertigungssteuerung auf darauf abgestimmt. Lödding konstatiert, dass es kaum möglich sei, eine **optimale Konfiguration** der Fertigungssteuerung zu bestimmen oder auch nur zu definieren [Lödding 2005]. Die Probleme vieler Unternehmen bei der Erreichung der logistischen Ziele resultieren meist aus dem Umstand, dass keine Konfiguration bewusst durchgeführt wurde.

Das Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, unter den Rahmenbedingungen einer Automobil-Variantenfließfertigung, den Anforderungen an das Lean-Management hinsichtlich schlanker Prozesse und den produktionslogistischen Zielgrößen, insbesondere denen der Reihenfolgenstabilität eine Methodik zur situativen Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung zur Stabilisierung von Auftragsfolgen zu entwickeln. Die Konfiguration der Fertigungssteuerung beinhaltet nach Lödding für jede Aufgabe die Schritte der Verfahrensauswahl, Verfahrensparametrisierung und Verfahrensdurchsetzung<sup>1</sup> [Lödding 2005] (siehe dazu Abbildung 6-1) und stellt damit lediglich eine Aufgabenverknüpfung dar.

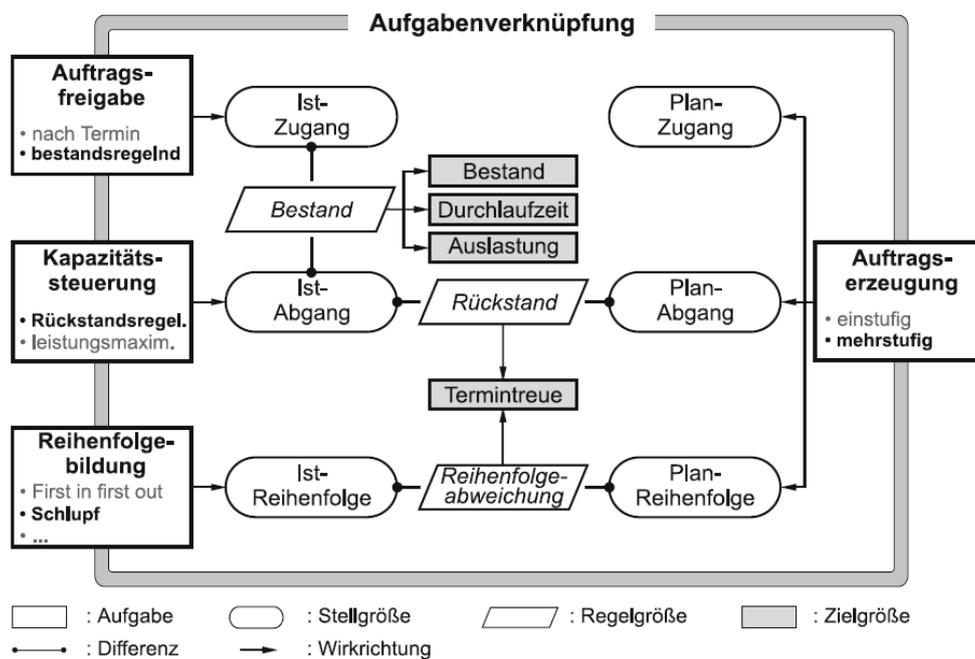


Abbildung 6-1: Konfiguration der Fertigungssteuerung nach Lödding [Lödding 2005]

Zur Berücksichtigung/Validierung aller Anforderungen und zur Ermittlung aller im Verlauf der Auswahl relevanten Systemparameter wird die Konfiguration um die Module Umfeldanalyse und Verfahrensvalidierung/-bewertung erweitert. Dies ist zum einen notwendig, um den situativen Charakter hinsichtlich der veränderlichen Einflüsse auf die Konfiguration ausreichend zu berücksichtigen. Zum anderen ist, wie in Abschnitt 6.1 beschrieben, erst nach der Durchsetzung der Konfiguration eine Validierung der Zielgrößenanforderungen möglich.

<sup>1</sup> Verfahrensdurchsetzung wird synonym mit „Verfahrensanwendung“ verwendet.

## 6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

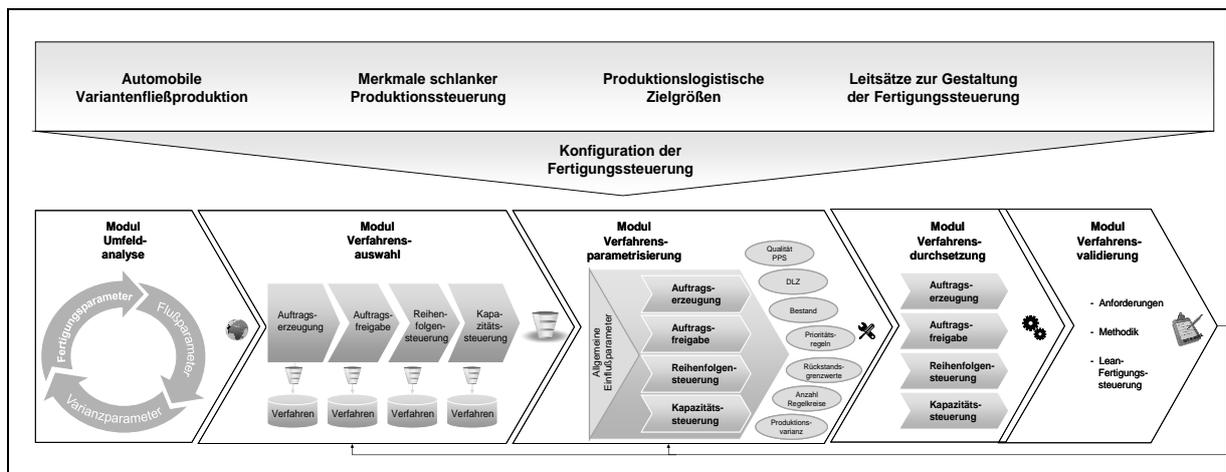


Abbildung 6-2: Methodisches Vorgehensmodell zur Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung (in Erweiterung zu [Lödding 2005])

Die Methodik zur situativen Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung zur Stabilisierung von Auftragsfolgen umfasst somit fünf Module, die nachfolgend erläutert werden:

- A. Umfeldanalyse
- B. Verfahrensauswahl
- C. Verfahrensparametrisierung
- D. Verfahrensdurchsetzung
- E. Verfahrenvalidierung/-bewertung

### Umfeldanalyse

Der erste Schritt der Konfiguration analysiert die Unternehmenssituation auf die charakteristischen Merkmale der Planung und Steuerung der Produktion, in der Managementtheorie auch Umweltanalyse genannt. Dies ist in der langfristigen Planung der Teil der Analyse der strategischen Situation, der sich mit der Untersuchung der für das Unternehmen bedeutsamen Aspekte des Umfelds befasst [Porter 1980], und zwar durch die aufnehmende Beschreibung der zu steuernden Produktion mit verschiedenen Werkzeugen. Anwendung finden hierbei je nach notwendiger Detailtiefe

- der morphologische Kasten fertigungssteuerungsrelevanter Merkmale,

- die Wertstromanalyse und
- die Auftragsstruktur- und Variantenentstehungsanalyse.

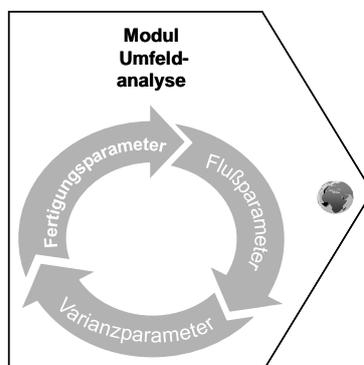


Abbildung 6-3: Konfigurationsmodul Verfahrensauswahl – Auswahl des Auftragserzeugungsverfahrens

Die **allgemeinen Systemparameter** der Automobilproduktion werden über den in Abschnitt 2.1 zur Verfügung gestellten morphologischen Kasten der fertigungssteuerungsrelevanten Merkmale ermittelt. Zur Detaillierung **produktionspezifischer Faktoren** wird die in Abschnitt 5.2.5 erläuterte Wertstromanalyse angewendet. Elementar bei der Wertstromanalyse sind die Ermittlung des Kundenbedarfs und die Kundenperspektive auf die Prozesse. Dabei werden neben dem Kundentakt als Metronom für die Wertschöpfungsprozesse auch Parameter der einzelnen Fertigungseinheiten wie Zykluszeit (brutto und netto), Rüstzeiten, OEE/Anlagenverfügbarkeit, Art des Material- und Informationsflusses, Puffer/Lager im Prozess und Betriebszeit erfasst.

Komplettiert wird die Umfeldanalyse durch eine **Untersuchung der Auftragszusammensetzung** und **Produktvarianzentstehung**, als Element des Variantenmanagements. Dies ist insofern relevant für die Konfiguration, als unter Umständen Produktvarianten aufgrund differierender Arbeitsinhalte unterschiedliche Fertigungszeiten haben, einzelne Varianten eine größere Nachfrage besitzen (sogenannte High-Runner<sup>1</sup>) und dies Einfluss auf die Entscheidung hinsichtlich einer flexiblen Auftragszuordnung hat.

<sup>1</sup> Schnelldreher wird synonym für High-Runner verwendet (Antonym: „Low-Runner“ oder „Langsamdreher“).

Bei der Umsetzung einer flexiblen Auftragszuordnung ist die Karosserievarianz ein entscheidender Stellhebel, um eine hohe Reihenfolgenstabilität zu erreichen. Erst dadurch, dass Tauschpartner vorhanden sind, können Verwirbelungen ausgeglichen werden. Eine große Varianz von Karosserien erschwert den Auftragstausch [Meißner 2009a]. Mit einer Auftragsvarianzanalyse (in Form einer ABC-Analyse) lässt sich aus Historiendaten die Kundenauftragsverteilung ermitteln. Abbildung 6-4 zeigt den Ablauf der ABC-Analyse.

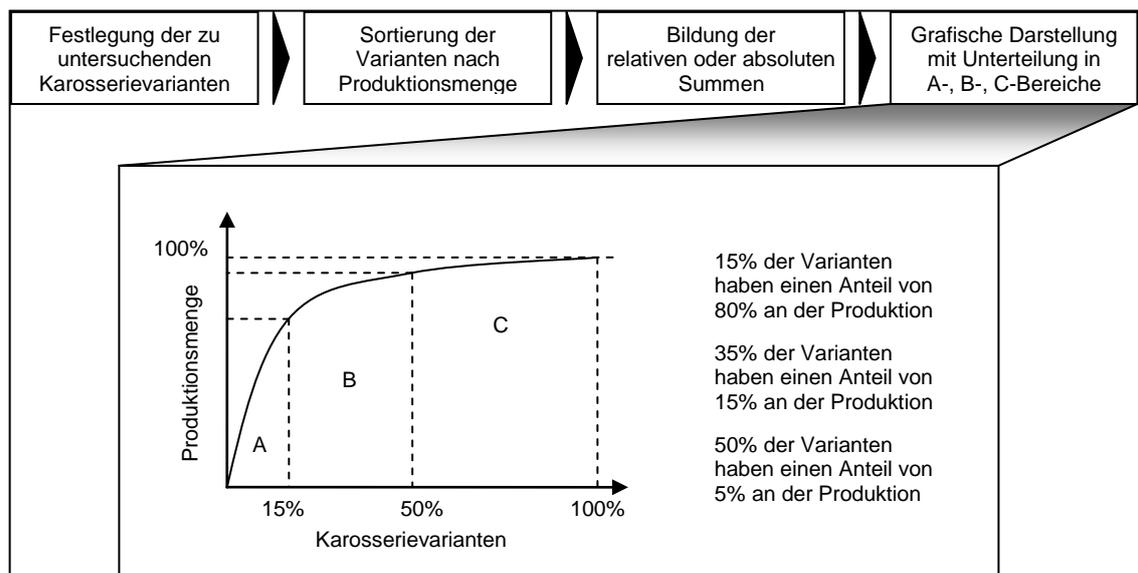


Abbildung 6-4: Ablauf der ABC-Analyse der Karosserievarianz ([Meißner 2009a] in Anlehnung an [Günthner 2007a])

Die Variantenentstehung im Wertschöpfungsprozess kann im Zuge der Wertstromanalyse als Zusatzparameter oder in einer spezifischen Reihenfolgeinflussanalyse aufgenommen werden (vgl. dazu [Meißner 2009a]). Bei beiden Vorgehensweisen muss an jedem Wertschöpfungsprozess erkennbar sein, wie viele Varianten neu entstehen und wie viele bereits vorhanden sind. Mit den Parametern aus der Umfeldanalyse und den Anforderungen an eine Konfiguration erfolgt der nächste Schritt, die Verfahrensauswahl.

### Verfahrensauswahl

Das zentrale Modul der Konfiguration einer Fertigungssteuerung ist die Verfahrensauswahl, welche die folgenden Schritte umfasst:

- Auswahl des Auftragserzeugungsverfahrens

- Auswahl des Auftragsfreigabeverfahrens
- Auswahl der Reihenfolgensteuerung mit Prioritätsregeln
- Auswahl der Kapazitätssteuerung

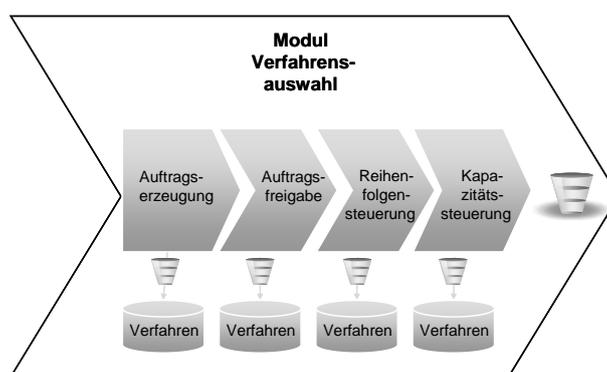


Abbildung 6-5: Konfigurationsmodul Verfahrensauswahl

Aufgrund der Vielzahl von Überprüfungsmöglichkeiten in Bezug auf die Anforderungen (zwölf qualitative Anforderungen) an die jeweiligen Verfahren (bis zu sechs Verfahren bei Auftragsfreigabe) ist trotz der „Gleichrangigkeit“ eine Sortierung der Anforderungen zweckmäßig. Nur so kann ein effizienter Selektionsprozess gewährleistet werden. Dabei sollten die Anforderungen mit der größten Selektionshärte, also einer starken Differenzierung und hohen Objektivität möglichst am Anfang des Auswahlprozesses überprüft werden. So wird die Anzahl der Überprüfungskombinationen im weiteren Verlauf deutlich reduziert.

In Abschnitt 4.3.3 erfolgte bereits eine Systematisierung der einzelnen Verfahren, die sowohl eine Differenzierung als auch Objektivität als Grundlage hat. Diese mehrdimensionale Klassifizierung entspricht in ihren beiden Richtungsdimensionen exakt zwei qualitativen Anforderungen: der Steuerung nach dem Pull-Prinzip und der dezentralen Steuerung der Produktion. Weitere Anforderungen mit hohem Differenzierungsgrad in der Konfiguration sind die Reihenfolgensteuerung nach FIFO im Kundentakt und der Ausgleich von Planabweichungen durch eine Rückstandsregelung (vgl. dazu die Abschnitte 4.2.1.1, 4.2.1.2, 4.2.1.3 und 4.2.1.4).

## 6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

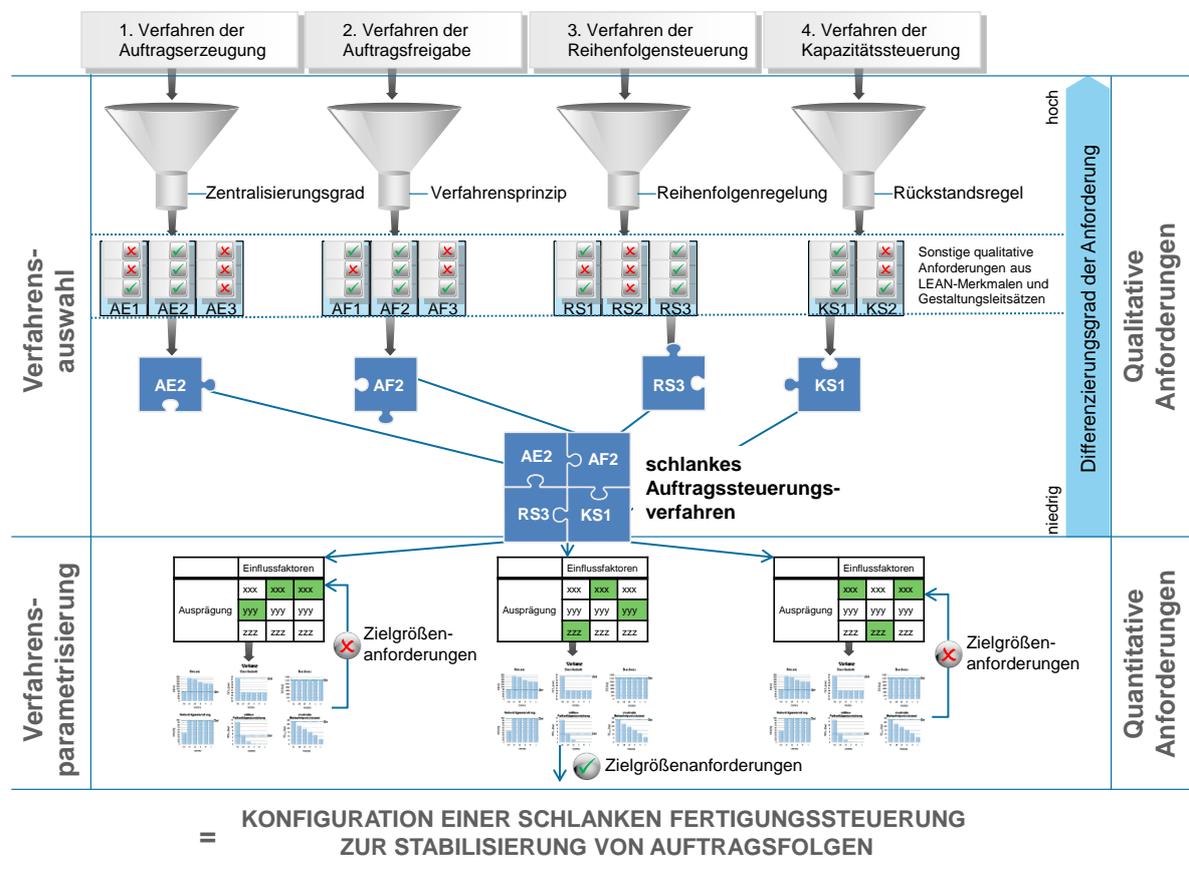


Abbildung 6-6: Vorgehensweise im Verfahrensauswahlprozess zur Überprüfung der Erfüllung der qualitativen und quantitativen Anforderungen

Auf dieser Grundlage erfolgt im Selektionsprozess die Gestaltung der einzelnen Verfahren. Die Konfiguration der **Auftragserzeugung** ist eine sehr bedeutende Aufgabe [Lödding 2005]. Die Auftragserzeugung generiert aus Kundenaufträgen, Materialentnahmen oder einem Produktionsprogramm Fertigungsaufträge und bestimmt damit den Plan-Zugang und Plan-Abgang der Fertigung sowie die Plan-Reihenfolge, in der die Aufträge fertiggestellt werden sollen. Zugleich legt diese die Planwerte für die betriebsinternen Zielgrößen Bestand, Durchlaufzeit und Auslastung fest. Bei der Auswahl des Verfahrens gibt es wesentliche Schlüsselkriterien, die berücksichtigt werden müssen und in Abschnitt 4.2.1.1 teilweise bereits beschrieben wurden:

1. erforderliche Lieferzeit versus realisierbare Durchlaufzeit als rudimentäre Grundlage für die Festlegung der Auslöseart

2. Produktvarianz als Einflussfaktor für die Zielgrößenfestlegung
3. Planbarkeit des Bedarfs als Indikator, mit welcher Genauigkeit, welchem Vorlauf und welchem Aufwand der Bedarf an einem Produkt prognostiziert werden kann
4. Planungsnotwendigkeit als Kostenindikator von Fehleinschätzungen (vorwiegend bei der Lagerfertigung)
5. Erzeugungsumfang in Form ein- oder mehrstufiger Verfahren

Das erste Kriterium beschäftigt sich mit der Frage, unter welchen Voraussetzungen ein Produkt auf Lager gefertigt werden sollte und wann auf einen Kundenauftrag. Grundsätzlich gilt, dass eine Lagerfertigung notwendig ist, wenn die erforderliche Lieferzeit geringer ist als die realisierbare Durchlaufzeit [Lödding 2005]. Je größer die Produktvarianz ist, desto höher ist der Bestand. Grundsätzlich ist bei der Wahl des Auftragserzeugungsverfahrens ein ausreichendes Maß an Kapazitätsflexibilität vorteilhaft [Lödding 2005].

Das Ergebnis der Auftragserzeugung muss zwingend mit einem Verfahren der Auftragsfreigabe kombiniert werden. Die Auswahl des **Auftragsfreigabeverfahrens** erfolgt idealerweise in zwei sequenziellen Schritten:

- Wahl einer geeigneten Verfahrensklasse (Kriterium der Auftragsfreigabe)
- Entscheidung für ein Verfahren aus dieser Klasse.

Drei grundsätzliche Klassen lassen sich unterscheiden [Lödding 2005]:

- die sofortige Auftragsfreigabe
- die Auftragsfreigabe nach Termin
- die bestandsregelnde Auftragsfreigabe (mit oder ohne Arbeitssystem-spezifischem Belastungsabgleich)

## 6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

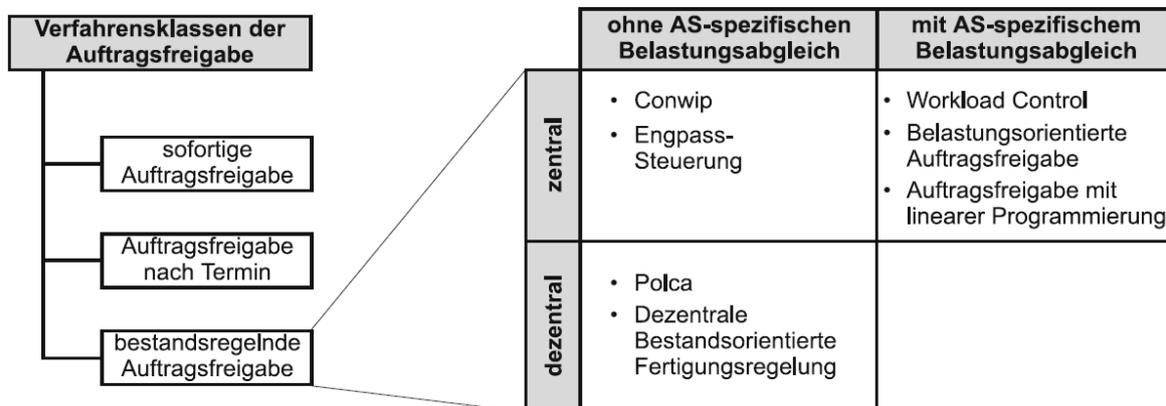


Abbildung 6-7: Verfahrensklassen der Auftragsfreigabe [Lödding 2005]

Wie in Abschnitt 4.3.2.2 bereits erörtert, wird die Verfahrensklasse der „sofortigen Auftragsfreigabe“ nicht berücksichtigt. Die Auftragsfreigabe nach Termin zielt auf die direkte Umsetzung eines Produktionsplans ab, in dem die exakten Plan-Starttermine der Produktionsaufträge errechnet wurden. Hier müssen eventuell begrenzte Kapazitäten einfließen, und es wird vorausgesetzt, dass der Produktionsplan vollständig durchgesetzt werden kann und die Fertigung somit störungsfrei verläuft.

Bei den bestandsregelnden Auftragsfreigabeverfahren werden der Zugang und der Abgang aus der Fertigung miteinander gekoppelt. Bei Störungen im Zugang oder Abgang, wenn z. B. Rückstände nicht ausgeglichen werden können, ist dies vorteilhaft, da ein „Überlaufen“ der Fertigung (eine Erhöhung der WIP) verhindert wird. Die bestandsregelnde Auftragsfreigabe unterteilt sich in eine Auftragsfreigabe mit und eine ohne Arbeitssystem-spezifischen Belastungsabgleich [Lödding 2005]. Der Einsatz eines Arbeitssystem-spezifischen Belastungsabgleichs ist sinnvoll oder nur möglich, wenn

- die gleichmäßige Auslastung der Arbeitssysteme ein wichtiges logistisches Ziel darstellt,
- eine Rückmeldung der Fertigstellung der Arbeitsvorgänge erfolgt,
- Reihenfolgenvertauschungen bei der Auftragsfreigabe toleriert werden, da diese im Auftragsdurchlauf ausgeregelt werden können,
- die Materialflusskomplexität hinreichend hoch ist, um einen effektiven Belastungsabgleich durchzuführen, und

- mindestens ein Teil der Aufträge vor dem Plan-Starttermin freigegeben werden kann [Lödding 2005].

Aufgrund der bewusst in Kauf genommenen Reihenfolgenvertauschungen bei der Auftragsfreigabe sind, wie in Abschnitt 4.2.1.2 bereits festgestellt, alle Verfahren, die einen Arbeitssystem-spezifischen Belastungsabgleich durchführen, zur Stabilisierung von Auftragsreihenfolgen nicht geeignet. Zum Einsatz kommen somit nur Verfahren der bestandsregelnden Auftragsfreigabe ohne Arbeitssystem-spezifischen Belastungsabgleich.

Diese lassen sich noch weiter unterteilen in zentrale und dezentrale Bestandsregelungen (Detaillierungsgrad). Erfolgt die Freigabe des gesamten Auftrags, so spricht man von einem niedrigen Detaillierungsgrad und einer zentralen Bestandsregelung, bei der Freigabe einzelner Arbeitsvorgänge von einem hohen Detaillierungsgrad und einer dezentralen Bestandsregelung.

Ein weiteres wesentliches Unterscheidungsmerkmal der zu untersuchenden Fragestellung ist der Umstand, dass bei dezentralen Bestandsregelungsverfahren aufgrund blockierter Aufträge Reihenfolgenvertauschungen verursacht werden [Lödding 2001]. Dies führt dazu, dass lediglich die zentralen Bestandsregelungsverfahren CONWIP und Engpasssteuerung zur Auftragsfreigabe zur Verfügung stehen. Die Entscheidung für eines der beiden Verfahren geht mit der Bestimmung der Auslösungslogik einher. Beide Verfahren werden der ereignisorientierten Auftragsfreigabe zugeordnet, da ein definiertes Ereignis und nicht ein bestimmter periodischer Zeitpunkt (periodische Auftragsfreigabe) die Freigabe auslöst.

Ist das Verfahren der Auftragsfreigabe ausgewählt, dann muss jeder Prozess in der Wertschöpfungskette mit einer eindeutigen **Reihenfolgensteuerung** versehen werden. Die Wahl einer Reihenfolgenregel hängt wesentlich vom verfolgten Ziel ab [Schulte 2005]. Dieses Ziel kann die Minimierung der Durchlaufzeit, die Maximierung der Kapazitätsauslastung oder die Maximierung der Termintreue/des Servicegrades sein. Lödding nennt drei weitere Entscheidungs- oder Auswahlkriterien der Prioritätsregeln [Lödding 2005]:

- Potential der Reihenfolgenregel als Maß für den Einfluss der Regel auf die Zielgrößen

- Durchsetzbarkeit hinsichtlich der permanenten Berechnungsmöglichkeit und der Verständlichkeit für Fertigungsmitarbeiter
- Detaillierungsgrad und Güte der Auftragsterminierung: Legt die Terminierung den Plan-Startzeitpunkt jedes Arbeitsvorgangs aller Aufträge in einer Feinterminierung bei begrenzter Kapazität fest und werden dabei auch Randbedingungen (z. B. Rüstzeiten) berücksichtigt, so ist es unabhängig von der Zielerreichung die Aufgabe der Reihenfolgensteuerung, die Plan-Vorgaben so detailgetreu wie möglich umzusetzen.

Die Reihenfolgensteuerung zur Konfiguration einer Lean-PPS auf dem Weg zu einer stabilen Auftragsfolge hat in dieser Arbeit zwei wesentliche Funktionen zu erfüllen:

- Reihenfolgenbeherrschung oder -einhaltung
- Reihenfolgenabsicherung oder -wiederherstellung

Diese beiden Funktionen sind konform mit den grundsätzlichen Umsetzungsstrategien zur Stabilisierung von Auftragsfolgen.

Mit der Strategie der **Reihenfolgenbeherrschung** sollen Verwirbelungen im Vorhinein verhindert werden. Dies erfordert eine durchgängige Zielausrichtung der Prozesse auf die Reihenfolgenstabilität, eine hohe Prozessdisziplin und die konsequente Eliminierung von Prozessschwächen [Meißner 2009a].

Durch die Umsetzung der Strategie der **Reihenfolgenabsicherung** sollen mögliche Prozessverwirbelungen durch geeignete Maßnahmen ausgeglichen werden, um die geplante Auftragsfolge in der Montage trotz Unzulänglichkeiten in den vorgelagerten Prozessen zu erreichen [Meißner 2009a].

Ist für jeden Prozess definiert, nach welchen Reihenfolgenregeln dieser zu arbeiten hat, so gilt es im letzten Schritt der Verfahrensauswahl, die Steuerung der Kapazitäten zu definieren. Im Vergleich zu den übrigen Aufgaben der Fertigungssteuerung wird die **Kapazitätssteuerung** in besonderem Maße von den Betriebsrahmenbedingungen bestimmt [Lödding 2005]. Die Grundfrage bei der Auswahl eines Kapazitätssteuerungsverfahrens ist die nach der vorhandenen Kapazitätsflexibilität. Dabei sind drei Fälle zu unterscheiden:

- Kapazitätsflexibilität vorhanden

- Kapazitätsflexibilität nicht vorhanden
- Kapazitätsflexibilität zeitweise vorhanden

Begrenzt die Kapazität den Absatz eines Unternehmens, so ist die Erreichung logistischer Ziele grundsätzlich gefährdet [Lödding 2005]. Für derartige Rahmenbedingungen eignet sich die leistungsmaximierende Kapazitätssteuerung. Im dritten Fall, dem einer zeitweise vorhandenen Kapazitätsflexibilität, ist ein flexibler Einsatz der Varianten der Kapazitätssteuerung vorzusehen.

Sofern das System der Automobilproduktion eine wenn auch geringe Kapazitätsflexibilität aufweist, kommt bei der Auslösungsart einer Auftragsfertigung die in der Praxis am häufigsten vorzufindende Form der Kapazitätssteuerung in Betracht, die Rückstandsregelung. Die Grundidee der Rückstandsregelung ist, die Kapazitäten kurzfristig so anzupassen, dass die Fertigung den Plan-Abgang trotz Störungen erreicht und somit eine hohe Termintreue gewährleistet bleibt. Deren zentrales Element ist die Messung des Rückstandes. Der Rückstand zu einem bestimmten Zeitpunkt wird von Petermann nach (Gl. 6-1) definiert als die Differenz zwischen dem Plan-Abgang und dem Ist-Abgang [Petermann 1996].

$$RS(t) = AB_{plan}(t) - AB_{Ist}(t) \quad (Gl. 6-1)$$

Als Verfahrensparameter der Rückstandsregelung sind der obere und der untere Grenz-Rückstand festzulegen, die definieren, von welcher Höhe an Kapazitätsanpassungen ausgelöst werden. Neben quantitativen Rückständen sind in dieser Arbeit aber auch Reihenfolgenrückstände in Form von Soll-/Ist-Abweichungen einzelner Karossen zu kompensieren, wobei ebenfalls Eingriffsgrenzen festzulegen sind.

Die nächsten Schritte im operativen Kapazitätsmanagement sind die

- Festlegung der Auslösungslogik (periodisch in fest definierten Zeitabständen oder ereignisorientiert z. B. durch Unter-/Überschreitung des Grenz-Rückstand ausgelöst),
- Festlegung des Detaillierungsgrades (grob für die Kapazitätsanpassung der gesamten Fertigung oder fein für einzelne Arbeitssysteme),
- Definition von Maßnahmen zur Kapazitätsanpassung für Betriebsmittel oder Mitarbeiter und

- Festlegung der Dauer und Höhe der Kapazitätsanpassung.

Mögliche Maßnahmen zur Anpassung der Betriebsmittelkapazität sind, die Anzahl der Betriebsmittel oder die Betriebsmittelintensität zu verändern, Aufträge auf alternative interne Betriebsmittel oder nach extern zu verlagern oder Instandhaltungsmaßnahmen zu verschieben. Die flexible Gestaltung der Arbeitszeiten oder der Arbeitsgeschwindigkeit und die Einstellung oder Entlassung von Mitarbeitern sind neben der Mehrfachqualifizierung geeignete Stellhebel zur Adaption der Arbeitnehmerflexibilität.

### Verfahrensparametrisierung

Nach erfolgreicher Verfahrensauswahl gilt es, die spezifischen Verfahrensparameter der ermittelten Konfiguration festzulegen. Die Verfahrensparametrisierung ermöglicht das situative Justieren der Auftragserzeugung und -freigabe sowie der Reihenfolgen- und Kapazitätssteuerung. Dabei sind zu den einzelnen Aufgaben der Fertigungssteuerung sowohl verfahrensunabhängige als auch verfahrensspezifische Stellgrößen festzulegen. Die verfahrensunabhängigen Parameter sind, wie der Name beschreibt, in allen Verfahren vorhanden, lediglich die Intensität der Beeinflussung kann unterschiedlich sein.

Auf der Basis der Erkenntnisse aus den Abschnitten 4.2 und 6.3.2 ergeben sich für die relevanten Verfahren die folgenden Verfahrensparameter:

Aufgabe	Verfahren	Verfahrensparameter
Auftragserzeugung	MRP	Auftrags-Losgröße Durchlaufzeit Bestand Anwendungsrhythmus (Häufigkeit der Anwendung)
	Kanban	Auftrags-Losgröße Durchlaufzeit Bestand
	Fortschrittszahl	Durchlaufzeit

		Bestand
	BS	Durchlaufzeit Bestand
	Hybride Verfahren	Auftrags-Losgröße Durchlaufzeit Bestand
Auftragsfreigabe	CONWIP	Bestand Durchlaufzeit
	Engpasssteuerung	Bestand Durchlaufzeit
Reihenfolgensteuerung		Prioritätsregel
Kapazitätssteuerung	Rückstandsregelung	Grenzwerte

Tabelle 6-1: Verfahrensparameter nach Aufgaben und Verfahren der Fertigungssteuerung

Bei der Reihenfolgen- und Kapazitätssteuerung sind als Parameter lediglich die Prioritätsregeln oder Grenzwerte für die Rückstandsmessung einzustellen. In Abschnitt 6.3.2.3 wird die Vorgehensweise zur Ermittlung der Reihenfolgenregeln für das Wertschöpfungssystem erörtert. Zur Festlegung der oberen und unteren Grenzurückstände sind die folgenden Einflussfaktoren zu berücksichtigen:

- Umfang der Kapazitätsanpassung: Abhängig von der umsetzbaren Schrittweite zur Anpassung der Kapazität ist der Grenz-Rückstand festzulegen.
- Sicherheitsbestand: Der zu erwartende Rückstand und die Verspätungen der Aufträge müssen mit der Höhe des Grenz-Rückstand korrelieren und durch Sicherheitsbestände vor der Auslieferung kompensiert werden.
- Stabilität der Prozesse: Die Höhe des Grenz-Rückstand sollte sich an der Stabilität der Prozesse orientieren.

Als verfahrensunabhängige Parameter ergeben sich sowohl für die Auftragserzeugung als auch für die Auftragsfreigabe der Bestand und die Durchlaufzeit. Der Zusammenhang zwischen den beiden Zielgrößen und

Verfahrensparametern ist in Little's Law verankert. Der parametrisierbare Bestand ( $B$ ) ist nach der Lokation des Auftretens zu unterscheiden und ergibt sich aus der Summe aus der WIP ( $B_{WIP}$ ) und dem Sicherheitsbestand ( $B_S$ ) (Gl. 6-2).

$$B = B_S + B_{WIP} \quad (\text{Gl. 6-2})$$

Die Aufgaben von Beständen wurden in Abschnitt 4.2.2.2 ausführlich erläutert. Der Sicherheitsbestand dient dazu, Schwankungen bei den Verbräuchen (in der Auftragsfertigung sind dies Nachfrageschwankungen) und Unsicherheiten bei Wiederbeschaffungszeit aufgrund von Störungen im Wertschöpfungsprozess zu kompensieren (vgl. dazu (Gl. 6-3)). Zum Ausgleich von Wertspitzen erfolgt das Quadrieren der Summanden.

$$B_S = \sqrt{(B_{S-V})^2 + (B_{S-WBZ})^2} \quad (\text{Gl. 6-3})$$

Der Sicherheitsbestand zum Ausgleich von Nachfrageschwankungen ( $B_{S-V}$ ) ist notwendig, wenn im Produktionsplan keine Nivellierung der Aufträge durchgeführt wird, und wird aus der Differenz zwischen der maximalen ( $BR_{\max}$ ) und der mittleren Bedarfsrate ( $BR_m$ ) und der Multiplikation mit der Wiederbeschaffungszeit ermittelt.

$$B_{S-V} = (BR_{\max} - BR_m) * WBZ \quad (\text{Gl. 6-4})$$

Instabile Produktionsprozesse führen zu Streuungen der Durchlaufzeit. Diese Output-Schwankungen haben als Terminabweichung Auswirkungen auf die Zielgröße Durchsatz in Form von Mengenabweichung und die Zielgröße Termintreue. Um Liefertermine bei der Auftragsfertigung nicht zu gefährden, sind entsprechende Sicherheitsbestände ( $B_{S-WBZ}$ ) vorzusehen.

$$B_{S-WBZ} = B_{S-MA} + B_{S-TA} \quad (\text{Gl. 6-5})$$

Die Mengenabweichung und Terminabweichung beziehen sich dabei auf den Zeitraum der Wiederbeschaffungszeit. Die Ermittlung wird in (Gl. 6-6) und (Gl. 6-7) dargestellt.

$$B_{S-MA} = \frac{MA_{\max(Tag)}}{24 * 60} * WBZ \quad (\text{Gl. 6-6})$$

$$B_{S-TA} = TA_{\max} * BR_{\max} \quad (\text{Gl. 6-7})$$

Die WIP ( $B_{WIP}$ ) oder einfach mittlere WIP pro Variante lässt sich nach Little's Law (bei einem getakteten System) in Annäherung berechnen nach (Gl. 3-19). Alternativ zur Verwendung der Taktzeit kann die Ermittlung aus der mittleren Bedarfsrate einer Variante erfolgen.

$$B_{WIP} = BR_m * WBZ \quad (\text{Gl. 6-8})$$

Der Verfahrensparameter Durchlaufzeit oder Wiederbeschaffungszeit entspricht dabei der Summe aus der Produktionszeit (Summe aller Bearbeitungszeiten), Übergangszeit (Summe aller Transportzeiten), Informationszeit (Summe aller Zeiten der Verarbeitung von Informationen bei der Auftragserzeugung und -freigabe) und Administrationszeit (Summe aller Zeiten der Verwaltung von Aufträgen inklusive Wartezeiten vor dem Produktionsstart) [Zäpfel 1984].

Unter Verwendung von (Gl. 6-2) ergibt sich der Bestand (B) wie folgt:

$$B = \sqrt{\left( (BR_{\max} - BR_m) * WBZ \right)^2 + \left( \frac{MA_{\max(Tag)}}{24 * 60} * WBZ + TA_{\max} * BR_{\max} \right)^2} + BR_m * WBZ \quad (\text{Gl. 6-9})$$

Neben den beschriebenen Verfahrensparametern gibt es weitere allgemeine, sich aus den Rahmenbedingungen der Automobilproduktion ergebende Einflussgrößen der Justierung einer Fertigungssteuerung. Dazu gehören

- die Produktvarianz (P),
- die Sicherheitsfaktoren bei der Bestandsdimensionierung (S),
- die Ergebnisqualität aus der Produktionsplanung in Bezug auf die gestellten Anforderungen (E),
- die Variantenmengenverteilung in Bezug auf High- und Low-Runner (V) und

- die Anzahl der zu steuernden Regelkreise und die sich daraus ergebende Anzahl von Einsteuerpunkten (R).

Durch eine situative Verfahrensparametrisierung können die Ergebnisse einer Konfiguration hinsichtlich der Zielgrößenreichung beeinflusst werden. Die Ausprägungen lassen sich über die Verfahrensdurchsetzung durch verschiedene Szenarien (idealerweise in einer Simulation) nachweisen.

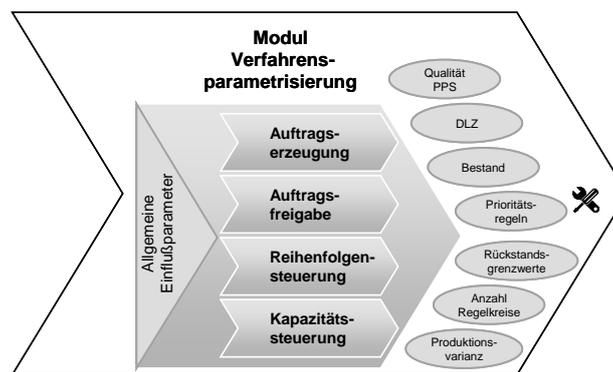


Abbildung 6-8: Konfigurationsmodul Verfahrenparametrisierung

### Verfahrensdurchsetzung

Der letzte Schritt in der Konzeptionsphase der Konfiguration bereitet die Anwendung auf die Unternehmenspraxis vor. Dabei wird sichergestellt, dass

- die Aufträge tatsächlich so erzeugt werden, wie dieses das Auftragserzeugungsverfahren bestimmt (hohe Auftragserzeugungsdisziplin),
- die Aufträge tatsächlich so freigegeben werden, wie dieses das Freigabeverfahren vorsieht (hohe Freigabedisziplin),
- die Aufträge tatsächlich in der vorgegebenen Reihenfolge abgearbeitet werden (hohe Reihenfolgendisziplin) und
- die Kapazitäten tatsächlich so angepasst werden, wie für die Kapazitätssteuerung bestimmt (hohe Kapazitätssteuerungsdisziplin) [Lödding 2005].

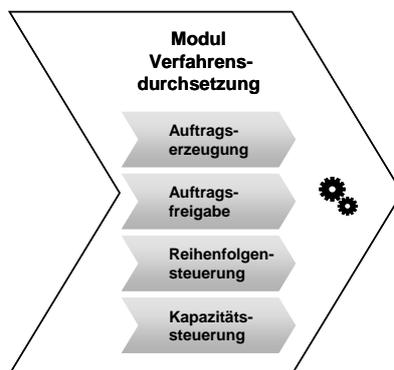


Abbildung 6-9: Konfigurationsmodul Verfahrensdurchsetzung

Abschließend werden einige Hinweise zu kritischen Aspekten der Durchsetzung der Konfiguration gegeben. Wiendahl stellt sieben PPS-spezifische Stolpersteine dar, welche die Erreichung hoher logistischer Ziele verhindern [Wiendahl 2003]:

1. Unternehmensumfeld  
Störungsursachen sind häufig unberechenbare Kunden, die Liefermengen und -termine regelmäßig und mit kurzem Vorlauf ändern, oder unzuverlässige Lieferanten, welche die Versorgung gefährden. Enge Kooperationsmöglichkeiten im IT-gestützten SCM können hier Abhilfe schaffen.
2. Modell  
Ohne geeignete Modelle sind die Ursachen für eine mangelhafte Erreichung logistischer Ziele nicht systematisch zu analysieren und Verbesserungsmöglichkeiten nicht einzuschätzen. Ein logistisches Produktionscontrolling macht das möglich und erzeugt zugleich ein Verständnis für den Einfluss der Fertigungssteuerung auf die Zielgrößen.
3. Verfahrensparametrisierung  
Die falsche Auswahl eines Verfahrens für eine Aufgabe der PPS oder eine nichtsachgerechte Parametrisierung führt zu Defiziten in der Anwendung.
4. Datenqualität  
Der Erfolg einer PPS wird maßgeblich durch die Korrektheit der Eingangsdaten beeinflusst. Daher ist sicherzustellen, dass sowohl

Stamm- und Strukturdaten als auch auftragsbezogene Bewegungsdaten in ausreichender Qualität zur Verfügung stehen.

5. Prozessstörungen

Prozessstörungen können durch Maschinen, Mitarbeiter oder Material verursacht werden. Geeignete Notfallpläne für Ausfälle, eine vorbeugende Instandhaltung bei der TPM und die sukzessive Erhöhung der OEE verhindern die Notwendigkeit hoher Sicherheitsbestände.

6. Mitarbeiterqualifikation

Fehlende produktionslogistische Grundkenntnisse von Mitarbeitern in der Produktion führen zu Fehlverhalten in der Betriebspraxis, z. B. in Form mangelnder Reihenfolgendisziplin.

7. Interessensdivergenzen

Unternehmens- und Mitarbeiterinteressen stimmen nicht immer überein. Differenzen können sowohl objektiv vorhanden sein als auch – häufig aufgrund mangelhafter Qualifikation – nur subjektiv empfunden werden.

Unabhängig von den genannten Hürden bei der Einführung sollte, sofern möglich, vor einer realen Verfahrensdurchsetzung im produktiven Umfeld eine Ablaufsimulation der Konfiguration durchgeführt werden. Aufgrund einschlägiger Literatur zum Nutzen von Ablaufsimulationen wird hier nicht näher darauf eingegangen (vgl. z. B. [Grundig 2006], [Kühn 2006] und [Sauerbier 1999]).

### **Verfahrensvalidierung**

Den Abschluss der Konfiguration bilden die Validierung und Bewertung. Unter Methodvalidierung versteht man in der Analytik den formellen und dokumentierten Nachweis, dass eine analytische Methode für ihren Einsatzzweck geeignet ist und die an diese gestellten Anforderungen erfüllt. Die Methodvalidierung ist ein wichtiges Werkzeug der QS.

In dieser Arbeit umfasst die Methodvalidierung die Kontrolle der systematischen Erfüllung der in Abschnitt 6.1 definierten Anforderungen, die Überprüfung der entwickelten Methodik zur Auswahl einer Konfiguration und die grundsätzliche Eignung schlanker Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsreihenfolgen. Die beiden Letzten werden maßgeblich nach dem Ergebnis

des Vergleichs der Zielgrößenwerte bewertet. Hierzu erfolgt ein Vergleich der gewählten Konfiguration mit dem in Abschnitt 4.4 beschriebenen Ausgangszustand in der Automobilindustrie. Eine Konfiguration gilt als valide und dazu geeignet, Auftragsfolgen zu stabilisieren, wenn alle Anforderungen erfüllt sind.

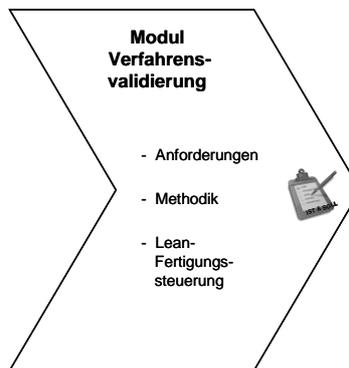


Abbildung 6-10: Konfigurationsmodul Verfahrenvalidierung

### 6.3 Konfiguration des Lösungsansatzes

Auf der Basis der entwickelten systematischen Vorgehensweise zur Konfiguration einer Lean-Fertigungs-Steuerung zur Stabilisierung von Auftragsfolgen erfolgt im folgenden Abschnitt deren Durchführung anhand eines exemplarischen Automobil-PP. Abschnitt 6.3.1 beschreibt den vorliegenden Prozess innerhalb der Umfeldanalyse allgemein durch die Ermittlung fertigungssteuerungsrelevanter Systemparameter und spezifisch mit einer Wertstrom- und Auftragsvarianzanalyse. Die Auswahl eines für den vorliegenden Wertschöpfungsprozess geeigneten Verfahrens zur Auftragserzeugung und -freigabe sowie Reihenfolgen- und Kapazitätssteuerung in Abschnitt 6.3.2 bildet das zentrale Element der Produktionssteuerung.

Auf dieser Grundlage erfolgt die situationsspezifische Parametrisierung der selektierten Verfahren durch die Definition der erfolgversprechenden Szenarien. Anhand einer Ablaufsimulation wird in Abschnitt 6.3.3 die ausgewählte Konfiguration mit den Parameterszenarien durchgesetzt. Inwieweit die Konzeption der Fertigungssteuerung praxistauglich ist und die gestellten Anforderungen erfüllt, wird in Abschnitt 6.3.4 überprüft und kritisch bewertet.

### 6.3.1 Umfeldanalyse

Der im Folgenden analysierte Wertschöpfungsprozess ist dem Beginn der Automobil-Fließproduktion, dem Karosseriebau zuzurechnen. Dieser Prozess wurde exemplarisch für die Vielzahl unterschiedlicher Ausprägungen ausgewählt.

Im Folgenden wird dieser Prozess anhand der fertigungssteuerungsrelevanten Merkmale genauer erörtert. Wie in der Automobilproduktion üblich sind die Arbeitssysteme (Produktionstakte) im Karosseriebauprozess seriell nach dem Materialfluss der zu fertigenden Varianten in einer Linie angeordnet. Die Karosserie wird dabei nach jedem Arbeitsschritt über eine Fördertechnik zum nächsten Arbeitssystem transportiert. Die hochautomatisierten Arbeitssysteme erzeugen über Wechseleinrichtungen oder spezifische Programmierungen meist mithilfe von Schweißrobotern unterschiedliche Karosserievarianten (z. B. mit oder ohne Schiebedach). Als Fertigungsprinzip ist somit die **Variantenfließfertigung** zu konstatieren.

Im vorliegenden Prozess wird eine Serie gefertigt, die sich in verschiedenen Merkmalen (Karosserievariante, Schiebedach etc.) unterscheidet. Abhängig von der gesamten zu erzeugenden Produktvarianz kann hier hinsichtlich der Fertigungsart von einer **Serienproduktion** oder, bei extrem großer Produktvarianz, von einer **kundenindividuellen Massenproduktion** gesprochen werden. Wie für die Fließfertigung charakteristisch wird die Karosserie unmittelbar nach der Bearbeitung zum nächsten Arbeitssystem transportiert (One-Piece-Flow), teilweise allerdings durch Karosseriepuffer unterbrochen. Begründet ist dies in unterschiedlichen Taktzeiten und Verfügbarkeiten der aufeinanderfolgenden Arbeitssysteme (vgl. dazu die Parameter der Wertstromanalyse in demselben Abschnitt).

Eine Fertigungs-Losgrößen-Bildung ist aufgrund des hohen Automatisierungsgrades (über 90 %) in diesem Bereich nicht nötig, so dass hinsichtlich des Teileflusses von einem **One-Piece-Flow** (Losgröße 1) gesprochen werden kann. Das steuerungsrelevante Merkmal der Varianten-Anzahl wird in demselben Abschnitt innerhalb der Wertstrom- und Auftragsstrukturanalyse detailliert erörtert. Bei einer Gesamt-Anzahl von 24 am Prozessende ist die **Varianten-Anzahl als mittel** einzustufen.

Die Produktvarianz ist eng mit der Komplexität des Materialflusses verknüpft. Der Indikator der Komplexität ist die Anzahl von Vorgängern, Nachfolgern und Rückflüssen zu einem Arbeitssystem. Trotz einer vollautomatisierten Linienfertigung hat lediglich ein Hauptprozess (PP 5), wie allgemein zu erwarten wäre, genau einen Vorgänger- und Nachfolgerprozess. Alle anderen Produktionsprozesse haben aufgrund von Ausschleusungen für Nacharbeit, Qualitätsprüfungen oder durch parallel angeordnete Anlagen bedingen bis zu drei vor- oder nachgelagerte Arbeitssysteme. Ein Fertigungsbereich (3.1.1) hat auch einen Rückfluss von Karossen aus einer Nacharbeit (Sackgassenprozess). Die Ausprägung der **Materialflusskomplexität** ist deshalb als **sehr hoch** einzustufen.

Neben der Materialflusskonfiguration hat auch das Kundenverhalten einen unmittelbaren Einfluss auf die Produktionssteuerung. Fragen (auch interne) Kunden Produkte ungleichmäßig nach, so entstehen Bedarfsraten-Schwankungen in zwei Ausprägungen: der Auftragsmenge im zeitlichen Verlauf und der Auftragszusammensetzung. In der Kundenauftragsfertigung verursacht dies Schwankungen des Kapazitätsbedarfs. Im vorliegenden Fall werden die Aufträge durch die übergeordnete zentrale PPS lediglich hinsichtlich der Auftragsmenge im zeitlichen Verlauf gesteuert, so dass pro Zeiteinheit (Schicht/Arbeitstage) eine der Kapazität angepasste Soll-Produktionsmenge vorgegeben wird. Gegenüber dem Endkunden wird dies über die Lieferzeit kommuniziert.

In Bezug auf die Auftragszusammensetzung findet im Karosseriebauprozess keine spezifische Verteilung (Nivellierung) durch die PPS statt. Lediglich einzelne für die Endmontage relevante Steuerkriterien werden in Form von Restriktionen berücksichtigt. Die **Schwankung des Kapazitätsbedarfs** ist deshalb als **hoch** anzusehen, wenngleich dies für den vorliegenden Karosseriebauprozess nur eine geringe Relevanz hat, da alle Produktvarianten aufgrund der Automatisierung in der gleichen Taktzeiten produziert werden können. Um die logistischen Zielgrößen zu erreichen, muss ein Ausgleich der Kundenbedarfsschwankungen erfolgen, was zum einen über die **Kapazitätsflexibilität** und zum anderen über die Belastungsflexibilität möglich ist.

Im untersuchten Prozess ist die Fähigkeit, die vorhandene Kapazität schnell und kostengünstig an den geänderten Kapazitätsbedarf anzupassen, als **sehr gering** einzustufen. Wenngleich Schwankungen des Modellmix durch flexible Fertigungsanlagen kompensiert werden, können Durchsatz-Erhöhrungen zur Reduzierung langer Lieferzeiten nur langfristig erfolgen. Die Neuinstallation von

## 6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

Schweißanlagen, sofern möglich, dauert aufgrund des hohen Automatisierungsgrades und der damit verbundenen engen Prozessverkettung lange. Möglichkeiten eines flexiblen Kapazitätseinsatzes bestehen in den manuellen Ausschleusprozessen der Qualitätsprüfung und Nacharbeit durch die Nutzung der Mitarbeiterflexibilität.

Eine Intensivierung der Kapazitätsbelastung ist aufgrund des 24-Stunden-Betriebs in 15 Wochenschichten nur bedingt möglich. Die verfügbaren Pausenzeiten werden bereits zur Produktion genutzt. Eine Erhöhung der Taktzeit in den Arbeitssystemen ist kurzfristig nicht möglich. Alternativ wird die Wochenarbeitszeit in entsprechenden Personalvereinbarungen durch zusätzliche Schichten am Wochenende auf bis zu 21 Schichten erhöht. Deshalb kann im vorliegenden Wertschöpfungsprozess von einer **mittleren Belastungsflexibilität** gesprochen werden. In Tabelle 6-2 sind die steuerungsrelevanten Merkmale des Untersuchungsgegenstands zusammengefasst.

Kriterium	Ausprägungen				
Fertigungsprinzip	Werkbankprinzip	Baustellenprinzip	Werkstattprinzip	Inselprinzip	<b>Fließprinzip</b>
Fertigungsart	Einmal-Fertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	<b>Serienfertigung</b>	Massenfertigung	
Teilefluss	Chargenfertigung	losweiser Transport	Überlappte Fertigung	<b>One-Piece-Flow</b>	
Variantenanzahl	sehr niedrig	niedrig	<b>mittel</b>	hoch	sehr hoch
Materialflusskomplexität	sehr niedrig	niedrig	mittel	hoch	<b>sehr hoch</b>
Schwankung des Kapazitätsbedarfs	sehr niedrig	niedrig	mittel	<b>hoch</b>	sehr hoch
Kapazitätsflexibilität	<b>sehr niedrig</b>	niedrig	mittel	hoch	sehr hoch
Belastungsflexibilität	sehr niedrig	niedrig	<b>mittel</b>	hoch	sehr hoch

Tabelle 6-2: Steuerungsrelevante Fertigungsmerkmale des untersuchten Automobil-PP

Um fertigungsspezifische Faktoren zu detaillieren, wird die in Abschnitt 5.2.5 erläuterte Wertstromanalyse eingesetzt. Vom Übergabepunkt ausgehend bis zum internen Kunden „Lackiererei“ (Status X500) sind in Abbildung 6-11 die Prozesse stromaufwärts bis zum Prozessbeginn, der Karosseriebauauflage (Status X000) dargestellt.

# 6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

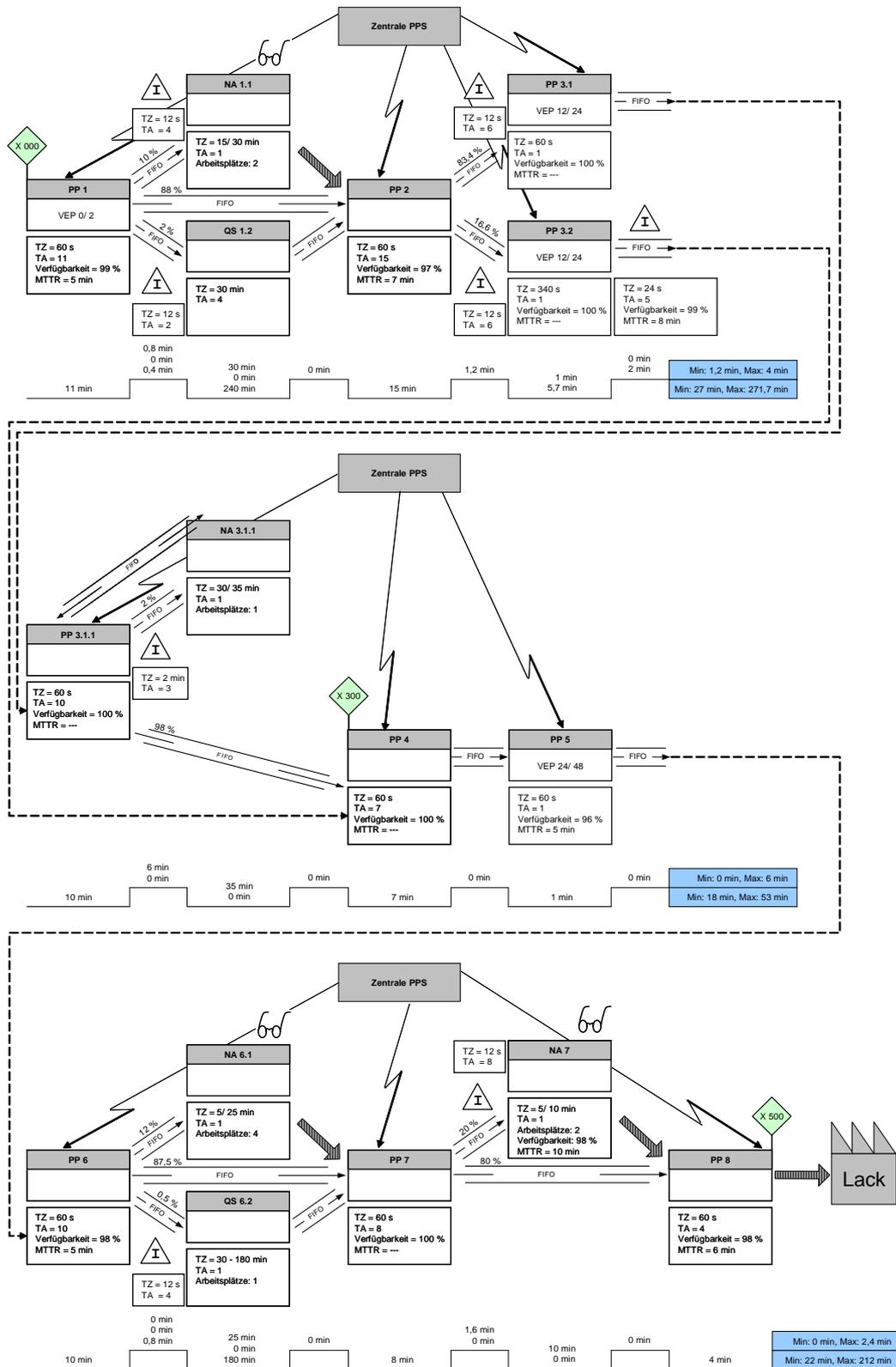


Abbildung 6-11: Extrakt aus dem Wertstromdiagramm zum untersuchten Karosseriebauprozess

Aus der verfügbaren Betriebszeit (1.440 Minuten) und der Soll-Ausbringungsmenge (Bedarfsmenge an Lack für 1.207 Karosserien pro Arbeitstag) nach der Produktionsplanung ergibt sich der Kundentakt von 71,58 Sekunden.

Der Karosseriebauprozess besteht aus acht einzelnen, stromabwärts durchnummerierten Produktionsprozessen (PP). Jeder Prozess hat eine vorgegebene Taktzeit, die sich aus der Verfügbarkeitsplanung und dem Durchsatz ergibt. Die Taktanzahl gibt an, wie viele Takte innerhalb des Prozesses existieren. Somit ergibt sich die Bearbeitungszeit oder PZ<sup>1</sup> des Prozesses (j) aus der Taktzeit, multipliziert mit der Taktanzahl. Die MTTR ist der Erwartungswert der Ausfalldauer des Prozesses [Arnold 2005]. Die Produktionsprozesse sind durch FIFO-Bahnen gekoppelt, die eine bestimmte Anzahl von Karossen aufnehmen können, wobei die Karossenreihenfolge beibehalten wird. Sobald die FIFO-Bahn voll ist, stoppt der Lieferprozess.

Jeder Prozess wird elektronisch über eine zentrale PPS in Form von Mengenvorgaben gesteuert. Die Nacharbeitsprozesse 1.1, 6.1 und 7 werden zusätzlich über eine „Go-see“-Steuerung gesteuert, d. h., die Reihenfolge, in der die Aufträge bearbeitet werden, wird von den Mitarbeitern vor Ort geplant [Klevers 2007]. Die Einsteuerung der Kundenaufträge aus der Produktionsplanung erfolgt am PP 1, wo der Kundenauftrag mit vollständiger Spezifikation einer Karosse durch einen Datenträger fix zugeordnet wird (feste Auftragszuordnung).

Nach diesem variantenerzeugenden Prozess mit einer Bearbeitungszeit von elf Minuten, in dem die sich beiden Produktvarianten des Fahrzeugantriebs (Frontantrieb/Allradantrieb) ausprägen, gelangen 88 % der Karossen direkt, 10 % über die Nacharbeit (NA) 1.1 mit einer Bearbeitungszeit von 30 Minuten und 2 % über die QS 1.2 mit einer Bearbeitungszeit von 240 Minuten über FIFO-Bahnen zum PP 2 mit einer Bearbeitungszeit von 15 Minuten. Die Lieferung von der NA 1.1 zum PP 2 erfolgt nach dem Push-Prinzip.

Danach folgt mit den PP 3.1 und 3.2 (Bearbeitungszeiten von einer Minute bzw. 5,7 Minuten) der zweite Variantenentstehungspunkt, wobei 83,4 % der Karossen zum PP 3.1. und 16,6 % über FIFO-Bahnen zum PP 3.2 gelangen. Die Variantentreiber sind hier die Motorisierung mit den drei möglichen Ausprägungen Diesel-, Otto- oder Elektrofahrzeug, die Lenkung als Links- oder Rechtslenker und die

---

<sup>1</sup> Werden synonym verwendet.

Dachantenne mit den Ausprägungen „mit“ oder „ohne“. Die Teile aus dem PP 3.1 gelangen dann über FIFO zum PP 3.1.1 mit einer Bearbeitungszeit von zehn Minuten, nach dessen Durchlaufen 2 % der Karossen in die NA 3.1.1 mit einer Bearbeitungszeit von 35 Minuten und anschließend in einem Rückführstrang wieder zum PP 3.1.1 gelangen.

Die restlichen 98 % der Karossen gelangen über eine FIFO-Fördertechnik vom PP 3.1.1 direkt zum PP 4 mit einer Bearbeitungszeit von sieben Minuten. Die Karossen aus dem PP 3.2. gelangen über FIFO direkt zum PP 4. Der Einlauf in diesen Abschnitt wird an einem Karossenerfassungspunkt (X300) dokumentiert. Alle Teile gelangen danach über FIFO zum PP 5, der den dritten Variantenentstehungspunkt darstellt und eine Bearbeitungszeit von einer Minute für einen Arbeitstakt hat. Als Varianten werden hier die Dachformen (mit oder ohne Schiebedach) erzeugt und die Karossengerippe anschließend zum PP 6 mit einer Bearbeitungszeit von zehn Minuten befördert.

Danach gelangen 87,5 % der Karossen direkt, 12 % über die NA 6.1 und 0,5 % über die QS 6.2 (Bearbeitungszeiten von 25 Minuten bzw. 180 Minuten, je nach Prüfung) über FIFO zum PP 7 mit einer Bearbeitungszeit von acht Minuten. Die Lieferung von der NA 6.1 zum PP 7 erfolgt nach dem Push-Prinzip bei Fertigstellung und Freigabe einer Nacharbeitskarosse. Nach dem PP 7 gelangen 80 % der Karossen direkt über FIFO und 20 % über die NA 7 (Bearbeitungszeit von zehn Minuten) nach dem Push-Prinzip zum PP 8 mit einer Bearbeitungszeit von vier Minuten bei vier Takten.

Abhängig von den Prozessen, die eine Karosse durchläuft, und den Füllständen in den FIFO-Bahnen ergeben sich unterschiedliche Gesamtware- und -prozesszeit. Die Gesamtwarezeit beträgt minimal 1,2 Minuten und maximal 12,4 Minuten. Die Gesamtbearbeitungszeit beträgt ohne Ausschleusvorgang über den PP 3.2 inklusive der Förderzeit minimal 64,86 Minuten und maximal 536,7 Minuten. Im gesamten Wertschöpfungsprozess existiert kein Prozess mit Rüstzeiten oder einer Losgrößen-Abhängigkeit. Die Variantenentstehungspunkte sind jeweils durch die mathematische (aufgrund der Kombination mögliche) Eingangs- und Ausgangsvarianz im Prozesskasten gekennzeichnet. In Tabelle 6-3 sind die wesentlichen Parameter des vorliegenden Karosseriebau-Wertschöpfungsprozesses zusammengefasst.

Prozess			Prozesszeit (PZ) [min]		Taktzeit (TZ)		Taktanzahl (TA)		Arbeitsplätze		Verfügbarkeit		MTTR		Steuerungsprinzip		Produktvarianz	
PP1			11min		60s		11				99%		5min				0/2	
10%		2%	0,8min	0,4min	12s	12s	4	2							FIFO	FIFO	-	-
NA1.1	88%	QS1.2	30min	0min	240min	15/30min	30min	1	4	2					FIFO	-	-	-
100%		100%	0min	0min	-	-	-	-	-	-					Push	FIFO	-	-
PP2			15min		60s		15				97%		7min					
83,4%	16,6%		1,2min	1,2min	12s	12s	6	6							FIFO	FIFO	-	-
PP3.1			1min		5,7min		60s		340s		1		1		100%		100%	
100%			0min	-	-	-	-	-	-	-					FIFO	-	-	12/24
PP3.1.1			10min		2min		60s		24s		10		5		100%		99%	
2%	98%		6min	0min	2min	2min	3	1							FIFO	FIFO	FIFO	-
NA3.1.1			35min	0min	30/35min	-	1	1	1						FIFO	FIFO	FIFO	-
PP4			7min		60s		7				100%							
100%			0min	-	-	-	-	-	-	-					FIFO	-	-	-
PP5			1min		60s		1				96%		5min				24/48	
100%			0min	-	-	-	-	-	-	-					FIFO	-	-	-
PP6			10min		60s		10				98%		5min					
12%		0,5%	0min	0,8min	-	12s	-	4							FIFO	FIFO	-	-
NA6.1	87,5%	QS6.2	25min	0min	180min	5/25min	30-180min	1	1	4	1				FIFO	-	-	-
100%		100%	0min	0min	-	-	-	-	-	-					Push	FIFO	-	-
PP7			8min		60s		8				100%							
20%			1,6min	-	12s	-	8	-	-	-					FIFO	-	-	-
NA7	80%		10min	0min	5/10min	-	1	-	2						-	FIFO	-	-
100%			0min	-	-	-	-	-	-	-					Push	-	-	-
PP8			4min		60s		4				98%		6min					

Tabelle 6-3: Übersicht über die Fertigungsparameter aus Wertstromdiagramm

Aufgrund des geringen Detaillierungsgrades der Wertstromanalyse hinsichtlich des Prinzips, der eingesetzten Verfahren zur Auftragserzeugung und -freigabe, sowie Reihenfolgen- und Kapazitätssteuerung sowie der zugehörigen Verfahrensparameter der Fertigungssteuerung werden diese im Folgenden beschrieben.

Die eingesetzte Steuerung folgt dem **Push-Prinzip**. Das Ziel der vorliegenden PPS ist es, den Auftrag so zu steuern, dass dieser zum vereinbarten Termin fertiggestellt wird. Dabei erfolgt die Auftragsauslösung durch eine übergeordnete **zentrale Planungsebene** in Materialflussrichtung. Die Aufträge haben sowohl einen Endtermin als auch eine eindeutige Auftragsnummer, und es fehlt eine Input-Output-Kopplung, da zwischen dem Output am Status X500 und dem Input am Status X000 keine Synchronisation erfolgt. Dies führt zu WIP- und Durchlaufzeit-Schwankungen. Als Verfahren zur Auftragserzeugung wird das Prinzip des **MRP** eingesetzt.

Vom Vertriebs-/Kundenbedarf (planbedarfsorientiert) an Komplettfahrzeugen ausgehend erfolgt „top-down“ hierarchisch auf Plan-Durchlaufzeit basierend eine Rückwärtsterminierung für alle Materialien. Im der Kapazitätsplanung werden die vorhandenen Ressourcen berücksichtigt und die Soll-Outputs für alle Arbeitssysteme ermittelt. Das Ergebnis sind terminierte Produktionsaufträge. Die Auftragsfreigabe am Karosseriebaustart erfolgt, wenn der Plan-Starttermin eines

Auftrags erreicht ist, und zielt damit auf die exakte Umsetzung des Produktionsplans ab. Das Verfahren dazu lautet **Auftragsfreigabe nach Termin**.

Die Reihenfolgensteuerung der Fertigungssteuerung bestimmt, welcher Auftrag in der Warteschlange eines Arbeitssystems als Nächstes bearbeitet wird. Aufgrund der fördertechnischen Verkettung ohne Reihenfolgentauschmöglichkeit zwischen den Produktionsprozessen lautet die Prioritätsregel hier **FIFO oder FCFS**. In den Arbeitssystemen mit „Go-see“-Steuerung werden die Karossen nach einer individuellen, nicht regelbasierten (willkürlichen) Priorität abgearbeitet. Die Prioritätsregel dazu lautet **Random-** oder Zufallsregel.

Die Kapazitätssteuerung entscheidet kurzfristig über den tatsächlichen Einsatz der Kapazitäten und legt den Fokus auf die Regelung von Rückständen oder die Vermeidung von Verspätungen. Aufgrund der 24-Stunden-Fahrweise und somit **fehlender Kapazitätsflexibilität** ist **keine Rückstandsregelung** möglich. Die Rückstandsmessung als Differenz zwischen kumulierten Plan- und Ist-Abgängen erfolgt, allerdings mengenbasiert und nicht auf der Basis der Plan-Fertigstellungstermine. Eine Kompensation des kumulierten Mengen-Rückstand erfolgt durch Wochenendzusatzschichten. Um eine permanent hohe Termintreue trotz auftretender Störungen sicherzustellen, erfolgt keine Anpassung der Kapazität, sondern ein Vorgriff bei der Auftragsfreigabe in störungsfreien Zeitperioden.

Die wichtigsten Verfahrensparameter einer MRP-Steuerung sind die Planübergangszeit (Durchlaufzeit), die Auftrags-Losgröße, der Sicherheitsbestand und der Planungsrhythmus. Aufgrund der fehlenden WIP-Deckelung, der zahlreichen Ausschleusstellen zur Nacharbeit oder Qualitätsprüfung sowie der Parallelprozesse mit unterschiedlichen Prozesszeiten und Verfügbarkeiten ist eine Plan-Durchlaufzeit nur schwer ermittelbar und reproduzierbar. Am Prozessende existiert kein Sicherheitsbestand. Lediglich vor den einzelnen Arbeitssystemen werden FIFO-Entkopplungspuffer eingesetzt. Aufgrund der kundenauftragsbezogenen Fertigung ohne Batchrestriktionen beträgt die Auftrags-Losgröße 1. Der Planungsrhythmus erfolgt täglich mehrere Tage im Voraus bei der Bildung von Tagespaketen.

Komplettiert wird die Umfeldanalyse durch eine Untersuchung der Auftragszusammensetzung und Produktvarianzentstehung als Elemente des

Variantenmanagements. Aus der Wertstromanalyse wurden bereits Parameter der Karosserienvarianz ermittelt, die Tabelle 6-4 zusammengefasst darstellt.

Varianten-entstehung	Varianten-treiber	Varianten-ausprägung	Eingangsvarianz		Ausgangsvarianz	
			theoret.	real	theoret.	real
PP 1	Antrieb	Front	0	0	2	2
		Allrad				
PP 3	Motor	Diesel	2	2	24	20
		Otto				
		elektrisch				
	Lenkung	links				
		rechts				
	Antenne	mit				
ohne						
PP 5	Schiebe-dach	mit	24	20	48	24
		ohne				

Tabelle 6-4: Übersicht über die Variantenparameter aus Wertstromdiagramm

Die Differenzen zwischen der theoretischen und der realen Eingangs- bzw. Ausgangsvarianz ergeben sich aufgrund von Restriktionen. Im vorliegenden Fall ist durch die Kombination der Anzahl der Ausprägungen mathematisch eine theoretische Produktvarianz von  $2 \times 3 \times 2 \times 2 \times 2 = 48$  möglich. Tatsächlich werden einzelne Kombinationen aus technischen oder Marketingaspekten im Verkaufsprogramm nicht angeboten und sind somit vom Kunden nicht bestellbar (z. B. die Kombination eines Elektromotors mit Allradantrieb). Die Klassifizierung der Varianz nach interner und externer (für den Kunden wahrnehmbarer) ergibt das folgende Ergebnis: Lediglich der Variantentreiber „Schiebedach“ ist als externer Varianzfaktor einzustufen, da diese Ausprägung der Rohkarosserie zwingend über die Dachform erzeugt werden muss. Anders verhält es sich mit den vier restlichen Variantentreibern, die nicht zwingend eine Ausprägung der Rohkarosserie erhalten müssten, sondern standardisiert ausgelegt werden könnten. Die Differenzierung könnte bei der Postponement-Strategie (vgl. dazu 2.1) über spätere Prozessstufen oder spezifische Montageteile erfolgen. Die ABC-Analyse der Auftragszusammensetzung komplettiert die Ermittlung der Variantenparameter. Als Eingangsgrößen notwendig für die ABC-Analyse sind

## 6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

- die zu untersuchenden Karosserievarianten mit einer eindeutigen Variantennummer und
- Historiendaten eines repräsentativen, ausreichend großen Zeitraums mit eindeutigen Auftragsnummern zugeordneten Variantennummern und den Zeitstempeln der relevanten Statuspunkte.

Für den vorliegenden Fall wurde ein Zeitraum von ca. zwei Monaten mit insgesamt 50.000 Aufträgen gewählt, was allen Fahrzeugen entspricht, die in diesem Zeitraum den Status X500 erhalten haben. Die Vorgehensweise und das Ergebnis der ABC-Analyse sind im Folgenden tabellarisch und grafisch dargestellt.

Anzahl	Variantennummer i	Anzahl Aufträge Variante i	Anzahl Aufträge kum	Bedarfsrate Variante i	Bedarfsrate kum	Anteil Anzahl Variante i	Anteil Anzahl kum	ABC
1	21111	16828	16828	33,66%	33,66%	4,17%	4,17%	A
2	11111	10096	26924	20,19%	53,85%	4,17%	8,33%	A
3	21211	8414	35338	16,83%	70,68%	4,17%	12,50%	A
4	23111	2195	37533	4,39%	75,07%	4,17%	16,67%	A
5	11122	1529	39062	3,06%	78,12%	4,17%	20,83%	A
6	21121	1262	40324	2,52%	80,65%	4,17%	25,00%	B
7	11121	1121	41445	2,24%	82,89%	4,17%	29,17%	B
8	21221	1121	42566	2,24%	85,13%	4,17%	33,33%	B
9	12111	952	43518	1,90%	87,04%	4,17%	37,50%	B
10	12122	885	44403	1,77%	88,81%	4,17%	41,67%	B
11	23211	885	45288	1,77%	90,58%	4,17%	45,83%	B
12	21112	855	46143	1,71%	92,29%	4,17%	50,00%	B
13	21212	673	46816	1,35%	93,63%	4,17%	54,17%	B
14	23121	623	47439	1,25%	94,88%	4,17%	58,33%	B
15	21122	467	47906	0,93%	95,81%	4,17%	62,50%	C
16	23221	424	48330	0,85%	96,66%	4,17%	66,67%	C
17	11112	334	48664	0,67%	97,33%	4,17%	70,83%	C
18	23122	295	48959	0,59%	97,92%	4,17%	75,00%	C
19	12121	295	49254	0,59%	98,51%	4,17%	79,17%	C
20	21222	231	49485	0,46%	98,97%	4,17%	83,33%	C
21	23212	149	49634	0,30%	99,27%	4,17%	87,50%	C
22	23222	146	49780	0,29%	99,56%	4,17%	91,67%	C
23	23112	143	49923	0,29%	99,85%	4,17%	95,83%	C
24	12112	77	50000	0,15%	100,00%	4,17%	100,00%	C
<b>Summe</b>		<b>50000</b>		<b>100,00%</b>				

Tabelle 6-5: Ergebnis der ABC-Analyse (tabellarisch)

Circa 20 % der Varianten (fünf Variantennummern) haben einen Anteil von ca. 80 % an der Produktion. Knapp 40 % aller Varianten, die Low-Runner (C-Varianten), verursachen weniger als 5 % der Gesamtproduktionsmenge.

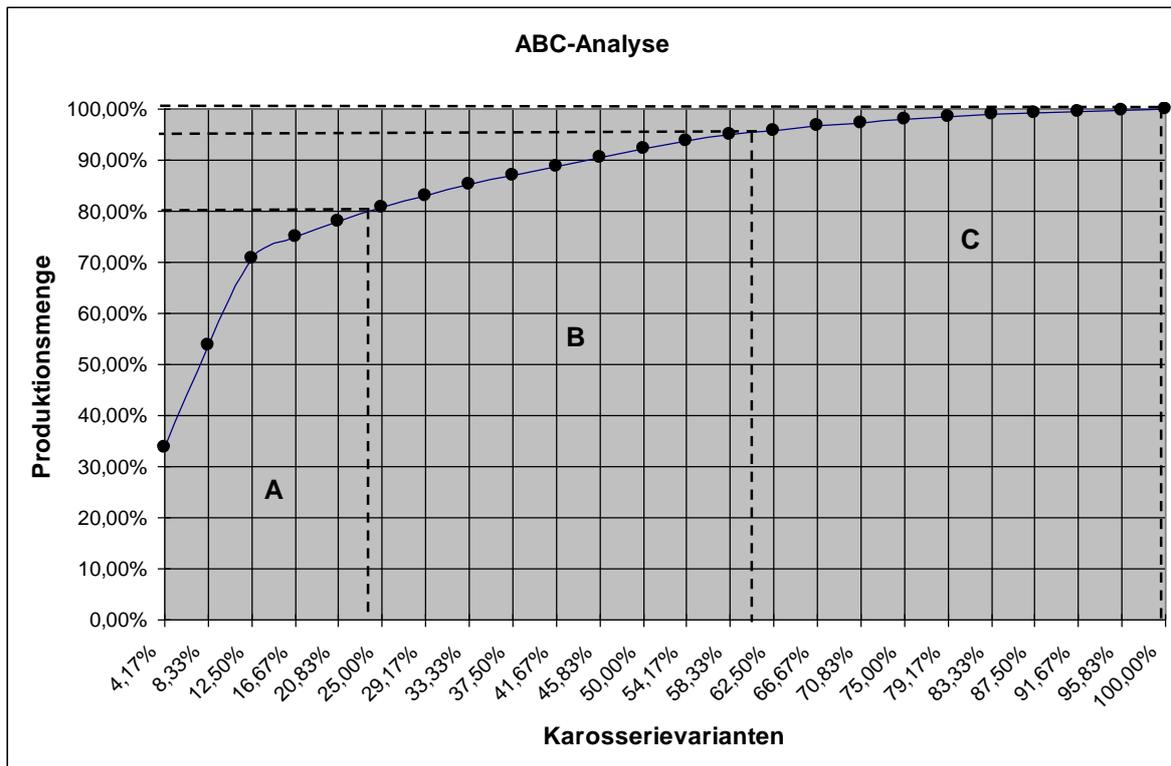


Abbildung 6-12: Ergebnis der ABC-Analyse (grafisch)

Den Abschluss der Umfeldanalyse bildet ein Blick auf die Erreichung der logistischen Zielgrößen in der Ausgangssituation. Dazu sind in Tabelle 6-6 die ermittelten Werte der in Abschnitt 4.2.2 beschriebenen Zielgrößen dargestellt.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DLZ <sub>mit</sub> [min]	Reihenfolgen-einhaltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen-rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen-abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard-abweichung Reihenfolgen-abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf-bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess-ende B <sub>s</sub> [Kar]
<b>Ausgangssituation</b>	1207	91,34	45,88	28	12,86	20,08	76,35	0,0

Tabelle 6-6: Ausgangssituation der Erreichung der logistischen Zielgrößen im untersuchten Karosseriebauprozess

Mit den zahlreichen Ausschleusungen zur Nacharbeit und Qualitätsprüfung in Verbindung mit der Random-Reihenfolgensteuerung und den parallelen Prozessen sind die Werte der Kennzahlen zur Reihenfolgenbewertung zu erklären. Damit werden die in Abschnitt 4.2.2 definierten Ziele hinsichtlich der Reihenfolgenstabilität nicht eingehalten. Die Zielgrößen der Durchlaufzeit und WIP sind aufgrund

fehlender Soll-Vorgaben lediglich mit deren technischem Minimum vergleichbar. Aus der Wertstromanalyse ergibt sich eine minimale Prozesszeit von 67 Minuten, gegenüber einer mittleren Durchlaufzeit von 91 Minuten.

Hinsichtlich der WIP kann der minimale Systemfüllstand über das Wertstromdiagramm aus der Summe der Takte ermittelt werden. Dieser beträgt 68 Karossen. Berücksichtigt werden dabei nur alle Produktionstakte, in Parallelprozessen alle Produktionsstränge. Dem unterliegt des Weiteren, dass die FIFO-Fördertechnikmodule leer sind. Gegenüber dem Ausgangszustand ist hier eine Differenz von durchschnittlich ca. 8 Karossen vorhanden. Mit den Erkenntnissen aus der Umfeldanalyse und den Anforderungen aus Abschnitt 6.1 stehen alle Selektionskriterien zur Bestimmung geeigneter schlanker Verfahren zur Verfügung. In Verbindung mit Tabelle 6-6 ergeben sich auch die mit der Konfiguration zu erreichenden Zielgrößen, die im Folgenden dargestellt werden.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DLZ <sub>mit</sub> [min]	Reihenfolgen-einhaltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen-rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen-abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard-abweichung Reihenfolgen-abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf-bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess-ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
Zielgrößen	1207	91,34	98,00	28	5,00	10,00	76,35	

Tabelle 6-7: Logistische Zielgrößen im untersuchten Prozess

### 6.3.2 Verfahrensauswahl

Im folgenden Abschnitt wird die methodengestützte Selektion schlanker Verfahren zur Erzeugung, Freigabe, Reihenfolgen- und Kapazitätssteuerung von Produktionsaufträgen durchgeführt. Als Kriterien zur Bewertung deren Eignung werden die Merkmale einer schlanke-Fertigungs-Steuerung und die Leitsätze zur Gestaltung von Produktionssteuerungen aus Abschnitt 6.1 herangezogen. Ein Verfahren gilt nur dann als zweckdienlich, wenn es alle Ansprüche erfüllt. Die Erfüllung produktionslogistischer Zielgrößen wird bei der Validierung und Bewertung in Abschnitt 6.3.4 überprüft.

#### 6.3.2.1 Auswahl des Auftragserzeugungsverfahrens

Mit der Auswahl des Verfahrens zur Erzeugung von Produktionsaufträgen wird durch die damit verbundene Festlegung/Umsetzung der Plan-Reihenfolge am Prozessstart das Fundament einer stabilen Produktion gelegt. Anhand der in

Abschnitt 6.2 erarbeiteten Vorgehensweise erfolgt durch Überprüfung hinsichtlich des Zentralisierungsgrades und des Verfahrensprinzips die Selektion der möglichen Verfahren. Das künftige Auftragserzeugungsverfahren muss diesen qualitativen Anforderungen gemäß dezentral nach dem Pull-Prinzip ausgelegt sein, was konkret bedeutet, dass

- die Auftragserzeugung nicht von einer übergeordneten zentralen PPS, sondern durch das operative Fertigungspersonal in der Produktion erfolgt,
- die Art der Auslösung einer Auftragsfertigung nach dem Kundenbedarf erfolgt,
- die Produktionsaufträge keinen Endtermin und keine feste Auftragsnummer besitzen und
- eine Output-Input-Kopplung erfolgt.

Gemäß Tabelle 4-3 erfüllt lediglich der **Kanban** alle diese Anforderungen an das Auftragserzeugungsverfahren. Das MRP, die Fortschrittszahlensteuerung, die Engpasssteuerung und der BS zählen gemeinsam mit der CONWIP zu den zentral organisierten Fertigungssteuerungsverfahren. Die Polca und die DBF werden gemeinsam mit dem Kanban hinsichtlich ihrer Verfahrenscharakteristik als dezentrale Systeme bezeichnet. Die Klassifizierung nach Pull oder Push der drei dezentralen Verfahren ist wie in Abschnitt 4.3.3 schwierig und in der Literatur nicht eindeutig bestimmt. Die Polca und die DBF finden ihren Einsatz allerdings in der Auftragsfreigabe, nicht in der Auftragserzeugung und sind somit auf diesen Schritt der Konfiguration nicht anwendbar.

Bei der Kanbansteuerung wird die Verantwortung an die Mitarbeiter in der Produktion delegiert (**Erfüllung: dezentrale Steuerung der Produktion**). Das Kanbanverfahren folgt dem Ziehprinzip, da ein Kundenbedarf durch die Entnahme eines Produkts aus einem Supermarkt (Auslösungslogik: ereignisorientierte Auftragserzeugung) am Prozessende die Nachproduktion auslöst. Die Anzahl der Kanban bestimmt und regelt dabei die WIP. Die Produktion des frei gewordenen Kanban erfolgt ohne feste Auftragsnummer und ohne spezifisch zugeordneten Plan-Endtermin auf der Basis von Plan-Durchlaufzeit. Damit sind die drei Kriterien einer Zieh-Steuerung erfüllt (**Erfüllung: Steuerung nach Pull-Prinzip**).

Hinsichtlich des Erzeugnisumfangs ist das Verfahren den einstufigen Auftragserzeugungsverfahren zuzuordnen, da ein Fertigwaren-Produktions-Kanban

lediglich die Produktion eines Fertigprodukts und nicht gleichzeitig auch die der Einzelkomponenten auslöst. Die Anforderung der Reihenfolgensteuerung nach FIFO im Kundentakt wird primär durch die Auswahl einer Prioritätsregel in der Reihenfolgensteuerung erfüllt. Eine direkte Umsetzung der Anforderung ist aufgrund der Aufgabenspezifika nicht möglich. Die Kanbansteuerung verursacht indes keine Reihenfolgenvertauschungen und ermöglicht die direkte Umsetzung des Kundentakt (**Erfüllung: Reihenfolgensteuerung nach FIFO im Kundentakt**).

Eine Fertigungssteuerung muss in der Lage sein, Rückstände durch Kapazitätsanpassungen zu verhindern oder zu kompensieren. Die Verfahrensregeln der Kanbansteuerung lassen eine Rückstandsregelung unberücksichtigt, da dies in die Kapazitätssteuerung Eingang findet. Eine Kombination des Kanban mit einem Verfahren zur Kapazitätsanpassung ist möglich (**Erfüllung: Ausgleich von Planabweichungen durch Rückstandsregelung**).

Ein zeitlicher Belastungsabgleich beschleunigt oder verzögert die Freigabe oder den Durchlauf von Aufträgen mit dem Ziel, einen Materialflussabriss zu vermeiden (Beschleunigung) oder einen Bestandsaufbau zu verhindern (Verzögerung). Die Kanbansteuerung führt keinen Belastungsabgleich durch, der die Freigabe eines Auftrags von der Belastung sämtlicher zu durchlaufenden Arbeitssystemen abhängig macht, weil dies eine mit den Kapazitäten abgestimmte Belastungsplanung voraussetzt. Die Kanbansteuerung verhindert jedoch einen Bestandsaufbau an nachfolgenden Arbeitssystemen, in dem diese die Bearbeitung von Material verzögert, für das kein Kanban verfügbar ist (**Erfüllung: Abgleich der Belastung mit Kapazität ermöglichen**).

Das Ziel eines Fertigungssteuerungsverfahrens ist, möglichst wenige blockierte Bestände zu verursachen, was in der Praxis nicht immer zu verhindern ist. Bei einer Kanbansteuerung sind am Ende eines Arbeitssystems lediglich die Teile im Supermarkt blockiert, für die in keinem der nachfolgenden Arbeitssysteme ein Produktionsauftrag in Form eines freien Kanban vorliegt. Bei vollkommen gleichmäßiger Nachfrage und exakt eingehaltenen Wiederbeschaffungszeit und -mengen entspricht die Höhe des blockierten Bestands dem Sicherheitsbestand. Aufgrund des Umstands, dass die blockierten Bestände exakt transparent und durch Parametrisierung beeinflussbar sind, erfüllt der Kanban diese Anforderung hinsichtlich der Verfahrensgestaltung (**Erfüllung: Verursachung möglichst weniger blockierter Bestände**).

Die Bedeutung von Engpässen in einer Fertigung nimmt zu, je größer die Unterschiede im Arbeitsrhythmus sind. Diese Engpässe muss die Produktionssteuerung berücksichtigen. Die Regeln der Kanbansteuerung berücksichtigen den Durchsatz-Engpass in einer Fertigung nicht explizit. Dennoch gibt der Fertigungsengpass den Takt der Fertigung vor. Über eine entsprechende Supermarktdimensionierung bei der Verfahrensparametrisierung können die Engpass-Arbeitssystem besonders berücksichtigt werden (**Erfüllung: Berücksichtigung des Engpassprinzips**).

Um Überproduktion und Überlieferung zu vermeiden, sind verbrauchsgesteuerte JIT-Versorgungs-Strategien sinnvoll. Das Ziel ist es, den Kunden – damit ist der nächste Prozess gemeint – zu beliefern mit dem, was dieser benötigt, wann dieser es benötigt und mit der Menge, die dieser benötigt. Der Kanban gilt als wichtigster Vertreter der verbrauchsgesteuerten Verfahren (**Erfüllung: Vermeidung von Überproduktion**).

Um die JIT-Produktion zu erleichtern, ist durch Nivellierung und Glättung des Produktionsprogramms eine ausgeglichene Produktionsauslastung der Mitarbeiter vorzusehen. Zum einen ermöglicht der Kanban die Einsteuerung eines nivellierten Produktionsprogramms, und zum anderen kann durch die Installation von Heijunka-Tafeln zwischen Supermarkt und vorgelagertem Produktionsprozess eine Glättung realisiert werden (**Erfüllung: Unterstützung von Nivellierung und Glättung**).

Die beiden letzten Anforderungen an ein schlankes Auftragserzeugungsverfahren erfordern eine schnelle/unverzerrte Kommunikation von Nachfrageinformationen an die Produktion und die Einfachheit des Systems. Beides erfüllt die Kanbansteuerung. Die Einfachheit des Verfahrens wird damit belegt, dass für den Einsatz nicht einmal ein rechnergestütztes Informationssystem notwendig ist. Des Weiteren wird durch die einfache Visualisierung der Notwendigkeit der Nachproduktion infolge leerer Plätze im Supermarkt eine schnelle Akzeptanz durch den Shop-Floor erzeugt (**Erfüllung: Einfachheit des Produktionssteuerungsverfahrens**).

Eine verzögerte Weitergabe von Nachfrageinformationen führt zu Bedarfsschwankungen auf vorgelagerten Stufen der Lieferkette (Bullwhip-Effekt). Als Schnittstelle zur Produktionsplanung sollte das Verfahren zur Auftragserzeugung eine schnelle/unverzerrte Kommunikation ermöglichen. Die Voraussetzungen dafür sind aber meist bei der Ausgestaltung der

Informationsprozesse des Kundenauftragsprozess zu schaffen. Die Kanbansteuerung überträgt Nachfrageinformationen grundsätzlich nur punktuell (zum Bestellzeitpunkt). Dieser scheinbare Nachteil wird durch kleine, in allen Arbeitssystemen aufeinander abgestimmte Losgröße kompensiert (**Erfüllung: schnelle/unverzerrte Kommunikation von Nachfrageinformationen**).

Damit erfüllt die Kanbansteuerung alle qualitativen Anforderungen an ein Verfahren zur Auftragserzeugung. Die Voraussetzungen dafür sind zum einen eine korrekte situative Festlegung der Verfahrensparameter und zum anderen eine Ergänzung um zweckmäßige Verfahren zur Freigabe, Reihenfolgen- und Kapazitätssteuerung, die in den folgenden Abschnitten im Selektionsprozess durchgeführt wird.

### 6.3.2.2 Auswahl des Auftragsfreigabeverfahrens

Über die Determinierung des Startzeitpunkts eines Produktionsauftrags beeinflusst die Auftragsfreigabe den Bestand, die bestandsbedingte Auslastung der Fertigung und die Durchlaufzeit der Aufträge. Diese beiden sowohl Regel- als auch Zielgrößen finden auch in die Anforderungen an ein schlankes Auftragsfreigabeverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen Eingang.

Die in der Literatur am häufigsten vorzufindenden Verfahren zur Freigabe von Aufträgen sind die CONWIP, die OPT, die Polca, die DBF, die Auftragsfreigabe nach Termin, die BOA und die sofortige Auftragsfreigabe. Das letzte Verfahren findet in dieser Arbeit keine Beachtung, da dieses die zentrale Aufgabe eines Auftragsfreigabeverfahrens nicht erfüllen kann. Die übrigen Verfahren werden im Folgenden zunächst nach den Anforderungen hinsichtlich des Verfahrensprinzips und Zentralisierungsgrades bewertet.

Die Auftragsfreigabe nach Termin zielt auf die direkte Umsetzung des Produktionsplans ab, indem die exakten Plan-Starttermine der Produktionsaufträge errechnet werden. Das Verfahren wird als zentral organisiert eingeordnet und erfüllt nicht die Anforderungen an eine dezentrale Steuerung. Aus Abbildung 6-7 geht hervor, dass die bestandsregelnden Verfahren Polca und DBF nicht von übergeordneten Zentralorganisationen betrieben werden.

Hinsichtlich der Einordnung Push/Pull nach Tabelle 4-3 sind beide Verfahren Vertreter des Schiebepinzips und somit nicht geeignet. Dadurch ergibt sich bei der Auswahl des Verfahrens zur Auftragsfreigabe ein Zielkonflikt zwischen dem Zentralisierungsgrad und dem Verfahrensprinzip. Es existiert kein Einzelverfahren,

das dezentral und nach dem Pull-Prinzip organisiert ist und somit beide Anforderungen erfüllt. Dies erfordert einen weiteren Iterationsschritt, in dem entweder idealerweise die Auflösung des Konflikts durch ein neues Verfahren möglich wird oder die Priorisierung einer der beiden Anforderungen erfolgt.

Bei der Betrachtung der nächsten zentralen Anforderung an das künftige Freigabeverfahren wird der Zielkonflikt zwar nicht gelöst, aber entschärft. Aufgrund der bewusst in Kauf genommenen Reihenfolgenvertauschungen bei der Auftragsfreigabe sind, wie in Abschnitt 6.2 bereits festgestellt, alle Verfahren, die einen Arbeitssystem-spezifischen Belastungsabgleich durchführen, nicht zur Stabilisierung von Auftragsreihenfolgen geeignet, was im vorliegenden Fall die BOA betrifft.

Bei den dezentralen Bestandsregelungsverfahren werden ebenfalls Reihenfolgenvertauschungen aufgrund blockierter Aufträge verursacht [Lödding 2001], was aufgrund der elementaren Stellung der Reihenfolgeneinhaltung dazu führt, dass lediglich die zentralen Bestandsregelungsverfahren CONWIP und Engpasssteuerung und die nicht bestandsgeregelte zentrale Auftragsfreigabe nach Termin übrig bleiben.

Von diesen drei Verfahren folgen die Engpasssteuerung und die Auftragsfreigabe nach Termin dem Push-Prinzip, da beiden die drei Merkmale einer Pull-Steuerung, insbesondere die Input-Output-Kopplung fehlen. Die CONWIP-Steuerung wird von Hopp als zentral organisiert definiert, „because in a CONWIP system cards do not identify any specific part number. Instead, they come to the front of the line and are matched against a release list, which gives the sequence of parts to be introduced to the line. This release list, or sequence, must be generated by a module outside the CONWIP loop, in a manner analogous to master production scheduling in an MRP system“ [Hopp 2000].

Das entscheidende Element der Deklaration zum zentralen Verfahren ist bei der CONWIP eine von einem übergeordneten System erzeugte Liste mit Produktionsaufträgen in einer Abarbeitungsreihenfolge. Bei der Kombination mit einer Kanbansteuerung ist diese Auftragsliste am Prozessstart analog einer MRP-Steuerung nicht notwendig, da die Variante und Produktionsreihenfolge über die Kanban des nachgelagerten Arbeitssystems (Supermarkts) spezifiziert werden.

Die CONWIP-Steuerung gibt lediglich die Legitimation zur Nachproduktion, vom Prozessende dezentral ausgelöst. In der Literatur wird hier von einem hybriden

Steuerungsverfahren gesprochen (vgl. dazu 4.3.4). Als Ergebnis des Prozesses der Auswahl eines Auftragserzeugungsverfahrens wird somit die CONWIP in Verbindung mit dem Kanban (als Kanban-CONWIP) weiterverfolgt. Damit ist auch das Kriterium der Auftragsfreigabe festgelegt.

Bei der CONWIP-Steuerung erfolgt die Freigabe nach der Belastung des gesamten Arbeitssystems. Hinsichtlich des Detaillierungsgrades wird bei der CONWIP in Verbindung mit dem Kanban der gesamte Auftrag freigegeben. Deren Auslösungslogik ist ereignisorientiert, die Freigabe erfolgt, sobald der Bestand der Fertigungslinie die Bestandsgrenze unterschreitet. Eine hybride Kanban-CONWIP-Auftragsfreigabe erfüllt somit die Anforderungen hinsichtlich des Zentralisierungsgrades und der Verfahrenscharakteristik (**Erfüllung: dezentrale Steuerung der Produktion und Erfüllung: Steuerung nach dem Pull-Prinzip**).

Wie bereits mehrmals erörtert, stellt die Reihenfolgenstabilisierung der gewählten Konfiguration eine wesentliche Anforderung dar. In einem Kanban-CONWIP-System kommt dabei dem letzten Arbeitssystem eine große Bedeutung zu. Die Reihenfolgenregel und -disziplin bestimmen die Reihenfolgenbearbeitung für die gesamte Produktion.

Das CONWIP-Verfahren erzeugt in den Arbeitssystemen grundsätzlich keine Verwirbelung der Reihenfolge, ist aufgrund der fehlenden proaktiven Möglichkeit der Stabilisierung und der Bedeutung des ersten Arbeitssystems als Reihenfolgen-Schrittmacher aber zwingend mit einer Prioritätsregel der Reihenfolgensteuerung zu kombinieren. Die Einhaltung des Kundentakt wird durch die unmittelbare Weitergabe der Nachfrage an das erste Arbeitssystem sichergestellt – die Voraussetzung dafür ist allerdings die Fertigstellung eines Auftrags und somit die allgemeine Prozessfähigkeit zur Sicherstellung des Kundentakt (**Erfüllung: Reihenfolgensteuerung nach FIFO im Kundentakt**).

Durch die strikte Ausrichtung auf den Kunden und seinen Bedarf wird Überproduktion vermieden. Über die hybride Kanban-CONWIP-Steuerung werden die Aufträge durch kurze Regelkreise verbrauchsorientiert nach Kundenentnahme erzeugt und freigegeben (**Erfüllung: Vermeidung von Überproduktion**). Im Gegensatz dazu ist es desgleichen notwendig zu wissen, wann die Kapazitäten erhöht werden müssen. Dazu ist die Steuerung mit einer geeigneten Rückstandsregelung zu versehen.

Die untersuchten Auftragsfreigabeverfahren, auch die CONWIP, sehen per se keine Rückstandsregelung vor, so dass die Kombination mit einer solchen notwendig ist (**Erfüllung: Ausgleich von Planabweichungen durch Rückstandsregelung**).

Präventiv einer Rückstandsregelung beschleunigt oder verzögert ein zeitlicher Abgleich der Belastung mit der Kapazität die Freigabe oder den Durchlauf von Aufträgen. Eine Beschleunigung verhindert einen Materialflussabriss, wohingegen eine Verzögerung einen Bestandsaufbau hemmt. Durch die Bestandsdeckelung verhindert die hybride Kanban-CONWIP-Steuerung einen Bestandsaufbau, vorgezogen werden Aufträge allerdings nur, wenn der Gesamtbestand den Plan-Bestand unterschreitet. Dies geht mit einer somit nur bedingten Berücksichtigung des Engpassprinzips einher.

Hopp und Spearman sehen darin kein Problem, da sich die Aufträge automatisch am aktuellen Durchsatz-Engpass der Fertigung stauen würden. Der daraus resultierende Bestand schütze das Arbeitssystem vor Auslastungsverlusten [Hopp 2000] (**Erfüllung: Abgleich der Belastung mit Kapazität ermöglichen** und **Erfüllung: Berücksichtigung des Engpassprinzips**).

Eine Parametrisierung des CONWIP-Verfahrens zur Nivellierung und Glättung ist durch Heijunka-Tafeln an den Arbeitssystemen möglich. Im ersten Prozess ist lediglich sicherzustellen, dass zur Verhinderung von WIP-Schwankungen eine CONWIP-Karte den Start eines Auftrags auslöst (**Erfüllung: Unterstützung von Nivellierung und Glättung**).

Wie bei der Kanbansteuerung sind am Ende eines Arbeitssystems die Fertigwaren im Supermarkt blockiert, für die in keinem der nachfolgenden Arbeitssysteme ein Kanban vorliegt. Über eine geeignete Verfahrensparametrisierung kann Einfluss auf die Höhe genommen werden. Das Ausmaß der blockierten Bestände einer hybriden Steuerung ist zudem etwas geringer als das einer konventionellen Kanbansteuerung [Lödding 2005] (**Erfüllung: Verursachung möglichst weniger blockierter Bestände**).

Die hybride Kanban-CONWIP-Steuerung überträgt Nachfrageinformationen direkt aus dem Fertigwaren-Lager an die erste Produktionsstufe, so dass eine schnelle und unverzerrte Kommunikation vorhanden ist (**Erfüllung: schnelle/unverzerrte Kommunikation von Nachfrageinformationen**). Wenngleich die Kombination von Verfahren nicht zur Vereinfachung führt, ist die Praxistauglichkeit aufgrund des

überschaubaren Funktionsprinzips und der geringen Anzahl von Verfahrensparameter der visuellen Kartensteuerung gegeben (**Erfüllung: Einfachheit des Produktionssteuerungsverfahrens**).

Durch eine Kombination einer Kanbansteuerung zur Auftragserzeugung mit einer CONWIP-Steuerung zu einem hybriden Verfahren zur Auftragsfreigabe werden alle qualitativen Anforderungen erfüllt. Allerdings wurde auch deutlich, dass die Konfiguration ohne Ergänzung durch ein Verfahren zur Reihenfolgen- und Kapazitätssteuerung nicht praxistauglich ist. Diese erfolgt in den nächsten Abschnitten.

### 6.3.2.3 Auswahl der Reihenfolgensteuerung

Die Liefertreue ist die logistische Zielgröße, auf welche die Reihenfolgenbildung und -steuerung den größten Einfluss haben. Dieser Einfluss kann in beide Richtungen ausgeübt werden. Eine Random-Prioritätsregel führt zu einer Verschlechterung der Liefertreue. Durch einen bewussten Einsatz der Reihenfolgensteuerung können Plan-Abweichungen aber desgleichen kompensiert und kann die Liefertreue erhöht werden. Die Reihenfolgensteuerung bestimmt, welcher Auftrag in der Warteschlange eines Arbeitssystems als Nächstes bearbeitet wird. Damit werden die zwei wesentlichen Funktionen zur Stabilisierung von Auftragsreihenfolgen erfüllt: Reihenfolgenvertauschungen zu verhindern und Verwirbelungen durch entsprechende Priorisierung auszugleichen.

Aufgrund des hohen Detaillierungsgrades und der Güte der Auftragsterminierung in Form von Soll-Sequenzen im vorliegenden Prozess ist es unabhängig von der Zielerreichung die Aufgabe der Reihenfolgensteuerung, die Plan-Vorgaben so detailgetreu wie möglich umzusetzen. Anhand der in 6.2 beschriebenen Vorgehensweise werden nachfolgend die in Abbildung 4-3 dargestellten Prioritätsregeln nach ihrer Erfüllung der Anforderungen bewertet.

Im Lean-Management gilt das Prinzip, die Verantwortung für Steuerungsentscheidungen an den Shop-Floor zu delegieren. Für eine dezentrale Reihenfolgensteuerung sind nur solche Prioritätsregeln geeignet, die dezentral ermittelt und überwacht werden können. Alle zeitabhängigen Regeln berücksichtigen bei der Berechnung den aktuellen Zeitpunkt und alle vor einem Arbeitssystem stehenden Aufträge. Diesen Produktionsaufträgen wird in einem

linearen System der Fließfertigung bei WINQ und XWINQ die gleiche Priorität zugewiesen.

Des Weiteren berücksichtigen diese Regeln Plan-Endtermine nicht, so dass Reihenfolgenvertauschungen möglich sind. Beide Verfahren setzen voraus, dass die Mitarbeiter in der Fertigung über die aktuellen Bestände in den möglichen Nachfolge-Arbeitssystem und über die Aufträge, die in den Vorgänger-Arbeitssystem bearbeitet werden, informiert sind. Damit scheiden beide Verfahren aus.

Eine weitere Reihenfolgeregel aus dieser Kategorie hat die Maximierung der Termintreue zum obersten Ziel. Die SLACK- oder Schlupfzeitregel betrachtet die Zeitdifferenz zwischen dem Soll-Liefertermin und der Restbearbeitungszeit. Ihre Grundidee ist, dass Verzögerungen bei einem Auftrag mit geringem Schlupf eher zu einer verspäteten Fertigstellung führen als bei Aufträgen mit einem hohen Schlupf. Ihr Nachteil ist, dass Reihenfolgenvertauschungen verursacht werden, auch wenn keine Planabweichungen vorliegen [Lödding 2005].

Darüber hinaus ist der für Fertigungsmitarbeiter notwendige Informationsgehalt zur Umsetzung dieser Reihenfolgenregel beträchtlich und ohne Einsatz eines Betriebsdatenerfassungssystems nicht möglich. Somit ist zu konstatieren, dass alle zeitabhängigen Prioritätsregeln für die vorliegende Aufgabenstellung nicht geeignet sind.

Die zeitunabhängigen Prioritätsregeln werden in stochastische, bearbeitungszeit- und fertigstellungszeitorientierte unterschieden. Bei allen bearbeitungszeitorientierten Regeln ist gleich, dass ähnlich wie bei der SLACK-Regel die Kenntnis der Zeiten (hier der Bearbeitungszeiten) oder der Anzahl verbliebener Fertigungsschritte notwendig ist. Conway, Maxwell und Miller, die Begründer des wichtigsten Vertreters dieser Kategorie, der SPT- oder KOZ-Regel, sehen als Nachteil die hohe Streuung der Durchlaufzeit, die eine extreme Verspätung einzelner Aufträge verursacht. Analog den bisherigen Reihenfolgenregeln ist auch der Einsatz bearbeitungszeitorientierter demzufolge nicht zielführend.

Von den zufallsbasierten Prioritätsregeln ist Random als Verfahrensprinzip auszuschließen, da es Reihenfolgenvertauschungen bewusst verursacht und Reihenfolgenverwirbelungen nicht kompensiert. FCFS oder auch FIFO verursacht keine Verwirbelungen, kann diese allerdings auch nicht ausgleichen. Der Einsatz

von FIFO ist durch physische Hilfsmittel (z. B. einlinige Förderstrecke vor dem Arbeitssystem) im Automobil-Shop-Floor einfach umzusetzen und in der Fließfertigung auch größtenteils vorzufinden. Lediglich bei der Wiedereinschleusung in den Fließprozess zeigen sich die oben bereits beschriebenen Defizite.

Hier schafft die FASFS-Regel Abhilfe, da der Freigabezeitpunkt über alle Arbeitssysteme hinweg das Entscheidungskriterium darstellt. Aufträge mit einem früheren Freigabezeitpunkt haben auch eine höhere Priorität. Die FASFS-Regel setzt voraus, dass die Produktionsplanung einen Ist-Freigabezeitpunkt bestimmt und mit den Fertigungsmitarbeitern kommuniziert. Dies ist in der Regel nicht der Fall, da die Fertigungsaufträge beim Einsatz eines Auftragsreihenfolgenkonzepts häufig lediglich den Plan-Endtermin [Lödding 2005] oder die Soll-Reihenfolgenposition beinhalten. Trotz ihres Potentials zur Absicherung gegen Reihenfolgenverwirbelungen erfüllt die FASFS-Regel die Anforderung der dezentralen Einsetzbarkeit nicht und wird deshalb nicht weiter betrachtet.

Bei der fertigstellungszeitpunktorientierten Regel DDATE wird dem Auftrag mit dem frühesten Plan-Endtermin die höchste Priorität gegeben. An den Einschleuspunkten können dadurch verspätete Aufträge priorisiert und der Reihenfolgenabstand kann reduziert werden. Wie bereits erörtert, erfasst die Produktionsplanung den Liefertermin oder die Sequenznummer in den Auftragspapieren, so dass eine operative dezentrale Steuerung möglich ist (Durchsetzbarkeit).

Nach dem ersten Selektionsprozess verbleiben somit FIFO und DDATE als mögliche Prioritätsregeln. Dabei sind FIFO sozusagen als die anzustrebende Form der Reihenfolgenbeherrschung und DDATE als reihenfolgenabsichernder Steuerungsstrategie zu sehen. DDATE alleine einzusetzen, würde Veränderungen der Infrastruktur bedingen, die nicht zwingend mit den Lean-Prinzipien konform sind (z. B. die Installation von Puffern vor Arbeitssystemen). Im Folgenden werden diese beiden Prioritätsregeln zur Reihenfolgensteuerung anhand der weiteren Anforderungen, soweit möglich, auf ihre Eignung überprüft.

Beide Verfahren sind sowohl in Push- als auch in Pull-Systemen einsetzbar (**Erfüllung: Steuerung nach dem Pull-Prinzip**). Die Anforderung der Reihenfolgensteuerung nach FIFO im Kundentakt wurde im Selektionsprozess

bereits ausführlich erörtert (**Erfüllung: Reihenfolgensteuerung nach FIFO im Kundentakt**).

Verwirbelungen führen zu Rückständen, die durch eine Regelung ausgeglichen werden müssen. Dies führt die Kapazitätssteuerung primär durch eine Anpassung der Kapazitäten durch. Aber Rückstände, genauer Reihenfolgenrückstände, können auch durch Prioritätsregeln ausgeglichen werden. DDATE ermöglicht dies durch eine entsprechende Auftragspriorisierung (**Erfüllung: Ausgleich von Planabweichungen durch Rückstandsregelung**). Mit der erfolgreichen Implementierung eines Steuerungsverfahrens in den Shop-Floor geht die Einfachheit einher. Sowohl FIFO als auch DDATE sind einfach umzusetzen, da kaum Voraussetzungen dafür notwendig sind (**Erfüllung: Einfachheit des Produktionssteuerungsverfahrens**).

Auch durch die Nivellierung und Glättung des Produktionsprogramms wird dies nicht beeinträchtigt. Beide Reihenfolgensteuerungen sind mit dem Einsatz eines Ausgleichskastens am Prozessstart konform einsetzbar (**Erfüllung: Unterstützung von Nivellierung und Glättung**). Eine Bewertung der Prioritätsregeln nach den restlichen Anforderungen ist nur bedingt möglich, da kein direkter Zusammenhang besteht. Überproduktion kann durch die Reihenfolgensteuerung nicht vermieden werden (**Erfüllung: Vermeidung von Überproduktion**). Dies gilt ebenso für die Vermeidung blockierter Bestände, die durch die Verfahren der Auftragserzeugung und -freigabe maßgeblich beeinflusst wird (**Erfüllung: Vermeidung blockierter Bestände**).

Die Reihenfolgensteuerung legt lediglich fest, welcher Auftrag an einem Arbeitssystem gefertigt wird, und nicht ob, so dass diese auch hinsichtlich der Berücksichtigung des Engpassprinzips keinen Einfluss hat (**Erfüllung: Berücksichtigung des Engpassprinzips**). Die Reihenfolgenregeln haben des Weiteren keinen Einfluss auf die Durchführung eines zeitlichen Belastungsabgleichs, der durch die Freigabe umgesetzt wird (**Erfüllung: Abgleich der Belastung mit Kapazität ermöglichen**). Aufgrund der Losgröße 1 im vorliegenden Prozess hat auch die Priorisierung von Aufträgen vor Arbeitssystemen keinen bedeutenden Einfluss auf die schnelle und unverzerrte Kommunikation von Nachfrageinformationen (**Erfüllung: schnelle/unverzerrte Kommunikation von Nachfrageinformationen**).

Das Ergebnis der systematischen Selektion und Überprüfung der qualitativen Anforderungen an schlanke-Reihenfolgen-Steuerungen zur Umsetzung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts ist die Prioritätsregel FIFO für die Strategie der Prozessbeherrschung. Um Reihenfolgeninstabilitäten abzusichern, ist DDATE an den Einschleusstellen (Kreuzungspunkten von Materialflüssen) am zielführendsten. Einen Großteil der Anforderungen an eine Lean-Steuerung können Prioritätsregeln allerdings nicht beeinflussen. Dafür sind geeignete Verfahren zur Kapazitätssteuerung, insbesondere zur Rückstandsregelung zu konfigurieren.

#### **6.3.2.4 Auswahl der Kapazitätssteuerung**

Ist für jeden Prozess definiert, nach welchen Reihenfolgenregeln dieser zu steuern ist, so gilt es im letzten Schritt der Verfahrensauswahl, die Regelung der Kapazitäten zu definieren und über die Erfüllung der Anforderungen die Einsatztauglichkeit für eine schlanken Produktionssteuerung zu bewerten. Abhängig vom Grad der vorhandenen Kapazitätsflexibilität gibt es unterschiedliche Verfahrensausprägungen.

Im vorliegenden Karosseriebauprozess ist die Kapazitätsflexibilität begrenzt auf die Anwendbarkeit in den manuellen Ausschleusprozessen und die Ausweitung der Wochenarbeitszeit für das Gesamtsystem, also auf Elemente der Mitarbeiter- oder Belastungsflexibilität. In der Auftragsfertigung kommt die Rückstandsregelung als Kapazitätssteuerung zum Einsatz. Eine weitere Selektion des Kapazitätssteuerungsverfahrens anhand der qualitativen Anforderungen aus Abschnitt 6.1 ist somit nicht notwendig.

Im Folgenden gilt es, die Konfiguration des Kapazitätsmanagements, insbesondere die der Rückstandsregelung durchzuführen. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, die Kapazitäten kurzfristig so anzupassen, dass sowohl Mengenrückstände als auch Reihenfolgenrückstände ausglichener und somit eine hohe Termintreue und daraus resultierende Reihenfolgenstabilität gewährleistet werden. Für beide Rückstandsarten werden im Folgenden die Ermittlungsmethode, die Auslösungslogik, der Detaillierungsgrad, die Maßnahmen und deren Dauer definiert.

Die mengenmäßigen Abweichungen werden allgemein aus der Differenz zwischen dem Plan-Abgang und dem Ist-Abgang ermittelt, was jedoch definierte Plan-

Termine voraussetzt. Die vorliegende Kanbansteuerung als Verfahren der Auftragserzeugung führt eine derartige Terminierung nicht durch.

Als verfahrensspezifischer Ansatz wird der Rückstand deshalb aus dem Karossenbestand im Supermarkt eines Arbeitssystems oder der Verteilung der Kanban ermittelt. Ist ein Arbeitssystem im Rückstand, sinkt der Bestand im Supermarkt unter den Sicherheitsbestand. Dann befinden sich mehr Kanban als geplant in der Kanbantafel des Arbeitssystems. Werden die Produktionsaufträge schneller als geplant fertiggestellt, dann steigt der Bestand im Supermarkt, und die Anzahl der freien Kanban sinkt. Aus (Gl. 6-10) geht dieser Zusammenhang formelmäßig hervor.

$$RS = \sum_{k=1}^j (B_{Plan,m,k} - B_{Ist,k}) \quad (Gl. 6-10)$$

Dabei sind  $j$  die Anzahl von Varianten,  $B_{Ist,k}$  der Ist-Lagerbestand der Variante  $k$  und  $B_{Plan,m,k}$  der mittlere Plan-Lagerbestand der Variante  $k$ . Die Auslösung der Kapazitätssteuerung sollte ereignisorientiert bei Unterschreiten des Grenzübergangspunktes erfolgen. Ein Überschreiten ist aufgrund der bestandsbeschränkenden Funktion der CONWIP-Steuerung nur bedingt möglich, wenn der Ist-Lagerbestand den maximalen Lagerbestand im Supermarkt erreicht. Die Festlegung des Grenzübergangspunktes erfolgt bei der Verfahrensparametrisierung im nächsten Abschnitt.

Durch den Detaillierungsgrad wird der Anwendungshorizont definiert. Die quantitative Rückstandsregelung erfolgt im vorliegenden Fall für das gesamte Arbeitssystem, kann in Abhängigkeit von den Kanbankreisen aber auch für einzelne Arbeitssysteme durchgeführt werden. Als Maßnahme zum Ausgleich von Mengenabweichung im gesamten Prozess gegenüber dem internen Kunden „Lackiererei“ soll die Ausdehnung der Wochenarbeitszeit dienen. Die Dauer der Kapazitätsmaßnahme kann aus dem Karossen-Rückstand und der Gesamtauftragszeit ermittelt werden.

Um Reihenfolgenrückstände zu reduzieren, muss darüber hinaus Transparenz deren Existenz und Höhe vorliegen. Im untersuchten Karosseriebauprozess werden Verwirbelungen durch Ausschleusungen verursacht. Die Messung des Rückstandes erfolgt mit der Definition aus 4.2.2.4 idealerweise am Einschleuspunkt jeweils vor einem PP. Aus der Differenz zwischen zwei aufeinanderfolgend gemessenen Reihenfolgenrückständen kann die relative Reihenfolgenabweichung

ermittelt werden. Die Auslösung erfolgt ereignisorientiert bei Überschreiten eines Grenz-Rückstand.

Als nächster Schritt im operativen Kapazitätsmanagement ist der Detaillierungsgrad des Kapazitätseinsatzes festzulegen. Die Anpassung erfolgt für einzelne Arbeitssysteme, in denen Karossen im Rückstand sind. Der Einsatz zusätzlicher temporärer Mitarbeiter („Floater“) soll bei zeitintensiven Qualitätsprüfungen und Nacharbeit der Kapazitätsanpassung dienen und Reihenfolgenabweichungen reduzieren. Die Erhöhung der Kapazität erfolgt so lange, bis am Anfang des Folgeprozesses keine Reihenfolgenrückstände gemessen werden.

Die ausgewählte Kapazitätssteuerung wird im Folgenden auf die qualitativen Anforderungen aus Abschnitt 6.1 überprüft. Die gewählte Rückstandsregelung ist hinsichtlich des Verfahrensprinzips für Pull-Systeme tauglich (**Erfüllung: Steuerung nach dem Pull-Prinzip**). Hinsichtlich der dezentralen Umsetzung bedarf es lediglich einer einfachen Systemunterstützung zur Berechnung und Visualisierung der Reihenfolgenrückstände. Ist dies gewährleistet, kann die Kapazitätsanpassung ausschließlich vom operativen Personal durchgeführt werden (**Erfüllung: dezentrale Steuerung der Produktion**). Die Anforderung der Reihenfolgensteuerung nach FIFO im Kundentakt hat keinen unmittelbaren Einfluss auf die Kapazitätssteuerung (**Erfüllung: Reihenfolgensteuerung nach FIFO im Kundentakt**).

Durch das gewählte Verfahren zur Rückstandsregelung können Verwirbelungen ausgeglichen werden (**Erfüllung: Ausgleich von Planabweichungen durch Rückstandsregelung**). Durch die freien Kanban und leeren Stellplätze in einem Supermarkt kann ein Rückstand einfach vermittelt werden. Mit den entsprechenden Visualisierungen ist dies auch für Reihenfolgenrückstände transparent möglich (**Erfüllung: Einfachheit des Produktionssteuerungsverfahrens**). Die Nivellierung und Glättung des Produktionsprogramms führt dabei zu keiner Beeinträchtigung. Eine Rückstandsregelung unterstützt und erleichtert den Heijunka durch die Stabilisierung der Produktion (**Erfüllung: Unterstützung von Nivellierung und Glättung**).

Ebenso wie bei den Reihenfolgenregeln ist die Bewertung der restlichen Anforderungen nur bedingt möglich, da kein direkter Zusammenhang besteht. Überproduktion kann durch ein Kapazitätsmanagement im vorliegenden Fall nicht

vermieden werden, da dies über die Auftragsfreigabe erfolgt. Grundsätzlich wird dies durch negative Kapazitätsanpassungen aber unterstützt (**Erfüllung: Vermeidung von Überproduktion**). Dies gilt ebenso für die Vermeidung blockierter Bestände, die durch die Verfahren der Auftragserzeugung und -freigabe maßgeblich beeinflusst werden (**Erfüllung: Vermeidung blockierter Bestände**).

Durch die Anpassung der Fertigungskapazitäten in den vorgelagerten Prozessen wird sichergestellt, dass die Engpasssysteme immer mit Material versorgt werden. Durch die Kapazitätserhöhung in Engpasssystemen wird das Engpassprinzip ebenfalls berücksichtigt (**Erfüllung: Berücksichtigung des Engpassprinzips**).

Die Rückstandsregelung hat des Weiteren keinen Einfluss auf die Durchführung eines zeitlichen Belastungsabgleichs, der durch die Freigabe umgesetzt wird (**Erfüllung: Abgleich der Belastung mit Kapazität ermöglichen**). Aufgrund der Losgröße 1 im vorliegenden Prozess hat auch die Priorisierung von Aufträgen vor Arbeitssystemen keinen bedeutenden Einfluss auf die schnelle und unverzerrte Kommunikation von Nachfrageinformationen (**Erfüllung: schnelle/unverzerrte Kommunikation von Nachfrageinformationen**).

Mit der Definition der Kapazitätssteuerung findet die Konfiguration der Produktionssteuerung nach schlanken Aspekten ihren Abschluss. Das ausgewählte Kanban-CONWIP-Verfahren mit FIFO-/DDATE-Reihenfolgensteuerung und ereignisorientierter Rückstandsregelung wird im folgenden Abschnitt für die Gegebenheiten des vorliegenden Automobilkarosseriebauprozesses parametrisiert.

### 6.3.3 Verfahrensparametrisierung

Innerhalb des Konfigurationsmoduls der Verfahrensparametrisierung werden das Kanban-CONWIP-System als Auftragserzeugungs- und -freigabeverfahren und die Kapazitätssteuerung der Situation angepasst justiert. Für die Reihenfolgensteuerung wurde dies mit der Festlegung des Verfahrensparameters der Prioritätsregel bei der Verfahrensauswahl bereits durchgeführt.

Der Beschreibung der Vorgehensweise zur Parametrisierung aus Abschnitt 6.2 folgend wird zunächst die Durchlaufzeit als Verfahrensparameter ermittelt oder festgelegt. Auf dieser Basis wird der Bestand im Umlauf und im Supermarkt errechnet. Die Ermittlung der Kapazitätseingriffsgrenze der Rückstandsregelung schließt die Parametrisierung der Verfahren ab. Durch die Berücksichtigung allgemeiner Einflussfaktoren der zu parametrisierenden Fertigungssteuerung

werden verschiedene Betriebszustände in Form von Steuerungsszenarien entwickelt.

Die Durchlaufzeit, bei der Kanbansteuerung auch als Wiederbeschaffungszeit bezeichnet, ist die Summe aus der Produktions-, der Übergangs- und der Informations-/Administrationszeit. Für das vorliegende Arbeitssystem kann die Produktionszeit aus dem Wertstromdiagramm in Abbildung 6-11 aus der Multiplikation der Summe aller Taktzeiten mit der Terminabweichung aller Produktionsprozesse berechnet werden. Die beiden Parallelprozesse fließen dabei nach der Mengenverteilung ein.

Daraus ergibt sich eine nach der Verteilung gemittelte Prozesszeit von 66,12 Minuten, die eine Karosse vom Prozessstart X000 bis zum Prozessende X500 ohne Ausschleusungen oder Anlagenstillstände benötigt. Darin grundsätzlich enthalten ist bereits die Übergangszeit für den Transport der Rohkarosserien von Arbeitstakt zu Arbeitstakt. Lediglich für den Transport zu den 3.1, 3.2 und 3.1.1 fallen weitere Übergangszeiten an. Unter Berücksichtigung der Mengenverteilung beträgt die Übergangszeit nach dem PP 2 insgesamt 1,53 Minuten.

Die Informationszeit als Dauer der Verarbeitung von Informationen wird mit null angesetzt. Begründet ist dies in der Umsetzung einer elektronischen Form der Kanban-CONWIP-Steuerung, so dass keine Verzögerungen des Informationsflusses vorhanden sind.

Die Summe aller Zeiten zur Verwaltung von Aufträgen inklusive der Wartezeiten wird als Administrationszeit definiert. Im konkreten Fall entspricht dies der durchschnittlichen Zeit, die ein Kanban vor der Einsteuerung am Status X000 warten muss, solange das erste Arbeitssystem belegt ist. Aufgrund der verketteten Dynamik der Produktionsprozesse ist eine analytische Berechnung nicht hinreichend genau durchführbar. Es bleibt lediglich die Ermittlung bei der Verfahrensdurchsetzung, was bedeutet, die Parametrisierung sozusagen im laufenden Prozess durchzuführen.

Dem steht das Risiko der Umsetzung einer nicht validierten Konfiguration gegenüber. Dagegen schafft eine Ablaufsimulation Abhilfe. Dabei wird der bestehende Prozess mit allen Fertigungsparametern modellhaft abgebildet und die Konfiguration simuliert. Wie in Abschnitt 6.2 bereits erörtert, ist dies eine allgemein

empfehlenswerte Vorgehensweise zur Überprüfung der Konfiguration vor der Verfahrensdurchsetzung.

Aus der Simulation von 50.000 Produktionsaufträgen bei einem Karosensupermarkt am Ende des Prozesses ergibt sich die durchschnittliche Wartezeit eines Kanban als Differenz zwischen dem Entnahmezeitpunkt aus dem Supermarkt und dem Einsteuerzeitpunkt am Status X000 von 16,98 Minuten. Dem liegt die in Abschnitt 6.3.1 ermittelte Kundentakt-Zeit von ca. 1,19 Minuten (71,58 Sekunden) zugrunde, in der die Karossen kontinuierlich dem Supermarkt entnommen werden.

Daraus ergibt sich insgesamt eine Wiederbeschaffungszeit von 84,63 Minuten, welche die Grundlage für die Berechnung der Bestände darstellt. Der Bestand an Karosserien ist in einem Kanban-CONWIP-System bei Losgröße 1 gleichzusetzen mit der Anzahl der Conwip-Karten im Arbeitssystem. Für den vorhandenen Karosseriebauprozess ergeben sich bei 24 real existierenden Karosserievarianten unter Verwendung der Gl. aus Abschnitt 6.2 die folgenden in Tabelle 6-8 zusammengefassten Bestände.

## 6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

Variante i	durchschnittliche Bedarfsrate [Karossen]	Anzahl Aufträge Variante i	B <sub>WIP</sub> Kanban (Umlauf)	B <sub>S</sub>				B
				B <sub>S-V</sub> Kanban (Sicherheit Verbrauch)	B <sub>S-WBZ</sub>		Kanban (Supermarkt)	
			Kanban (Sicherheit WBZ-Menge)		Kanban (Sicherheit WBZ-Termin)			
21111	406	16828	29	3	3	23	29	53
11111	244	10096	18	2	2	14	18	33
21211	203	8414	15	2	2	12	15	28
23111	53	2195	4	1	1	3	5	8
11122	37	1529	3	1	1	3	4	7
21121	30	1262	3	1	1	2	4	6
11121	27	1121	2	1	1	2	3	5
21221	27	1121	2	1	1	2	3	5
12111	23	952	2	1	1	2	3	5
12122	21	885	2	1	1	2	3	5
23211	21	885	2	1	1	2	3	5
21112	21	855	2	1	1	2	3	5
21212	16	673	2	1	1	1	3	4
23121	15	623	2	1	1	1	3	4
21122	11	467	1	1	1	1	2	3
23221	10	424	1	1	1	1	2	3
11112	8	334	1	1	1	1	2	3
23122	7	295	1	1	1	1	2	3
12121	7	295	1	1	1	1	2	3
21222	6	231	1	1	1	1	2	3
23212	4	149	1	1	1	1	2	3
23222	4	146	1	1	1	1	2	3
23112	3	143	1	1	1	1	2	3
12112	2	77	1	1	1	1	2	3
<b>Summe</b>		<b>50000</b>	<b>98</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>81</b>	<b>119</b>	<b>203</b>

Tabelle 6-8: Ergebnis der Verfahrensparametrisierung hinsichtlich der Bestände im Kanban-CONWIP-System

Bei der Kapazitätssteuerung ist die Eingriffsgrenze der Auslösung von Kapazitätsmaßnahmen als verfahrensspezifischer Parameter festzulegen. Aufgrund der durchgehenden Produktion kann der Ausgleich von Mindermengen erst am Ende der letzten Wochenschicht erfolgen. Eine Ausdehnung der Schichtarbeitszeit oder die Anberaumung einer Zusatzschicht erfolgt, wenn ein Liefer-Rückstand  $RS_{\text{Minus}}$  (= unterer Mengen-Grenz-Rückstand) vorhanden ist, d. h., wenn am Prozessbeginn vor Status X000 Kanban auf die Einsteuerung in den Prozess warten.

Die Kapazitätsmaßnahme dauert so lange, bis keine Kanban mehr warten und der Supermarkt im Idealfall den Plan-Lagerbestand dadurch erreicht. Der obere Mengen-Grenz-Rückstand  $RS_{\text{Plus}}$  wird dagegen permanent bei Eintreffen einer Karosse im Supermarkt geprüft. Kann eine Karosse aufgrund eines vollen Supermarkts (Ist-Lagerbestand = Max-Lagerkapazität) nicht mehr eingelagert werden, so wird die Produktion im Arbeitssystem entgegen der Materialflussrichtung beginnend beim letzten Produktionsprozess gestoppt.

Um die Reihenfolgenabweichung zu reduzieren, ist die Eingriffsgrenze des Reihenfolgenrückstandes vor jedem Einschleuspunkt zu definieren. Der Grenzwert lässt sich aus dem Zielwert der Zielgrößenanforderung zur durchschnittlichen Reihenfolgenabweichung ableiten. Um durchschnittlich maximal fünf Positionen sollte eine Karosse von der Soll-Position abweichen, was somit (relativ gemessen) den Reihenfolgenrückstandsgrenzwert darstellt. Erst wenn der Reihenfolgenrückstand im nachfolgenden Arbeitssystem vorhanden ist, werden die zusätzlichen Mitarbeiter abgezogen.

Wie in Abschnitt 6.2 bereits erörtert, beeinflussen weitere Parameter der Automobilproduktionsrahmenbedingungen die Konfiguration an sich und die Zielgrößenerreichung insbesondere. Aus der Variation der Produktvarianz, den Sicherheitsfaktoren der Bestandsermittlung, der Ergebnisqualität der Produktionsplanung, der variantenspezifischen Steuerung und der Anzahl von Regelkreisen ergeben sich verschiedene Umsetzungsszenarien für dieselbe, in den vorangegangenen Abschnitten ausgewählte Produktionssteuerungskonfiguration. Von der Null-Konfiguration ausgehend werden die möglichen Ausprägungen der Einflussfaktoren kombiniert. In Tabelle 6-9 sind die ausführbaren Kombinationen dargestellt.

6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken  
Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

Einfluss- faktor →	P	S	E	VS	SEP
Aus- prägung →	Produkt- varianz	Sicherheit	Ergebnis PP	Varianten- steuerung	Supermarkt/ Einsteuerpunkte
L <sub>1</sub>	L <sub>24</sub>	L <sub>Max</sub>	L <sub>nicht- nivelliert</sub>	L <sub>alle</sub>	L <sub>am Prozessende</sub>
L <sub>2</sub>	L <sub>20</sub>	L <sub>Mittelwert + 3σ</sub>	L <sub>nivelliert</sub>	L <sub>nur High- Runner</sub>	L <sub>vor jedem Varianten- entstehungs- punkt</sub>
L <sub>3</sub>	L <sub>8</sub>	L <sub>Mittelwert + 2σ</sub>		L <sub>nur Low- Runner</sub>	L <sub>vor jeder Karossen- einschleusung</sub>
L <sub>4</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>Mittelwert + 1σ</sub>			L <sub>vor jedem Produktions- prozess</sub>
L <sub>5</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>ohne</sub>			

Tabelle 6-9: Mögliche Umsetzungsszenarien für die Konfiguration der  
Produktionssteuerung

Insgesamt ergeben sich daraus durch eine Multiplikation der jeweiligen Ausprägungen der Produktvarianz (5), der Sicherheit (5), des Ergebnisses der Produktionsplanung (2), der Variantensteuerung (3) und der Einsteuerpunkte (4) 600 potentielle Umsetzungsszenarien. Da die Überprüfung dieser Anzahl selbst in einer Simulationsparameterstudie nur mit sehr hohem Aufwand möglich wäre, erfolgt eine Beschränkung auf die in der Praxis am schnellsten umsetzbaren Szenarien.

Die Differenzierung nach einer variantenspezifischen Konfiguration für Low- oder High-Runner in Form einer hybriden Low-Runner-MRP-Push- und High-Runner-Kanban-Pull-Steuerung gestaltet sich schwierig, da dadurch die Anforderungen an schlanken Produktionssteuerungsverfahren nicht mehr zu erfüllen sind. Der Einflussfaktor Variantensteuerung bleibt deshalb unberücksichtigt, so dass durch die Konfiguration alle Auftragsvarianten gleich gesteuert werden.

Des Weiteren erfolgt die Implementierung eines Regelkreises (Einflussfaktor Supermarkt/Einsteuerpunkt) mit einem Supermarkt und Einsteuerpunkt am Prozessende, da die Implementierung von Supermärkten in bestehende Karosseriebauprozesse aufgrund der Flächen- und Infrastrukturanforderungen nur mittel- bis langfristig, meist bei einer Produkt- oder Prozesserneuerung möglich und sinnvoll ist.

Zur Ermittlung eines geeigneten Umsetzungsszenarios (Umsetzungsszenario) werden die Ausprägungen der verbleibenden drei Einflussfaktoren Produktvarianz (P), Sicherheit (S), Ergebnis (E) sinnvoll miteinander gekoppelt und Kombinationen nicht weiterverfolgt, bei denen die Zielgrößen nicht erreicht werden. Die iterative Vorgehensweise ist mit einem mathematischen Annäherungsverfahren zu vergleichen, bei dem keinesfalls erfolgversprechende Verknüpfungen nicht weiter betrachtet werden.

Die Umsetzungsszenarien werden mit ihren Spalten- (= Einflussfaktoren) und Zeilenkoordinaten (= Ausprägungen) aus Tabelle 6-9 deklariert (Beispiel: das Umsetzungsszenario P1S1E1 entspricht dem Szenario mit 24 realen Varianten, einer maximalen Sicherheitsbestandsauslegung und einem nichtnivelliertem Produktionsprogramm – der sogenannten Null-Konfiguration). Von der Definition der Null-Konfiguration ausgehend wird die Simulationsparameterstudie wie folgt durchgeführt:

1. Festlegung der Simulationsrahmenbedingungen
2. Simulation der Null-Konfiguration
3. Bewertung der Null-Konfiguration nach der Zielwerterfüllung
4. Iteration durch Simulation der Veränderung des Einflussfaktors Produktvarianz (= Umsetzungsszenario P\*S1E1), wobei \* für die variable, noch zu definierende Zeilenkoordinate steht

5. Bewertung der Umsetzungsszenarien nach der Zielwerterfüllung
6. Ausschluss ungeeigneter Umsetzungsszenarien aus der weiteren Untersuchung
7. Iteration durch Simulation der Veränderung des Einflussfaktors Sicherheitsbestände (= Umsetzungsszenario  $P?S^*E1$ ), wobei ? für die definierte Zeilenkoordinate steht
8. Bewertung der Umsetzungsszenarien nach der Zielwerterfüllung
9. Ausschluss ungeeigneter Umsetzungsszenarien aus der weiteren Untersuchung
10. Iteration durch Simulation der Veränderung des Einflussfaktors Ergebnisqualität der Produktionsplanung (= Umsetzungsszenario  $P?S?E^*$ )
11. Bewertung der Umsetzungsszenarien nach der Zielwerterfüllung
12. Rückkopplung zur Optimierung und Abschluss mit Schlussbewertung

Mithilfe der Verfahrensparametrisierung wurde die ausgewählte Konfiguration der Fertigungssteuerung auf die Umfeldbedingungen des vorliegenden Prozesses eingestellt. Die ermittelten Szenarien bilden die Grundlage für die Verfahrensanwendung, -validierung und -bewertung der ausgewählten schlanken Produktionssteuerung. Damit erfolgen die Überprüfung der quantitativen Anforderungen an eine Lean-PPS und der Vergleich mit dem Ausgangszustand, so dass insgesamt auch der methodische Selektionsprozess validiert werden kann.

### **6.3.4 Verfahrensanwendung, -validierung und -bewertung**

In den Abschnitten 6.3.2 und 6.3.3 wurde für den untersuchten Automobilkarosseriebauprozess eine hybride Kanban-CONWIP-Steuerung mit FIFO-/DDATE-Reihenfolgensteuerung und Rückstandsregelung als schlankes Produktionssteuerungsverfahren ausgewählt. Aus der Parametrisierung der Verfahrensbestandteile wurden mögliche Umsetzungsszenarien ermittelt, die auf ihre Praxistauglichkeit zu testen sind.

Aufgrund der Komplexität und der dynamischen Abhängigkeiten in Automobilproduktionsprozess sollte bei der Einführung einer neuen Steuerung, sofern möglich, vor der realen Verfahrensdurchsetzung im produktiven Umfeld eine

Ablaufsimulation der ausgewählten Konfiguration durchgeführt werden. Aufgrund einschlägiger Literatur zum Nutzen von Ablaufsimulationen wird hier nicht näher darauf eingegangen (vgl. z. B. [Grundig 2006], [Kühn 2006] und [Sauerbier 1999]).

Entsprechend der im vorangegangenen Abschnitt definierten Vorgehensweise wird die Simulationsparameterstudie durchgeführt. Bei der Validierung wird jedes Umsetzungsszenario nach der systematischen Erfüllung der in Abschnitt 6.1 definierten Zielgrößenanforderungen bewertet. Darüber hinaus erfolgen die Überprüfung der entwickelten Methodik zur Auswahl einer Konfiguration und die grundsätzliche Eignung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsreihenfolgen durch einen Vergleich der gewählten Konfiguration mit dem in Tabelle 6-6 beschriebenen Ausgangszustand des untersuchten Karosseriebauprozesses.

### **Simulationsrahmenbedingungen**

Das für die Parameterstudie verwendete Simulationswerkzeug ist Plant Simulation der Siemens AG. Analog dem Ausgangszustand werden jeweils die gleichen insgesamt 50.000 Aufträge simuliert. Dies entspricht ca. 41 Produktionstagen. Aufgrund der Ergebnisverzerrungen am Start und zum Ende des Prozesses wird der Bereich von Auftrag 1.200 bis Auftrag 41.200 als Auswertungshorizont der Zielgrößen verwendet.

Am Ist-Prozess werden keine Veränderungen der Fertigungsparameter durchgeführt. Die Kundentakt-Zeit, in der dem Supermarkt entnommen wird, entspricht in allen Experimenten 71,58 Sekunden. Die Initialisierung des Kanban-CONWIP-Prozesses erfolgt mit einer der jeweiligen Variantenmengenverteilung entsprechenden Auftragsliste. Der Kanbanprozess startet erst nach vollständig abgeschlossener Initialisierung.

### **Null-Konfiguration**

Die Null-Konfiguration ist das Ergebnis der Verfahrensauswahl unter Verwendung der existierenden Fertigungsrahmenbedingungen des untersuchten Prozesses. Sie entspricht dem Umsetzungsszenario mit 24 realen Karosserievarianten bis zur Übergabe an den Lackprozess, einer „maximalen“ Sicherheit bei der Supermarktdimensionierung und einem nichtnivelliertem Produktionsprogramm als Eingang für die Steuerung. Die Ausprägung „maximal“ des Sicherheitsfaktors bezieht sich auf die Terminabweichung in Form der Durchlaufzeit-Streuung. Zugrunde liegt die maximale Durchlaufzeit aus dem Wertstromdiagramm. Bei der

## 6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

Mengen- und Verbrauchsabweichung wird von einer maximalen Tagesschwankung von 10 % des Durchschnittswerts ausgegangen, was durch Historiendaten belegt ist. Daraus ergeben sich die folgenden Durchlaufzeit-Parameter und die Bestände im Umlauf und im Supermarkt.

Produktionszeit [min]:	66,12
Übergangszeit [min]:	1,53
Informations-/ Administrationszeit [min]:	0,00

Tabelle 6-10: Durchlaufzeit-Parameter für die Null-Konfiguration P1S1E1

Variante i	durchschnittliche Bedarfsrate [Karossen]	Anzahl Aufträge Variante i	B <sub>WIP</sub> Kanban (Umlauf)	B <sub>S</sub>				B
				B <sub>S-V</sub> Kanban (Sicherheit Verbrauch)	B <sub>S-WBZ</sub>		Kanban (Supermarkt)	
					Kanban (Sicherheit WBZ-Menge)	Kanban (Sicherheit WBZ-Termin)		
21111	406	16828	29	3	3	23	29	53
11111	244	10096	18	2	2	14	18	33
21211	203	8414	15	2	2	12	15	28
23111	53	2195	4	1	1	3	5	8
11122	37	1529	3	1	1	3	4	7
21121	30	1262	3	1	1	2	4	6
11121	27	1121	2	1	1	2	3	5
21221	27	1121	2	1	1	2	3	5
12111	23	952	2	1	1	2	3	5
12122	21	885	2	1	1	2	3	5
23211	21	885	2	1	1	2	3	5
21112	21	855	2	1	1	2	3	5
21212	16	673	2	1	1	1	3	4
23121	15	623	2	1	1	1	3	4
21122	11	467	1	1	1	1	2	3
23221	10	424	1	1	1	1	2	3
11112	8	334	1	1	1	1	2	3
23122	7	295	1	1	1	1	2	3
12121	7	295	1	1	1	1	2	3
21222	6	231	1	1	1	1	2	3
23212	4	149	1	1	1	1	2	3
23222	4	146	1	1	1	1	2	3
23112	3	143	1	1	1	1	2	3
12112	2	77	1	1	1	1	2	3
<b>Summe</b>		<b>50000</b>	<b>98</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>81</b>	<b>119</b>	<b>203</b>

Tabelle 6-11: Bestände für die Null-Konfiguration P1S1E1

Nach Durchführung und Auswertung der Ablaufsimulation dieser Konfiguration ergeben sich die in Tabelle 6-12 dargestellten Werte der Zielgrößen.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DLZ <sub>mit</sub> [min]	Reihen- folgen- einhaltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen- rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen- abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard- abweichung Reihenfolgen- abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf- bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess- ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
P1S1E1	1207	86,26	98,03	23	4,63	15,62	72,11	115,7

Tabelle 6-12: Ergebnis für die Null-Konfiguration P1S1E1

Die vorliegende Null-Konfiguration wird nach einem Vergleich der quantitativen Zielgrößenanforderungen aus Abschnitt 6.1 mit dem Ergebnis des Ausgangszustands aus Tabelle 6-6 bewertet. Der Durchsatz kann im hybriden Kanban-CONWIP-System erreicht werden – aufgrund der Deckelung durch den Kundentakt ist dieser nicht höher als im Ausgangszustand. Als wesentliche Zielgröße der Stabilisierungspotentiale einer Steuerung kann die Reihenfolgenabweichung im Mittelwert deutlich verbessert werden, so dass der Zielwert unterschritten wird. Das Gleiche gilt für die beiden weiteren Reihenfolgenkennzahlen „maximaler Rückstand“ und „Einhaltung“. Bei der Reihenfolgeneinhaltung wird der Zielwert von 98 % erreicht. Des Weiteren verbessern sich die mittlere WIP und die Durchlaufzeit vom Prozessstart bis zum Einlauf in den Supermarkt am Prozessende.

Zum Gesamtbestand kommt bei der Kanbansteuerung aber noch der durchschnittliche Füllgrad des Supermarkts hinzu, so dass der Gesamtbestand in der vorliegenden Konfiguration deutlich höher liegt als im Ausgangszustand (+ 111 Karossen). Aufgrund dieses Umstands ist das vorliegende Umsetzungsszenario nicht geeignet, zumal ein Resortierpuffer am Prozessende mit einer Kapazität von 87 Karossen bis auf die bessere Durchlaufzeit im Kanbansystem nahezu die gleichen Ergebnisse erreicht.

Das Ziel der weiteren Untersuchung muss es sein, den Fertigwaren-Bestand deutlich zu reduzieren. Dabei ist hinsichtlich der Supermarktdimensionierung die Produktvarianz ein entscheidender Einflussfaktor. Können Karossenvarianten reduziert werden, so wirkt sich dies positiv auf die Anzahl der im Supermarkt vorzuhaltenden Karosserien aus.

In den folgenden Umsetzungsszenarien wird deshalb die Gesamtkarossenvarianz sukzessive verändert. Die Variantenentstehungspunkte bleiben davon insoweit

## 6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

unberührt, lediglich bei der Varianz von 2 entfällt der zweite Variantenentstehungspunkt bei PP 3.1 bzw. 3.2.

### P2S1E1

Im Umsetzungsszenario P2S1E1 wird die Null-Konfiguration dahingehend verändert, dass die Gesamtkarossenvarianz am Prozessende auf 20 reduziert wird. Dies erfolgt durch eine Vereinheitlichung der Karossenvarianten. Die Wiederbeschaffungszeit-Anteile bleiben unverändert (vgl. dazu Tabelle 6-10). Die Auslegung der Bestände ist in Tabelle 6-13 dargestellt.

Variante i	durchschnittliche Bedarfsrate [Karossen]	Anzahl Aufträge Variante i	B <sub>WIP</sub> Kanban (Umlauf)	B <sub>S</sub>				B
				B <sub>S-V</sub> Kanban (Sicherheit Verbrauch)	B <sub>S-WBZ</sub>		Kanban (Supermarkt)	
					Kanban (Sicherheit WBZ-Menge)	Kanban (Sicherheit WBZ-Termin)		
01111	630	26090	36	3	3	43	44	80
01211	210	8697	12	1	1	15	16	28
01121	60	2484	4	1	1	5	6	10
03111	55	2268	4	1	1	4	5	9
01122	50	2087	3	1	1	4	5	8
01112	30	1242	2	1	1	3	4	6
01221	28	1159	2	1	1	2	3	5
02111	24	984	2	1	1	2	3	5
03211	22	915	2	1	1	2	3	5
02122	22	915	2	1	1	2	3	5
01212	17	695	1	1	1	2	3	4
03121	16	644	1	1	1	2	3	4
03221	11	438	1	1	1	1	2	3
02121	7	305	1	1	1	1	2	3
03122	7	305	1	1	1	1	2	3
01222	6	239	1	1	1	1	2	3
03212	4	154	1	1	1	1	2	3
03222	4	151	1	1	1	1	2	3
03112	4	148	1	1	1	1	2	3
02112	2	80	1	1	1	1	2	3
<b>Summe</b>		<b>50000</b>	<b>79</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>94</b>	<b>114</b>	<b>193</b>

Tabelle 6-13: Bestände für das Umsetzungsszenario P2S1E1

Tabelle 6-14 stellt die Ergebnisse der Simulation dar.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DLZ <sub>mit</sub> [min]	Reihenfolgen-einhaltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen-rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen-abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard-abweichung Reihenfolgen-abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf-bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess-ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
P2S1E1	1207	86,22	98,56	19	1,34	8,16	72,07	108,6

Tabelle 6-14: Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P2S1E1

Die Reduzierung der Produktvarianz führt zu einer weiteren Verbesserung der Zielgrößen. Dies folgt dem Grundsatz aus der Literatur, dass Kanbansysteme bei

sinkender Produktvarianz bessere Ergebnisse erzielen [Lödding 2005]. Die Reduzierung führt auch zur Senkung des mittleren Karossenbestand. Allerdings kann der Ausgangszustand nicht erreicht werden.

**P3S1E1**

Eine weitere Reduzierung der Auftragsvarianz auf acht Varianten wird im Umsetzungsszenario P3S1E1 bewertet. Die Wiederbeschaffungszeit-Anteile bleiben unverändert (vgl. dazu Tabelle 6-10). Zur Parametrisierung der Bestände werden die gleichen Werte wie in der Null-Konfiguration verwendet. Das Ergebnis ist in Tabelle 6-13 dargestellt.

Variante i	durchschnittliche Bedarfsrate [Karossen]	Anzahl Aufträge Variante i	B <sub>WIP</sub>		B <sub>S</sub>			B
			Kanban (Umlauf)	B <sub>S-V</sub>	B <sub>S-WBZ</sub>		Kanban (Supermarkt)	
				Kanban (Sicherheit Verbrauch)	Kanban (Sicherheit WBZ-Menge)	Kanban (Sicherheit WBZ-Termin)		
00111	662	27441	38	4	4	46	47	85
00211	265	10976	15	2	2	19	20	35
00121	88	3658	5	1	1	7	8	13
00122	83	3430	5	1	1	6	7	12
00221	40	1663	3	1	1	3	4	7
00112	37	1524	3	1	1	3	4	7
00212	22	899	2	1	1	2	3	5
00222	10	409	1	1	1	1	2	3
<b>Summe</b>		<b>50000</b>	<b>72</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>87</b>	<b>95</b>	<b>167</b>

Tabelle 6-15: Bestände für das Umsetzungsszenario P3S1E1

Analog dazu sind die Ergebnisse der Simulation in Tabelle 6-16 zusammengefasst.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DLZ <sub>mit</sub> [min]	Reihenfolgen- einhaltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen- rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen- abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard- abweichung Reihenfolgen- abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf- bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess- ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
<b>P3S1E1</b>	1207	86,15	99,16	15	0,35	2,95	72,01	82,5

Tabelle 6-16: Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S1E1

Wie zu erwarten, werden die Zielgrößen von der Reduzierung der Varianz positiv beeinflusst. Hinsichtlich der Reihenfolgenkennzahlen kann von einem idealen Ergebnis gesprochen werden. Durch die Verringerung der Karossenvarianten von 20 auf acht konnte eine Bestandsreduzierung im Supermarkt von ca. 24 % erreicht werden. Das Ausgangsbestandsniveau wird aber noch deutlich überschritten (+ 78 Karossen).

### P4S1E1

Wie in Abschnitt 6.3.1 analysiert, existieren im vorliegenden Prozess externe und interne Variantentreiber. Die Reduzierung eines weiteren internen Variantentreibers führt zu einer Gesamtkarossenvarianz von vier am Prozessende. Diese wird im Umsetzungsszenario P4S1E1 untersucht, wobei die Prozess-, Übergangs- und Informations-/Administrationszeiten gleich bleiben (vgl. dazu Tabelle 6-10). Die Dimensionierung der notwendigen Bestände ist in Tabelle 6-17 dargestellt.

Variante i	durchschnittliche Bedarfsrate [Karossen]	Anzahl Aufträge Variante i	B <sub>WIP</sub> Kanban (Umlauf)	B <sub>S</sub>			Kanban (Supermarkt)	B
				B <sub>S-v</sub>	B <sub>S-wbz</sub>			
			Kanban (Sicherheit Verbrauch)	Kanban (Sicherheit WBZ-Menge)	Kanban (Sicherheit WBZ-Termin)			
00011	994	41156	56	5	5	68	69	125
00021	99	4115	6	1	1	7	8	14
00022	71	2939	4	1	1	5	6	10
00012	43	1790	3	1	1	3	4	7
<b>Summe</b>		<b>50000</b>	<b>69</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>83</b>	<b>87</b>	<b>156</b>

Tabelle 6-17: Bestände für das Umsetzungsszenario P4S1E1

Die Erfüllung der Zielgrößen erfolgt über die zugehörige Tabelle 6-18.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DLZ <sub>mit</sub> [min]	Reihenfolgen-einhaltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen-rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen-abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard-abweichung Reihenfolgen-abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf-bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess-ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
<b>P4S1E1</b>	1207	86,23	99,49	11	0,25	1,96	72,08	71,7

Tabelle 6-18: Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P4S1E1

Die Initial-Dimensionierung des Supermarkts führt zu 87 Karossen, die aufgrund von Sicherheitsfaktoren vor allem für die Durchlaufzeit-Streuung notwendig sind. Dies führt dazu, dass sich durchschnittlich 71 Karossen als Fertigbestand am Prozessende befinden. Trotz einer Reduzierung der WIP ist der Gesamtkarossenbestand im vorliegenden Umsetzungsszenario gegenüber dem Ausgangszustand im Mittelwert um 67 Karossen zu hoch.

### P5S1E1

Um die Untersuchung des Einflussfaktors Produktvarianz zu vervollständigen, wird dieser Parameter auf eine Endvarianz von 2 gesetzt. Dies ist auch in der Praxis

zumindest theoretisch möglich, da im vorliegenden Karosseriebauprozess die externe Varianz lediglich vom Einflussfaktor Schiebedach erzeugt wird und dieser in zwei Ausprägungen vorliegt. Das Umsetzungsszenario P5S1E1 ermittelt, inwieweit die maximale Reduzierung der Varianz Potentiale zur Senkung des Bestandsniveaus bei gleichbleibenden Wiederbeschaffungszeit bietet. Die Parametrisierung der Stellgröße Bestand ist für das Umsetzungsszenario P5S1E1 in Tabelle 6-19 dargestellt.

Variante i	durchschnittliche Bedarfsrate [Karossen]	Anzahl Aufträge Variante i	B <sub>WIP</sub> Kanban (Umlauf)	B <sub>S</sub>				B
				B <sub>S-V</sub> Kanban (Sicherheit Verbrauch)	B <sub>S-WBZ</sub>		Kanban (Supermarkt)	
			Kanban (Sicherheit WBZ-Menge)		Kanban (Sicherheit WBZ-Termin)			
00011	1037	42945	59	5	5	71	72	131
00021	170	7055	10	1	1	12	13	23
<b>Summe</b>		<b>50000</b>	<b>69</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>83</b>	<b>85</b>	<b>154</b>

Tabelle 6-19: Bestände für das Umsetzungsszenario P5S1E1

Die Erfüllung der Zielgrößen erfolgt über die zugehörige Tabelle 6-20.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DLZ <sub>mit</sub> [min]	Reihenfolgen-einhaltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen-rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen-abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard-abweichung Reihenfolgen-abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf-bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess-ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
<b>P5S1E1</b>	1207	86,23	100,00	6	0,14	1,32	72,08	67,2

Tabelle 6-20: Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P5S1E1

Die Problematik der großen Sicherheitsfaktoren der Fertigstellungstermine kommt auch im Umsetzungsszenario P5S1E1 zum Tragen. Dies kann durch die Reduzierung der Varianz nicht kompensiert werden, so dass der Gesamtbestand in der Simulation noch deutlich über dem Ist-Zustand liegt. In Abbildung 6-13 sind die bisherigen Ergebnisse der Simulationsparameterstudie über den Einflussfaktor Produktvarianz zusammengefasst.

## 6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

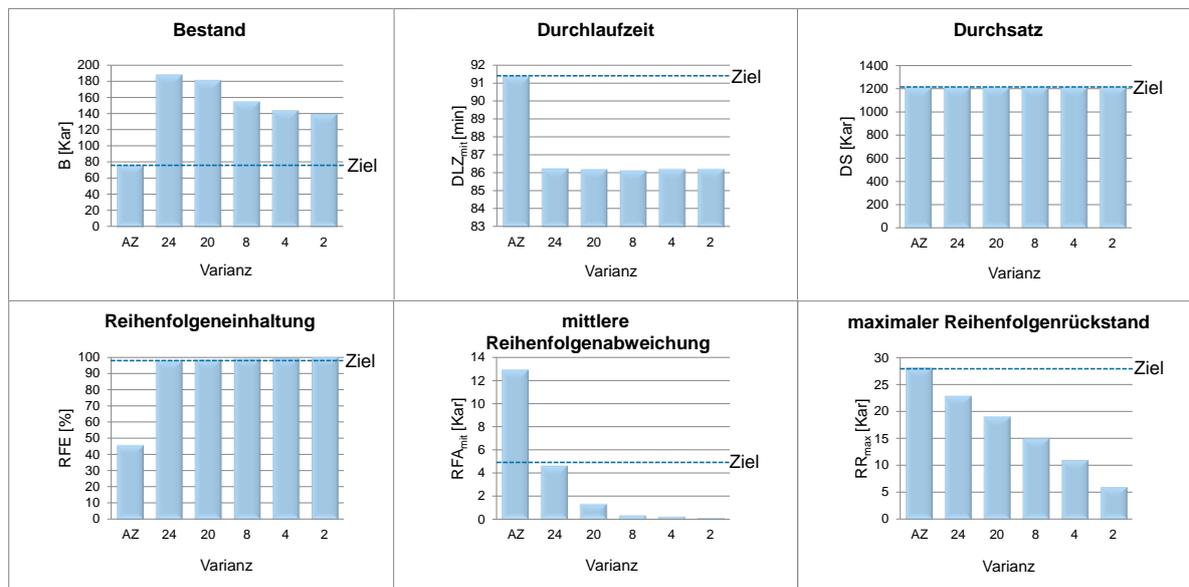


Abbildung 6-13: Ergebnisse der Simulationsparameterstudie – Einflussfaktor Produktvarianz

Aufgrund der Erkenntnisse über den Einflussfaktor Sicherheit in der Bestandsdimensionierung wird dieser in den folgenden Umsetzungsszenarien auf die Zielgrößenerfüllung analysiert. Als Ausgangsszenario für die weitere Untersuchung wird P3S2E1 verwendet. Darin enthalten ist ein mathematischer Sicherheitsfaktor der dreifachen Standardabweichung ( $\sigma$ ), was bei einer Normalverteilung dem Erwartungswert von 0,99865 entspricht. Sukzessive werden die Sicherheiten auf null reduziert.

### P3S2E1

Das Ausgangsszenario P3S2E1 für die Untersuchung des Einflusses der Sicherheit auf die Bestandsparametrisierung geht von einer Varianz von acht am Prozessende und einem nichtnivellierten Produktionsprogramm aus. Für die WIP, die Sicherheit bei den Verbrauchsschwankungen und Mengen-, sowie Terminabweichungen werden aus den Historien- oder Simulationsdaten die Mittelwerte und zugehörigen Standardabweichungen ermittelt. Im vorliegenden Szenario wird  $\sigma$  dreimal zum jeweiligen Mittelwert addiert. Daraus ergibt sich durch die Wartezeit von Aufträgen am Status X000 auch eine Veränderung der Wiederbeschaffungszeit. Tabelle 6-21 zeigt die Durchlaufzeit-Parameter für das Umsetzungsszenario P3S2E1.

Produktionszeit [min]:	66,12
Übergangszeit [min]:	1,53
Informations-/ Administrationszeit [min]:	67,95

Tabelle 6-21: Durchlaufzeit-Parameter für das Umsetzungsszenario P3S2E1

Daraus abgeleitet ergeben sich wie in Tabelle 6-22 dargestellt die Anzahl der Kanban im Umlauf und im Supermarkt.

Variante i	durchschnittliche Bedarfsrate [Karossen]	Anzahl Aufträge Variante i	B <sub>WIP</sub>		B <sub>S</sub>			B
			Kanban (Umlauf)	B <sub>S-V</sub>	B <sub>S-WBZ</sub>		Kanban (Supermarkt)	
				Kanban (Sicherheit Verbrauch)	Kanban (Sicherheit WBZ-Menge)	Kanban (Sicherheit WBZ-Termin)		
00111	662	27441	75	24	17	12	32	107
00211	265	10976	30	10	16	5	20	50
00121	88	3658	10	4	6	2	8	18
00122	83	3430	10	2	4	2	5	15
00221	40	1663	5	4	4	1	6	11
00112	37	1524	5	3	3	1	5	10
00212	22	899	3	2	2	1	3	6
00222	10	409	2	2	1	1	3	5
<b>Summe</b>		<b>50000</b>	<b>140</b>	<b>51</b>	<b>53</b>	<b>25</b>	<b>82</b>	<b>222</b>

Tabelle 6-22: Bestände für das Umsetzungsszenario P3S2E1

Aus der Durchführung und Auswertung der Ablaufsimulation dieser Konfiguration ergeben sich die in Tabelle 6-23 abgebildeten Werte der Zielgrößen.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DLZ <sub>mit</sub> [min]	Reihenfolgen- einhaltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen- rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen- abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard- abweichung Reihenfolgen- abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf- bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess- ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
<b>P3S2E1</b>	1207	86,15	98,33	125	2,13	10,82	72,01	69,5

Tabelle 6-23: Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S2E1

Die Bewertung der Zielgrößen nach den qualitativen Anforderungen ergibt das folgende Ergebnis: Als wesentliche Zielgröße der Stabilisierungspotentiale einer Steuerung kann die Reihenfolgenabweichung im Mittelwert deutlich verbessert werden, so dass der Zielwert von 5 unterschritten wird. 98,33 % der Fahrzeuge können ihre Reihenfolgenposition einhalten. Lediglich der maximale Reihenfolgenrückstand liegt im Umsetzungsszenario höher als im Ausgangszustand, wobei es sich um Exotenvarianten (Low-Runner) handelt, die sich aufgrund von Prozessstörungen aufstauen. Alle weiteren Kennzahlenwerte sind besser als im Ausgangszustand. Lediglich der Prozessbestand im Supermarkt

## 6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

am Ende führt nach wie vor zum Nichterreichen des angestrebten Gesamtbestandsniveaus des Ausgangszustands.

In den folgenden Umsetzungsszenarien wird versucht, trotz einer weiteren Reduzierung der Sicherheitsbestände die Zielgrößenwerte zu erfüllen.

### P3S3E1

Eine weitere Reduzierung der Sicherheitsauslegung auf die Mittelwerte +  $2\sigma$  wird im Umsetzungsszenario P3S3E1 bewertet. Die Wiederbeschaffungszeit als Grundlage für die Kanbandimensionierung verändert sich aufgrund des Bestandteils der Informations- und Administrationszeit. Die mittlere Wartezeit eines Produktionsauftrags vor der Einsteuerung am Statuspunkt X000 wird dazu mit der zweifachen Standardabweichung addiert. Das Ergebnis ist in Tabelle 6-24 dargestellt.

Produktionszeit [min]:	66,12
Übergangszeit [min]:	1,53
Informations-/ Administrationszeit [min]:	50,96

Tabelle 6-24: Durchlaufzeit-Parameter für das Umsetzungsszenario P3S3E1

Gegenüber der Auslegung der Bestände im Umsetzungsszenario P3S2E1 ergeben sich Verringerungen bei allen Sicherheitsfaktoren. Insgesamt führt dies zu einer Reduzierung im Supermarkt um 27 Kanban.

Variante i	durchschnittliche Bedarfsrate [Karossen]	Anzahl Aufträge Variante i	B <sub>WIP</sub> Kanban (Umlauf)	B <sub>S</sub>				B
				B <sub>S-V</sub> Kanban (Sicherheit Verbrauch)	B <sub>S-WBZ</sub>		Kanban (Supermarkt)	
					Kanban (Sicherheit WBZ-Menge)	Kanban (Sicherheit WBZ-Termin)		
00111	662	27441	66	16	9	8	21	87
00211	265	10976	27	5	10	4	12	39
00121	88	3658	9	2	4	2	5	14
00122	83	3430	9	1	3	1	4	13
00221	40	1663	4	3	3	1	5	9
00112	37	1524	4	2	2	1	3	7
00212	22	899	3	1	2	1	3	6
00222	10	409	1	1	1	1	2	3
<b>Summe</b>		<b>50000</b>	<b>123</b>	<b>31</b>	<b>34</b>	<b>19</b>	<b>55</b>	<b>178</b>

Tabelle 6-25: Bestände für das Umsetzungsszenario P3S3E1

Die Reduzierung der Sicherheitsbestände im Prozess, vor allem aber im Supermarkt wirkt sich auf die Zielgrößen deutlich aus. Tabelle 6-26 fasst die Ergebnisse der Simulation zusammen.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DLZ <sub>mit</sub> [min]	Reihenfolge-einhaltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen-rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen-abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard-abweichung Reihenfolgen-abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf-bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess-ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
P3S3E1	1206	86,04	78,94	1033	19,29	54,28	71,92	42,7

Tabelle 6-26: Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S3E1

Bereits am Durchsatz ist erkennbar, dass das vorliegende Umsetzungsszenario mit zweifacher Sicherheit nicht geeignet ist. Die Ausbringung des Karosseriebauprozesses reicht nicht aus, um den Kundentakt zu bedienen. In Hinblick auf die Reihenfolgenkennzahlen zeichnet sich das Szenario durch deutlich schwächere Ergebnisse als der Ausgangszustand aus. Somit ist zu konstatieren, dass die singuläre Parametrisierung mit zweifacher Sicherheit (Mittelwert + 2σ) nicht ausreicht, um die quantitativen Anforderungen an eine schlanken Produktionssteuerung zur Stabilisierung von Auftragsfolgen zu erfüllen. In Abbildung 6-14 sind die Zusammenhänge des Einflussfaktors Sicherheit mit den Zielgrößen konsolidiert dargestellt.

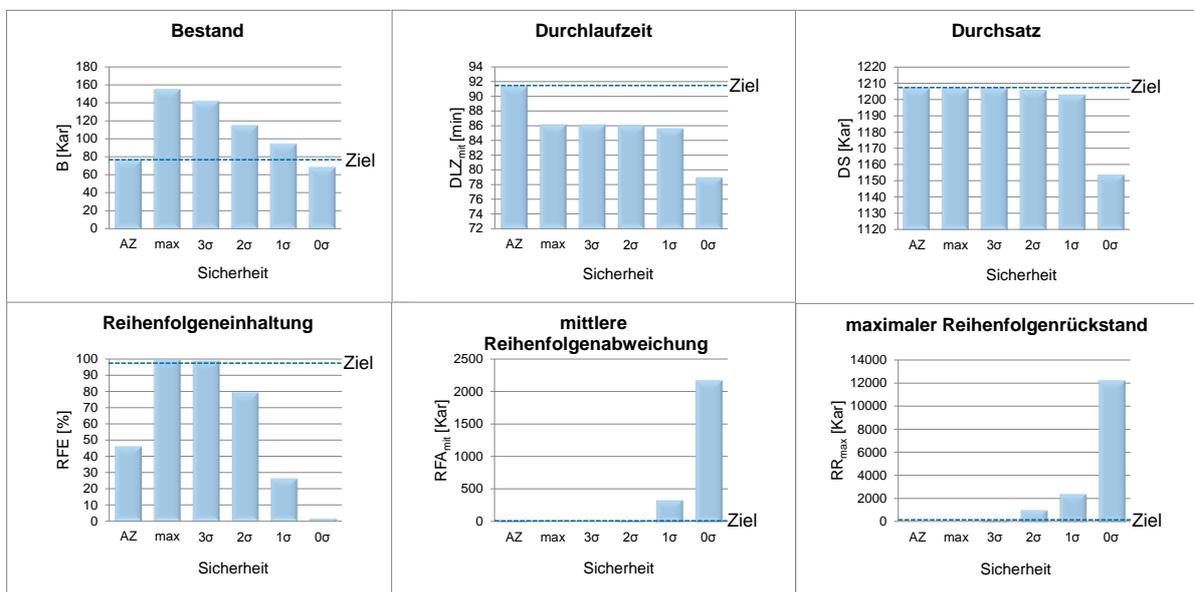


Abbildung 6-14: Ergebnisse der Simulationsparameterstudie – Einflussfaktor Sicherheit

Die Reduzierung von Sicherheiten wird vorerst nicht weiterverfolgt. Um die sich daraus ergebenden Bestände dennoch reduzieren zu können, ist es notwendig, die Unsicherheiten im Prozess einzudämmen. Zum einen existieren Prinzipien und

Methoden des Lean-Managements, mit deren Hilfe im Prozess Restrukturierungen vorgenommen werden können.

Zum anderen bietet auch die PPS Möglichkeiten: Verbrauchs- und Mengenschwankungen können mithilfe der Nivellierung von Produktionsprogrammen durch die übergeordnete Planungsinstanz eliminiert werden. Dazu werden die Kundenaufträge in Tagespakete gleicher Stückzahl eingeteilt. Die Zusammensetzung der Auftragsliste entspricht der durchschnittlichen Bedarfsrate, wobei eine Gleichverteilung der Varianten angestrebt wird. Einen Algorithmus zur Nivellierung beschreibt Jodlbauer in Anlehnung an das Final Assembly Scheduling (FAS) von Toyota [Jodlbauer 2007].

$k = 1$

$$a_{j,k} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{x_j}, j = 1 \dots n$$

for  $k = 1$  to  $n$

$$\tilde{j} : a_{j,k} = \min_{j=1 \dots n} a_{j,k}$$

$$n_k = \tilde{j}$$

$$a_{j,k+1} = a_{j,k} - 1, \quad j \neq \tilde{j}$$

$$a_{\tilde{j},k+1} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{x_{\tilde{j}}}$$

next  $k$

Dieser Algorithmus wird genutzt, um die 50.000 Kundenaufträge zu nivellieren, eine Auftragsliste zu erzeugen und im Umsetzungsszenario P3S3E2 anzuwenden.

### **P3S2E2**

Das Umsetzungsszenario P3S2E2 bildet das erste Ergebnis der Iteration zur Auswahl und Überprüfung einer geeigneten Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung zur Stabilisierung von Auftragsfolgen. Bei acht

Karossenvarianten am Prozessende wird zur Bestandsauslegung ein Sicherheitszuschlag von  $3\sigma$  verwendet. Dabei ist die Auftragsliste mit der Soll-Reihenfolge nivelliert. Auftragswartezeiten vor dem Prozessstart werden nicht angenommen, so dass sich eine Wiederbeschaffungszeit analog der Null-Konfiguration ergibt (vgl. dazu Tabelle 6-10). Aufgrund der nicht mehr notwendigen Sicherheiten zum Ausgleich von Verbrauchs- und Mengenschwankungen ergibt sich eine neue Dimensionierung der Bestände im vorliegenden Kanban-CONWIP-Prozess. In Tabelle 6-27 ist die Zusammensetzung der Kanban dargestellt.

Variante i	durchschnittliche Bedarfsrate [Karossen]	Anzahl Aufträge Variante i	B <sub>WIP</sub> Kanban (Umlauf)	B <sub>S</sub>			Kanban (Supermarkt)	B
				B <sub>S-V</sub>	B <sub>S-WBZ</sub>			
			Kanban (Sicherheit Verbrauch)	Kanban (Sicherheit WBZ-Menge)	Kanban (Sicherheit WBZ-Termin)			
00111	662	27441	38	0	0	43	43	81
00211	265	10976	15	0	0	17	17	32
00121	88	3658	5	0	0	6	6	11
00122	83	3430	5	0	0	6	6	11
00221	40	1663	3	0	0	3	3	6
00112	37	1524	3	0	0	3	3	6
00212	22	899	2	0	0	2	2	4
00222	10	409	1	0	0	1	1	2
<b>Summe</b>		<b>50000</b>	<b>72</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>153</b>

Tabelle 6-27: Bestände für das Umsetzungsszenario P3S2E2

Aus der Durchführung und Auswertung der Ablaufsimulation dieses Umsetzungsszenario ergeben sich die in Tabelle 6-28 abgebildeten Werte der Zielgrößen.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DL <sub>mit</sub> [min]	Reihenfolgen-einhaltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen-rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen-abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard-abweichung Reihenfolgen-abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf-bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess-ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
<b>P3S2E2</b>	1207	73,48	100,00	0	0,00	0,00	61,42	68,8

Tabelle 6-28: Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S2E2

Die Nivellierung der Einsteuerauftragsliste führt dazu, dass alle Zielgrößen zur Bewertung der Reihenfolgenstabilität den Maximalwert erreichen. Alle Karossen weisen weder eine Verspätung noch eine Verfrühung in Bezug auf ihre Soll-Position auf, was zu einer Reihenfolgeneinhaltung von 100 % führt. Die mittlere Durchlaufzeit von X000–X500 ist dabei um ca. 18 Minuten kürzer als im Ausgangszustand. Gemäß Little's Law drückt sich dies durch die Senkung um 15

Karossen auch in der WIP aus. Gemeinsam mit dem mittleren Supermarktfüllstand ergibt sich ein Gesamtkarossenbestand von ca. 130 Karossen, der damit um 54 Karossen über dem der Ausgangssituation liegt.

Auf der Basis dieser Ergebnisse ist festzuhalten, dass die vorliegende Konfiguration einer hybriden Kanban-CONWIP-Steuerung bei einer Nivellierung der Einsteuerlisten extrem leistungsfähig ist, Auftragsreihenfolgen zu stabilisieren. Auch die Reduzierung von Durchlaufzeit und WIPs ist dadurch sehr gut möglich. Die dafür notwendigen Supermarktbestände am Prozessende tragen zu einem allgemein höheren Bestandsniveau als bei push-gesteuerten Fertigungsprozessen bei. Die Überlegenheit dieses Steuerungsverfahrens hinsichtlich der Stabilisierungsfunktion wird aus dem Vergleich mit konventionellen Resortierpuffern deutlich. Tabelle 6-29 zeigt das Ergebnis hinsichtlich der Zielgrößenenerreichung eines wahlfreien Resortierpuffers mit 80 Karossenstellplätzen.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DLZ <sub>mit</sub> [min]	Reihenfolgen-einhaltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen-rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen-abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard-abweichung Reihenfolgen-abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf-bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess-ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
Sortierpuffer mit 80 Stellplätzen im wahlfreien Zugriff	1207	97,11	97,58	5	1,30	5,09	75,51	68,7

Tabelle 6-29: Ergebnis einer Push-Steuerung mit Resortierpuffer

Den in Abschnitt 6.1 definierten Anforderungen gemäß kann die durchgesetzte Konfiguration aufgrund ihres höheren Gesamtbestands nicht als „durchgehend schlank“ bezeichnet werden. Um das gefundene Umsetzungsszenario zu optimieren, erfolgt wie in den Szenarien P3S3E1 und P3S2E1 über eine Rückkopplung eine sukzessive Reduzierung der Sicherheitsfaktoren.

### P3S3E2

Als Variation des vorangegangenen Umsetzungsszenarios wird lediglich der Sicherheitsaufschlag  $3\sigma$  auf  $2\sigma$  reduziert. An Tabelle 6-30 ist erkennbar, dass dies zu einer Reduzierung der Anzahl der Kanban im Supermarkt führt.

Variante i	durchschnittliche Bedarfsrate [Karossen]	Anzahl Aufträge Variante i	B <sub>WIP</sub> Kanban (Umlauf)	B <sub>S</sub>			Kanban (Supermarkt)	B
				B <sub>S-V</sub> Kanban (Sicherheit Verbrauch)	B <sub>S-WBZ</sub>			
						Kanban (Sicherheit WBZ-Menge)	Kanban (Sicherheit WBZ-Termin)	
00111	662	27441	38	0	0	32	32	70
00211	265	10976	15	0	0	13	13	28
00121	88	3658	5	0	0	5	5	10
00122	83	3430	5	0	0	4	4	9
00221	40	1663	3	0	0	2	2	5
00112	37	1524	3	0	0	2	2	5
00212	22	899	2	0	0	2	2	4
00222	10	409	1	0	0	1	1	2
<b>Summe</b>		<b>50000</b>	<b>72</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>61</b>	<b>61</b>	<b>133</b>

Tabelle 6-30: Bestände für das Umsetzungsszenario P3S3E2

Inwieweit die Zielgrößenanforderungen nach wie vor erfüllt werden können, zeigt Tabelle 6-31.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DL <sub>mit</sub> [min]	Reihen- folgen- ein- haltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen- rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen- abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard- abweichung Reihenfolgen- abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf- bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess- ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
<b>P3S3E2</b>	1207	73,88	98,52	122	0,13	1,71	61,75	49,1

Tabelle 6-31: Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S3E2

Die neue Dimensionierung der Bestände führt, wie erwartet, zur Verschlechterung der Ergebnisse aus dem Umsetzungsszenario P3S2E2. Allerdings zeigt sich, dass die Zielwerte der wesentlichen Reihenfolgenkennzahlen Reihenfolgeein- und RA deutlich erreicht werden. Zugleich kann der mittlere Füllstand im Supermarkt am Prozessende auf 49 Karossen reduziert werden. Aufgrund der Zielerreichung bei den Reihenfolgenkennzahlen wird die Sicherheit bei der Bestandsermittlung weiter reduziert.

### P3S4E2

Im Umsetzungsszenario P3S4E2 wird von einer durchschnittlichen Durchlaufzeit von ca. 112 Minuten ausgegangen, was der Addition von  $1\sigma$  mit der durchschnittlichen Durchlaufzeit entspricht. Die Auswirkung auf die Summe der Kanban wird an Tabelle 6-32 verdeutlicht.

## 6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

Variante i	durchschnittliche Bedarfsrate [Karossen]	Anzahl Aufträge Variante i	B <sub>WIP</sub> Kanban (Umlauf)	B <sub>S</sub>				B
				B <sub>S-V</sub> Kanban (Sicherheit Verbrauch)	B <sub>S-WBZ</sub>		Kanban (Supermarkt)	
					Kanban (Sicherheit WBZ-Menge)	Kanban (Sicherheit WBZ-Termin)		
00111	662	27441	38	0	0	21	21	59
00211	265	10976	15	0	0	9	9	24
00121	88	3658	5	0	0	3	3	8
00122	83	3430	5	0	0	3	3	8
00221	40	1663	3	0	0	2	2	5
00112	37	1524	3	0	0	2	2	5
00212	22	899	2	0	0	1	1	3
00222	10	409	1	0	0	1	1	2
<b>Summe</b>		<b>50000</b>	<b>72</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>42</b>	<b>42</b>	<b>114</b>

Tabelle 6-32: Bestände für das Umsetzungsszenario P3S4E2

Inwieweit die Zielgrößenanforderungen nach wie vor erfüllt werden können, zeigt Tabelle 6-33.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DLZ <sub>mit</sub> [min]	Reihenfolgen-einhaltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen-rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen-abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard-abweichung Reihenfolgen-abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf-bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess-ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
<b>P3S4E2</b>	1207	74,55	97,97	350	1,60	8,58	62,32	31,0

Tabelle 6-33: Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S4E2

Aufgrund der reduzierten Supermarktkapazität verschlechtern sich die Zielgrößenwerte gegenüber dem Umsetzungsszenario P3S3E2 weiter. Gegenüber dem Ausgangszustand liegen diese allerdings nach wie vor im Zielbereich. Dabei kann der Gesamt-Fertigwaren-Bestand weiter reduziert werden. Im Vergleich zu dem bei der MRP-Steuerung liegt der Gesamtbestand bei der Kanban-CONWIP-Steuerung nur noch um 17 Karossen darüber.

Eine weitere Reduzierung der Differenz über den Faktor Sicherheit erscheint allerdings nicht mehr möglich, da diese zu einer Verschlechterung der Reihenfolgenkennzahlen führen würde und die Zielerreichung bei der Reihenfolgeneinhaltung damit nicht mehr möglich wäre. Allerdings ist eine Einflussnahme durch die Reduzierung der Varianz möglich, die im Umsetzungsszenario P4S4E2 verifiziert wird. In Abbildung 6-15 sind die Erkenntnisse über eine Nivellierung in Abhängigkeit von den vorhandenen Sicherheiten im Prozess zusammengefasst.

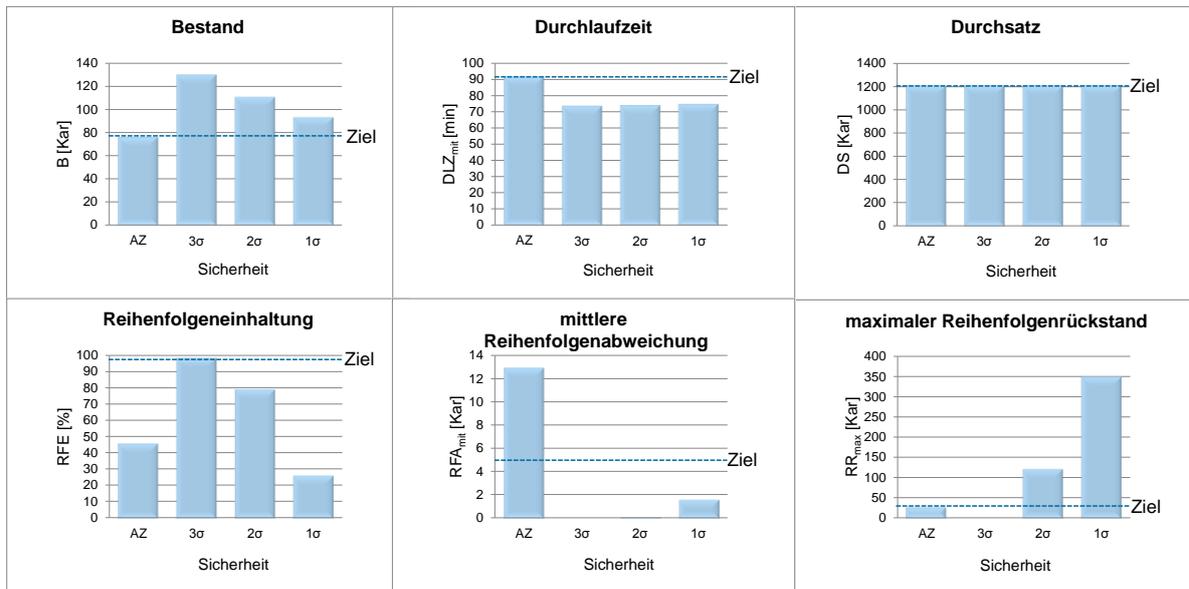


Abbildung 6-15: Ergebnisse der Simulationsparameterstudie – Einflussfaktor Nivellierung

### P4S4E2

Auf den Erkenntnissen aus den vorangegangenen Parameterstudien über die Variantenreduzierung aufbauend wird die Karossvarianz im vorliegenden Szenario von acht auf vier halbiert. Ansonsten bleibt die Konfiguration gegenüber dem Umsetzungsszenario P3S4E2 unverändert. Die Auswirkung auf die Summe der Kanban wird an Tabelle 6-34 verdeutlicht.

Variante i	durchschnittliche Bedarfsrate [Karossen]	Anzahl Aufträge Variante i	B <sub>WIP</sub>		B <sub>S</sub>			B
			Kanban (Umlauf)	B <sub>S-V</sub>	B <sub>S-WBZ</sub>		Kanban (Supermarkt)	
					Kanban (Sicherheit Verbrauch)	Kanban (Sicherheit WBZ-Menge)		
00111	994	41156	56	0	0	31	31	87
00211	99	4115	6	0	0	4	4	10
00121	71	2939	4	0	0	3	3	7
00122	43	1790	3	0	0	2	2	5
<b>Summe</b>		<b>50000</b>	<b>69</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>109</b>

Tabelle 6-34: Bestände für das Umsetzungsszenario P4S4E2

Inwieweit die Zielgrößenanforderungen nach wie vor erfüllt werden können, zeigt Tabelle 6-35.

## 6 Konfiguration, Anwendung und Bewertung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsfolgen

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DLZ <sub>mit</sub> [min]	Reihenfolgen-einhaltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen-rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen-abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard-abweichung Reihenfolgen-abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf-bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess-ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
P4S4E2	1207	74,55	98,57	22	1,60	8,58	62,32	24,0

Tabelle 6-35: Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P3S4E2

Die Reduzierung der Produktvarianz führt zu einer Senkung der notwendigen Supermarktkapazität am Prozessende, so dass sich dies auch auf den Gesamtkarossenbestand positiv auswirkt. Gegenüber dem Ausgangszustand bei einer MRP-Steuerung liegt der Gesamtbestand bei der Kanban-CONWIP-Steuerung lediglich um zehn Karossen darüber. Die restlichen Zielgrößen werden erreicht oder teilweise deutlich übertroffen. Um das gesamte Potential der Verfahrenskonfiguration auszuschöpfen, wird die Produktvarianz als Einflussfaktor im Folgenden auf zwei (vorhandene externe) Varianten weiter reduziert.

### P5S4E2

Das Umsetzungsszenario P5S4E2 bildet das letzte Ergebnis der Iteration zur Auswahl und Überprüfung einer geeigneten Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung zur Stabilisierung von Auftragsfolgen. Bei zwei Karossenvarianten am Prozessende wird zur Bestandsauslegung ein Sicherheitsaufschlag von  $1\sigma$  verwendet. Dabei ist die Auftragsliste mit der Soll-Reihenfolge nivelliert. Auftragswartezeiten vor dem Prozessstart werden nicht angenommen, so dass sich eine Wiederbeschaffungszeit analog der Null-Konfiguration ergibt (vgl. dazu Tabelle 6-10). Sicherheiten für die Kompensation von Verbrauchs- und Mengenschwankungen sind nicht notwendig. Tabelle 6-36 zeigt die Dimensionierung der Bestände/Kanban im vorliegenden Kanban-CONWIP-Prozess.

Variante i	durchschnittliche Bedarfsrate [Karossen]	Anzahl Aufträge Variante i	B <sub>WIP</sub>		B <sub>S</sub>			B
			Kanban (Umlauf)	B <sub>S-V</sub> Kanban (Sicherheit Verbrauch)	B <sub>S-WBZ</sub>		Kanban (Supermarkt)	
					Kanban (Sicherheit WBZ-Menge)	Kanban (Sicherheit WBZ-Termin)		
00111	994	41156	59	0	0	32	32	91
00211	99	4115	10	0	0	6	6	16
<b>Summe</b>		<b>45271</b>	<b>69</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>107</b>

Tabelle 6-36: Bestände für das Umsetzungsszenario P5S4E2

Im Supermarktbestand ergibt sich lediglich eine Reduzierung um zwei Kanban. Bei der Erfüllung der Zielgrößenanforderungen, in Tabelle 6-33 dargestellt, ergeben sich allerdings deutlichere Unterschiede.

	Durchsatz pro Tag DS [Kar]	mittlere Durchlaufzeit DL <sub>mit</sub> [min]	Reihen- folgen- ein- haltung RFE [%]	maximaler Reihenfolgen- rückstand RR <sub>max</sub> [Kar]	mittlere Reihenfolgen- abweichung RA <sub>mit</sub> [Kar]	Standard- abweichung Reihenfolgen- abweichung σRFA [Kar]	mittlerer Umlauf- bestand B <sub>WIPmit</sub> [Kar]	mittlerer Bestand Prozess- ende B <sub>Smit</sub> [Kar]
<b>P5S4E2</b>	1207	74,55	100,00	6	0,14	1,32	62,32	17,0

Tabelle 6-37: Ergebnisse für das Umsetzungsszenario P5S4E2

Das Umsetzungsszenario P5S4E2 erzeugt das beste Ergebnis hinsichtlich der Zielgrößenanforderungen im vorliegenden Karosseriebauprozess. Aufgrund der geringeren Produktvarianz sind eine kleinere Anzahl der Kanban und somit auch ein kleinerer Supermarkt am Prozessende notwendig. Gegenüber dem Ausgangszustand bei der MRP-Steuerung werden alle Zielgrößenbereiche erreicht. Das vorhandene Fertigungssystem erreicht den Durchsatz und unterschreitet die mittlere Durchlaufzeit um ca. 19 %.

Die zentralen Kennzahlen zum Nachweis der Stabilisierung (Reihenfolgeneinhaltung/Reihenfolgenabweichung) sind am Höchstwert oder nur knapp darunter, so dass eine stabile Auftragsfolge konstatiert werden kann. Nur der Gesamtkarosseriebestand als Summe der Kanban in und nach dem Prozess liegt im selektierten Umsetzungsszenario bei der Kanban-CONWIP-Steuerung um lediglich drei Karossen über der zentral push-betriebenen MRP-Steuerung. Die Leistungsfähigkeit einer schlanken Produktionssteuerung mit nivelliertem Auftragsprogramm in Abhängigkeit von der Varianz (der Optimalkonfiguration) ist in Abbildung 6-16 zusammengefasst dargestellt.

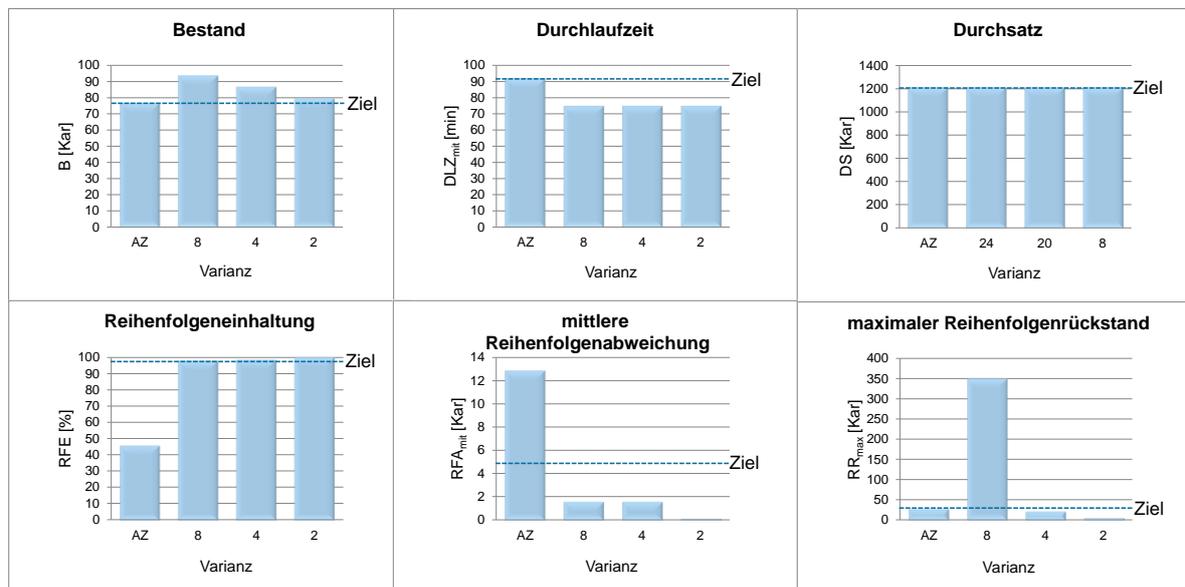


Abbildung 6-16: Ergebnisse der Simulationsparameterstudie – Optimalkonfiguration

## 6.4 Fazit: Systematische Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung ermöglicht Stabilisierung

Der Erfolg einer Produktionssteuerung hängt maßgeblich davon ab, wie diese konfiguriert ist. In dieser Arbeit wurden drei Anforderungsquellen einer ganzheitlichen systematischen Konfiguration von schlanken Produktionssteuerungen lokalisiert (Zielgrößen, Merkmale, Leitsätze). Die Merkmale von schlanken Produktionssteuerungen und die Leitsätze zur Gestaltung bilden dabei die qualitativen Aspekte, wohingegen die logistischen Zielgrößen in Form der Reihenfolgenkennzahlen die Möglichkeit eines quantitativen Vergleichs verschiedener Umsetzungsszenarien bieten.

Mithilfe der neu entwickelten Konfigurationsmethodik ist es möglich, die Auswahl und Parametrisierung einer schlanken Produktionssteuerung für eine Automobil-Variantenfließfertigung situativ durchzuführen. Mit den fünf Modulen Umfeldanalyse, Verfahrensauswahl, -parametrisierung, -durchsetzung und -validierung/-bewertung kann für verschiedene Ausgangssituationen der Automobilproduktion eine spezifische Konfiguration der Auftragssteuerung ermittelt werden, so dass im Anschluss die Validierung erfolgen kann.

Für den untersuchten Automobilkarosseriebauprozess konnte mithilfe der systematischen Konfiguration als schlanken Produktionssteuerungsverfahrens eine hybride Kanban-CONWIP-Steuerung mit FIFO-/DDATE-Reihenfolgensteuerung und Rückstandsregelung ausgewählt werden. Aus der Parametrisierung der Verfahrensbestandteile wurden mögliche Umsetzungsszenarien ermittelt, die mithilfe einer Simulationsparameterstudie auf ihre Praxistauglichkeit getestet wurden.

Aus den vorgefundenen Automobilproduktionsrahmenbedingungen wurden die Parameter ermittelt, die die Konfiguration maßgeblich beeinflussen. Neben der Produktvarianz ist dies die Höhe der Sicherheiten in Form von Beständen und die Form des Auftrags-Inputs aus der Produktionsplanung (nivelliert oder nichtnivelliert). In der Parameterstudie zeigte sich, dass eine Reduzierung von Sicherheiten ohne Maßnahmenkombination nicht sinnvoll darstellbar ist, da diese zwangsläufig zur Verschlechterung der logistischen Zielgrößen führt.

Um die sich aus den Sicherheiten ergebenden Bestände dennoch reduzieren zu können, ist es notwendig, die Unsicherheiten im Prozess zu beherrschen. Zum einen existieren Prinzipien und Methoden des Lean-Managements, mit deren Hilfe im Prozess Restrukturierungen vorgenommen werden können. Zum anderen bietet auch die PPS Möglichkeiten: Verbrauchs- und Mengenschwankungen können mithilfe der Nivellierung von Produktionsprogrammen durch die übergeordnete Planungsinstanz eliminiert werden.

Auf der Basis dieser Ergebnisse ist festzuhalten, dass die vorliegende Konfiguration einer hybriden Kanban-CONWIP-Steuerung bei einer Nivellierung der Einsteuerlisten extrem leistungsfähig ist, Auftragsreihenfolgen zu stabilisieren. Auch die Reduzierung von Durchlaufzeit und WIPs ist dadurch sehr gut möglich. Die dafür notwendigen Supermarktbestände am Prozessende tragen zu einem allgemein höheren Bestandsniveau als bei push-gesteuerten Fertigungsprozessen bei. Die Überlegenheit dieses Steuerungsverfahrens hinsichtlich der Stabilisierungsfunktion wird aus dem Vergleich mit konventionellen Resortierpuffern deutlich.

Eine Reduzierung der Produktvarianz im Variantenmanagement führt zu einer durchgängigen Erreichung oder deutlichen Verbesserung der Zielgrößen, insbesondere auch zu einer Reduzierung der Kanban im Supermarkt und somit

einer Senkung des Gesamt-Fertigwaren-Bestands. Im Vergleich zu dem bei einer MRP-Steuerung liegt der Gesamtbestand bei der Kanban-CONWIP-Steuerung bei einer entsprechenden Reduzierung der Produktvarianz nur noch um drei Karossen höher.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Damit die Automobilhersteller im harten globalen Wettbewerb weiter erfolgreich bestehen können, sind Wertschöpfungs- und Kundenorientierung wichtige Bausteine des Erfolgs. Dabei gilt es, nicht dem Weltmarktführer Toyota einfach nur nachzueifern, sondern durch neue Konzepte und technische Innovationen strengere Maßstäbe zu setzen. Im Fokus der Entwicklung standen bei den Herstellern in den letzten Jahren die Optimierung der Wertschöpfungsprozesse und die Umsetzung der Lean-Production nach dem Vorbild von Toyota.

Für einen nachhaltigen Unternehmenserfolg müssen zukunftsfähige Konzepte aber unternehmensübergreifend über dieses Anwendungsgebiet hinausgehen und Hersteller und Zulieferer gleichermaßen einbinden. Die Logistik kann als sowohl verbindendes als auch steuerndes Element der weltweit verteilten und zunehmend vernetzten Wertschöpfung erheblichen Beitrag dazu leisten. Der Ansatz einer schlanken Logistik (Lean-Logistics) zielt auf das Gesamtoptimum der Leistungserbringung im Logistiknetzwerk, hin zur umfassenden Wertschöpfungs- und Kundenorientierung.

Eine schlanke, wertschöpfungsorientierte Logistik lässt sich im Netzwerk der Hersteller und Zulieferer nur durch stabile und robuste Prozesse umsetzen. Damit sich die Automobillogistik den aktuellen und künftigen Herausforderungen stellen kann, sind für eine entsprechende Zielerreichung innovative Planungs- und Steuerungskonzepte zu realisieren.

Das Ziel muss es sein, die durch Komplexität und Unsicherheit induzierte Turbulenz in den Informations- und Materialflüssen sowie die daraus resultierende Ressourcenverschwendung künftig zu vermeiden und zu beherrschen. Die stabile Auftragsfolge in der Wertschöpfungskette bei Automobilen als zentrale Vision dieser Arbeit schafft eine wichtige Grundlage für die Umsetzung der Lean-Logistics und ermöglicht erhebliche Verbesserungspotentiale.

Der Umsetzungserfolg des Konzepts hängt allerdings stark von der erreichten Reihenfolgenstabilität ab. Die Analyse des Stands der Realisierung von Auftragsreihenfolgekonzepten in der Automobilindustrie zeigte auf, dass von keinem deutschen Hersteller ein gleichermaßen stabiler und wertschöpfungsorientierter Produktionsfluss erreicht wird.

Die wissenschaftliche Diskussion über eine methodengestützte Umsetzungskonzeption konzentrierte sich in dieser Arbeit auf die Möglichkeiten der Produktionssteuerung als Stabilisierungsfaktor von Auftragsreihenfolgen innerhalb der Automobilwerke mit der typischerweise variantenreichen, kundenindividuellen BTO-Fertigung insbesondere der deutschen Hersteller.

Zunächst wurde die Frage beantwortet, welche Potentiale und Risiken sich aus dem Konzept der stabilen Auftragsfolge in der Automobilpraxis tatsächlich ergeben, und wurden die relevanten Einflüsse auf deren praktische Umsetzung aufgezeigt. Dabei zeigte sich, dass Nutzenpotentiale in allen untersuchten Unternehmensbereichen und auf allen Wertschöpfungsstufen liegen.

Die empirische Studie bestätigte, dass durch die Umsetzung eines Auftragsreihenfolgenkonzepts sowohl bei den OEM als auch den Zulieferern in hohem Maße Möglichkeiten der Prozessverbesserung und Kostenreduzierung vorhanden sind. Für alle an der Auftragsabwicklung beteiligten Bereiche (Logistik, Beschaffung, Produktion und Vertrieb) überwiegen die Vorteile die möglichen Risiken, wenngleich die konkrete Höhe der einzelnen Potentiale teilweise kontrovers eingeschätzt wurde.

Mithilfe des zur Verfügung gestellten theoretischen Bewertungsmodells zur Quantifizierung monetärer Potentiale konnte und musste letztlich eine kostenmäßige Einzelfallbetrachtung erfolgen. Die Ergebnisse der theoretischen und empirischen Analyse wiesen nach, dass die aktuelle Entwicklung auf dem Gebiet der Automobil-PPS der richtige Weg ist, vorhandene Potentiale in der Wertschöpfungskette zu heben.

In dieser Arbeit wurde untersucht, inwieweit durch eine methodengestützte situative Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung eine Stabilisierung von Auftragsfolgen in der Automobilfertigung erzielt werden kann. Auf einer Analyse, Beschreibung und Bewertung der Rahmenbedingungen in der Automobilindustrie aufbauend wurde der Frage nachgegangen, was „schlank“ im Sinne einer Fertigungssteuerung bedeutet.

Der kontroversen Diskussion über die Einordnung der in der Literatur bekannten Verfahren nach ihrer Push- und Pull-Orientierung wurde ein eigener Vorschlag entgegengesetzt. Darauf aufbauend erfolgte die systematische Beschreibung der Aufgaben, Stell-, Regel- und Zielgrößen der für die Automobilfertigung geeigneten Verfahren. Des Weiteren konnte nachgewiesen werden, weshalb die in der

Automobilproduktion zurzeit ausschließlich vorzufindenden MRP-Systeme nicht dazu in der Lage sind, die notwendige Stabilisierungsfunktion zu erfüllen.

Ein wichtiges Ergebnis dieser Arbeit ist die Definition von Kriterien oder Merkmalen zur Beschreibung von „lean“ oder „schlank“ in Hinblick auf die Produktionssteuerung. Dadurch wird erstmals die systematische Selektion/Bewertung einschlägiger vorhandener Verfahren der Auftragserzeugung, -freigabe und Reihenfolgen- oder Kapazitätssteuerung nach schlanker Ausprägung möglich.

Gemeinsam mit den Leitsätzen zur Gestaltung von Produktionssteuerungsverfahren bilden die Lean-Merkmale die qualitativen Anforderungen im Konfigurationsprozess. Die Zielgrößen einer PPS im Allgemeinen und zur Einhaltung von Auftragssequenzen im Besonderen als quantitative Faktoren bilden bei der Verfahrensdurchsetzung und -validierung die Basis für den späteren Leistungsvergleich mit konventionell push-gesteuerten MRP-Umgebungen.

Als wichtigster wissenschaftlicher Beitrag wurde in dieser Arbeit unter den Rahmenbedingungen einer Automobil-Variantenfließfertigung, nach den Anforderungen des Lean-Managements hinsichtlich schlanker Prozesse und aufgrund der produktionslogistischen Zielgrößen, insbesondere derer der Reihenfolgenstabilität eine fünfstufige modulbasierte Methodik zur situativen Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung zur Stabilisierung von Auftragsfolgen entwickelt. Dadurch wurde es möglich, abhängig von der Umfeldsituation geeignete Verfahren der Auftragssteuerung sowohl auszuwählen als auch entsprechend zu parametrisieren.

Den Abschluss der Konfiguration bildete die Validierung und Bewertung der Lösungsmethodik, die in einem exemplarischen Automobilproduktionsprozess durchgeführt wurde. In dieser Arbeit umfasste die Validierung die Kontrolle der systematischen Erfüllung der definierten Lean-Anforderungen, die Überprüfung der entwickelten Methodik zur Auswahl einer Konfiguration und die grundsätzliche Eignung von schlanken Produktionssteuerungsverfahren zur Stabilisierung von Auftragsreihenfolgen.

Für den untersuchten Automobilkarosseriebauprozess konnte mithilfe der systematischen Konfiguration eine hybride Kanban-CONWIP-Steuerung mit FIFO-/DDATE-Reihenfolgensteuerung und Rückstandsregelung als schlanken Produktionssteuerungsverfahren ausgewählt werden. Durch eine

Simulationsparameterstudie konnte nachgewiesen werden, dass die vorliegende Konfiguration bei einer Nivellierung der Einsteuerlisten extrem leistungsfähig ist, Auftragsreihenfolgen zu stabilisieren.

Die Überlegenheit dieses Steuerungsverfahrens hinsichtlich der Stabilisierungsfunktion wurde aus dem Vergleich mit konventionellen Resortierpuffern deutlich. Trotz der notwendigen Pufferung von Karossen in Kanbansupermärkten ermöglicht diese Konfiguration eine deutliche Verbesserung der logistischen Zielgrößen. Maßnahmen des Variantenmanagements bieten die Möglichkeit, die WIP weiter zu optimieren.

Abschließend ist festzuhalten, dass eine systematische, methodengestützte Konfiguration einer schlanken Produktionssteuerung eine Stabilisierung von Auftragsfolgen und die Verbesserung der logistischen Zielgrößen ermöglicht. Eine Lean-PPS sollte, um noch effizienter zu sein, idealerweise immer mit Prinzipien/Methoden einer schlanken Produktion zur Reduzierung von Unsicherheiten und damit von Beständen kombiniert werden.

Weitere Forschungsarbeiten zur Erweiterung und Verallgemeinerung der Ergebnisse erscheinen vor allem in Bezug auf die Verknüpfung der Einflussgrößen Variantensteuerung und Supermarktlokalisierung/Einsteuerpunkte erforderlich.

*Wer Mut zur Klärung hat, hat auch die Kraft für Veränderung. (unbekannt)*

# Literaturverzeichnis

- [Alford 2000] Alford, D., P. Sackett und G. Nelder (2000): Mass customization – an automotive perspective. In: International Journal of Production Economics, Nr. 65, S. 99–110.
- [Amen 2000] Amen, M. (2000): Heuristic methods for cost-oriented assembly line balancing: A survey. In: International Journal of Production Economics, Nr. 68, S. 1–14.
- [Arnold 2005] Arnold, D. und K. Furmans (2005): Materialfluss in Logistiksystemen. Berlin (Springer).
- [Arnold 2008] Arnold, D.; H. Isermann, A. Kuhn und H. Tempelmeier (2008): Handbuch Logistik. 3. Auflage, Berlin (Springer).
- [Atteslander 1995] Atteslander, P. (1995): Methoden der empirischen Sozialforschung. Berlin (De Gruyter).
- [Bauer 2008] Bauer, N. (2008): Logistik in der Automobilindustrie. Skriptum zur Vorlesung (Sommersemester 2008): Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der TU München.
- [Baumgärtel 2004] Baumgärtel, H. (2004): Gestaltung effizienter Supply Net Prozesse unter Einbeziehung menschlichen Entscheidungsverhaltens und komplexer IT-Systeme. Präsentation: 2. BVL-Wissenschaftssymposium, 26. Mai 2004, Berlin.
- [Baumgärtner 2006] Baumgärtner, G. (2006): Reifegradorientierte Gestaltung von Produktionssystemen. München (TCW Transfer-Centrum).
- [Beckmann 2008] Beckmann, H. (2008): Supply Chain Management. Berlin (Springer).
- [Beutner 2006] Beutner, T. und T. Junghanns (2006): JiT-Belieferung planen und Logistikkosten dauerhaft senken. In: Logistik für Unternehmen, Nr. 1/2, S. 6–9.
- [Blackstone 2008] Blackstone, J. H. und J. F. Cox (2008): APICS Dictionary. 12. Auflage, Chicago, Illinois (American Production and Inventory Control Society).
- [Bonvik 1997] Bonvik, A. M., C. E. Couch und B. S. Gershwin (1997): A comparison of production line control mechanism. In: International Journal of Production Research (Band 35), Nr. 3, S. 789–804.
- [Bopp 2002] Bopp, M., M. Hermann und H. Leuthold (2002): Grundlagen und Techniken empirischer Forschung. Skriptum Geografisches Institut Universität Zürich.
- [Boysen 2005] Boysen, N. (2005): Variantenfließfertigung. Wiesbaden (Deutscher Universitäts-Verlag).
- [Boysen 2006] Boysen, N., M. Flidner und A. Scholl (2007): Produktionsplanung bei Variantenfließfertigung: Planungshierarchie und Hierarchische

- Planung. In: Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft, Nr. 22/2006.
- [Braun 2008] Braun, D. (2008): Das Logistikkonzept im Werk Neckarsulm. Präsentation: 6. Branchenforum Automobil-Logistik der BVL, 24. Januar 2008, Neckarsulm.
- [Bucklin 1965] Bucklin, L. P. (1965): Postponement, Speculation and Structure of Distribution Channels. In: Journal of Marketing Research, Nr. 2 (Februar), S. 26–32.
- [Bullinger 1999] Bullinger, H.-J., A. Korge und H.-P. Lentz (1999): Zur Situation der Produktionssysteme in der deutschen Automobilindustrie. In: Forum Automobilindustrie "Produktion und Arbeitspolitik – Herausforderungen und Perspektiven im Rahmen der Globalisierung", S. 339–358.
- [Buzacott 1992] Buzacott, J. A. und J. G. Shanthikumar (1992): A General Approach for coordinating production in multiple-cell manufacturing systems. In: Production and Operations Management, Nr. 1, S. 34–52.
- [Clark 2005] Clark, C. (2005): Automotive Production Systems and Standardization: From Ford to the Case of Mercedes-Benz. Heidelberg (Physica-Verlag).
- [Corsten 1993] Corsten, H. und T. Will (1993): Lean Production: schlanke Produktionsstrukturen als Erfolgsfaktor. Stuttgart (Kohlhammer).
- [Corsten 2007] Corsten, H. (2004): Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. 11. Auflage, München (Oldenbourg).
- [Dangelmaier 1999] Dangelmaier, W. (1999): Fertigungsplanung. Berlin (Springer).
- [Dannenberg 2004] Dannenberg, J., F. Gehr, B. Hellingrath und C. Kleinhans (2004): Future Automotive Industry Structure (FAST) 2015 – Die neue Arbeitsteilung in der Automobilindustrie. Materialien zur Automobilindustrie (32). Frankfurt am Main (VDA).
- [Decker 1993] Decker, M. (1993): Variantenfließfertigung. Heidelberg (Physica-Verlag).
- [Deleersnyder 1992] Deleersnyder, J.-L. et. al. (1992): Integrating kanban type pull systems and MRP type push systems – Insights from a Markovian model. In: IIE Transactions (Band 24), Nr. 3, S. 43–56.
- [Dickmann 2002] Dickmann, P. und R. Kuttler (2002): Optimum aus Beständen und Liefertreue mit Kanban erreichen – Teil 2. In: Logistik für Unternehmen (Band 10), S. 95–97.
- [Dietrich 1996] Dietrich, E. und A. Schulze (1996): Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation. 2. Auflage, München (Carl Hanser).

- [Duplaga 1996] Duplaga, E. A., C. K. Hahn und D. Hur (1996): Mixed-model assembly line sequencing at Hyundai Motor Company. In: Production and Inventory Management Journal (Band 37), S. 20–26.
- [Eidenmüller 1995] Eidenmüller, B. (1995): Die Produktion als Wettbewerbsfaktor. 3. Auflage, Köln (Industrielle Organisation).
- [Engelhorn 2005] Engelhorn, R. und R. Springer (2005): Einführung eines Produktionssystems bei einem Nutzfahrzeughersteller. In: VDI-Z (Band 147), Nr. 1/2 (Januar/Februar), S. 28–31.
- [Föllinger 2008] Föllinger, O. (2008): Regelungstechnik – Einführung in die Methoden und ihre Anwendung. 10. Auflage. Heidelberg (Hüthig).
- [Ford 1928] Ford, H. und S. Crowther (1928): Das Grosse Heute Das Grosse Morgen. 31.–33. Auflage, Leipzig (List).
- [Furmans 2009] Furmans, K. (2009): Logistik in der Automobilindustrie. Skriptum zur Vorlesung (Sommersemester 2009): Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme der TH Karlsruhe.
- [Gagné 2006] Gagné, C., M. Gravel und W. L. Price (2006): Solving real car sequencing problems with ant colony optimization. In: European Journal of Operational Research (Band 174), Nr. 1, S. 1427–1448.
- [Gausemeier 2001] Gausemeier, J., P. Ebbesmeyer und F. Kallmeyer (2001): Produktinnovation – Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. München (Carl Hanser).
- [Gehr 2007] Gehr, F. und B. Hellingrath (2007): Logistik in der Automobilindustrie: Innovatives Supply Chain Management für wettbewerbsfähige Zulieferstrukturen. Berlin (Springer).
- [Goldratt 2008] Goldratt, E. M. und J. Cox (2008): Das Ziel. 4. Auflage, Frankfurt am Main (Campus Verlag).
- [Graf 2004] Graf, H. (2004): Kundenauftragsorientierte Beschaffungs- und Produktionslogistik bei DaimlerChrysler. Präsentation: BVL-Regionalforum, 27. Januar 2004, Stuttgart.
- [Grinninger 2006] Grinninger, J. und S. Meißner (2006): Früh in Reih und Glied. In: Automobil-Produktion (Band November), S. 54–56.
- [Grinninger 2007] Grinninger, J. und S. Meißner (2007): Chancen und Risiken einer stabilen Auftragsfolge in der Automobilindustrie – Ergebnisse einer empirischen Analyse. In: Dangelmaier, W. et al.: Kundenindividuelle Produktion und lieferzeitoptimierte Unternehmensnetzwerke. Paderborn (ALB-HNI-Verlagsschriftenreihe).
- [Grundig 2006] Grundig, C.-G. (2006): Fabrikplanung – Planungssystematik/Methoden/Anwendungen. München (Carl Hanser).

- [Günther 2007] Günther, H.-O. und H. Tempelmeier (2007): Produktion und Logistik. 7. Auflage, Berlin (Springer).
- [Günthner 2006] Günthner, W. A., J. Boppert, J. Wulz und M. Schedlbauer (2006): Flexibilität durch Standardisierung – Adaptive Logistikplanung. In: Jahrbuch Logistik 2006, Korschbroich, S. 30–35.
- [Günthner 2007a] Günthner, W. A. (2007a): Materialfluss und Logistik. Skriptum zur Vorlesung (Wintersemester 2007/2008): Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der TU München.
- [Günthner 2007b] Günthner, W. A., S. Meißner und J. Grinninger (2007b): Komplexitätsbeherrschung in der Automobilfertigung durch Analyse und Optimierung der Auftragssteuerungsprozesse. In: Bruns, R.: Tagungsbeiträge zum 3. Fachkolloquium WGTL am 22./23. Februar 2007, Hamburg, S. 79–90.
- [Günthner 2009] Günthner, W. A.; Schröder, J., Meißner, S. und Grinninger, J. (2009): Potentiale des Konzepts der stabilen Auftragsfolge in der automobilen Wertschöpfungskette: Ergebnisse einer empirischen Studie in der europäischen Automobilindustrie. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, TU München. München.
- [Hackstein 1984] Hackstein, R. (1984): Produktionsplanung und -steuerung: Ein Handbuch für die Betriebspraxis. Düsseldorf.
- [Hall 1986] Hall, R. W. (1986): Synchro MRP: Combining Kanban and MRP: The Yamaha PYMAC System. In: Driving the productivity machine: Production Planning and Control in Japan. American Production and Inventory Control Society, S. 43–56.
- [Hartel 2006] Hartel, D. H. (2006): JIS über 1.000 Kilometer. In: Automobil-Produktion (Band August), S. 82–84.
- [Herold 2004] Herold, L. (2004): Kundenorientierte Prozesssteuerung in der Automobilindustrie. Wiesbaden (Deutscher Universitäts-Verlag).
- [Holweg 2001] Holweg, M. und F. K. Pil (2001): Successful Built-to-Order Strategies – Start with the Customer. In: MIT Sloan Management Review (Band Fall), S. 74–83.
- [Holweg 2004] Holweg, M. und F. K. Pil (2004): The Second Century: Reconnecting Customer and Value Chain through Build-to-Order, Moving beyond Mass and Lean Production in the Auto Industry. Cambridge, Massachusetts (MIT Press).
- [Holweg 2005] Holweg, M. und F. K. Pil (2005): Flexibility First – Keeping the automotive supply chain responsive through built-to-order. In: Industrial Engineer (Band 37), Nr. 6, S. 46–51.
- [Hopp 2000] Hopp, W. J. und M. L. Spearman (2000): Factory Physics. Singapore (McGraw-Hill).

- [Hopp 2003] Hopp, W. J. und M. L. Spearman (2003): To Pull or not to Pull: What is the question? Evanston, Illinois (Factory Physics).
- [Hüttenrauch 2008] Hüttenrauch, M. und M. Baum (2008): Effiziente Vielfalt: Die dritte Revolution in der Automobilindustrie. Berlin (Springer).
- [Ihme 2006] Ihme, J. (2006): Logistik im Automobilbau. München (Carl Hanser).
- [Inman 2003] Inman, R. R. und D. M. Schmeling (2003b): Algorithm for agile assembling-to-order in the automotive industry. In: International Journal of Production Research (Band 41), Nr. 16, S. 3831–3848.
- [Ishikawa 1984] Ishikawa, K. (1984): What is total quality control? Japan (Juse Press).
- [Jodlbauer 2007] Jodlbauer, S. (2007): Produktionsoptimierung: Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung. Wien (Springer).
- [Jostock 1994] Jostock, J. und H. Bley (1994): Von der Fertigungssteuerung zu einer ereignisorientierten Fertigungsregelung. In: VDI-Z (Band 136), Nr. 3, S. 30–35.
- [Käschel 2004] Käschel, J. und T. Teich (2004): Produktionswirtschaft (Band 1): Grundlagen, Produktionsplanung und -steuerung. Chemnitz (Verlag der GUC).
- [Kimball 1988] Kimball, J. E. (1988): General Principles of Inventory Control. In: International Journal of Manufacturing and Operations Management (Band 1), Nr. 1, S. 119–130.
- [Klevers 2007] Klevers, T. (2007): Wertstrom-Mapping und Wertstrom-Design. Landsberg am Lech (mi-Fachverlag).
- [König 2009] König, W. (2009): Massenproduktion und Konsumgesellschaft: Ein historischer und systematischer Abriss. In: Haupt, H.-G. und C. Torp (Hrsg.): Die Konsumgesellschaft in Deutschland 1890–1990. Frankfurt am Main (Campus), S. 46–61.
- [Krafcik 1988] Krafcik, J. F. (1988): Triumph of the Lean Production System. In: Sloan Management Review, S. 41–52.
- [Krog 2006] Krog, E.-H. (2006): Das kundengesteuerte Unternehmen von der Bestellung bis zur Auslieferung. Präsentation: 3. Branchenforum Automobil-Logistik der BVL, 26. Januar 2006, Stuttgart.
- [Kühn 2006] Kühn, W. (2006): Digitale Fabrik – Fabriksimulation für Produktionsplaner. München (Carl Hanser).
- [Liker 2004] Liker, J. K. (2004): The Toyota Way. New York City, New York (McGraw-Hill).
- [Lindemann 2007] Lindemann, U. (2007): Methoden der Produktentwicklung – Vorgehensmodelle, Grundprinzipien und Methoden. Skriptum zur Vorlesung (Wintersemester 2007/2008), Lehrstuhl für Produktentwicklung der TU München.

- [Lödding 2001] Lödding, H. (2001): Dezentrale bestandsorientierte Fertigungsregelung. In: VDI-Fortschritt-Berichte, Reihe 2, Nr. 587, Düsseldorf (VDI-Verlag).
- [Lödding 2005] Lödding, H. (2005): Verfahren der Fertigungssteuerung. Berlin (Springer).
- [Lopitzsch 2005] Lopitzsch, J. (2005): Segmentierte Adaptive Fertigungssteuerung. In: Berichte aus dem IFA. Hannover (Verlag PZH).
- [Lopitzsch 2008] Lopitzsch J. und J. Vielemeyer (2008): Logistiknorm der MAN Nutzfahrzeuge Gruppe M 3399 (2008–06): MAN Nutzfahrzeuge AG. Elektronisch veröffentlicht: [http://www.man-mn.com/datapool/mediapool/101/Logistiknorm\\_M3399\\_2008-06\\_de.pdf](http://www.man-mn.com/datapool/mediapool/101/Logistiknorm_M3399_2008-06_de.pdf) (abgerufen am 30. August 2008).
- [Luczak 1999] Luczak, H. und H. Eversheim (1999): Produktionsplanung und -steuerung – Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. Berlin (Springer).
- [Mankiw 2001] Mankiw, G. N. (2001): Grundzüge der Volkswirtschaftslehre. 2. Auflage, Stuttgart (Schäffer-Poeschel).
- [McBride 2007] McBride, D. (2009): Toyota and Total Productive Maintenance. Elektronisch veröffentlicht: <http://www.reliableplant.com> (abgerufen im September 2007).
- [Melz 2004] Melzer-Ridinger, R. (2004): Materialwirtschaft und Einkauf 1: Beschaffung und Supply Chain Management. 4. Auflage, München (Oldenbourg).
- [Meier 2004] Meier, H., X. Tomko und N. Hanenkamp (2004): Gestaltung wandlungsfähiger PPS-Systeme. In: PPS-Management (Band 9), Nr. 2, S. 10–12.
- [Meißner 2007] Meißner, S. und J. Grinninger (2007): Durchlaufzeitstabilisierung in der Automobilfertigung: Methoden zur Analyse von Einflussgrößen auf die Auftragsreihenfolge. In: PPS-Management (Band 12), Nr. 1, S. 80–83.
- [Meißner 2008] Meißner, S., J. Grinninger und F. Kammermeier (2008): Stabilisierung des Auftragsabwicklungsprozesses durch flexible Auftragszuordnung. In: ZWF (Band 103), Nr. 12, S. 893–896.
- [Meißner 2009a] Meißner, S. (2009): Logistische Stabilität in der automobilen Variantenfließfertigung. München 2009.
- [Meißner 2009b] Meißner, S. und W. A. Günthner (2009): Lean Logistics – Ansatzpunkte der Gestaltung schlanker Logistiksysteme. In: ZWF (Band 104), Nr. 4, S. 280–283.

- [Mertens 2009] Mertens, P. (2009): Integrierte Informationsverarbeitung 1: Operative Systeme in der Industrie. 17. Auflage, Wiesbaden (Gabler).
- [Meyr 2004] Meyr, H. (2004): Supply chain planning in the German automotive industry. In: OR-Spectrum (Band 26), Nr. 4, S. 447–470.
- [Monden 1998] Monden, Y. (1998): Toyota Production System: An integrated approach to just-in-time. 3. Auflage, (Engineering & Management Press).
- [Monsees 2007] Monsees, H., S. Saatmann und S. Schorr (2007): Das Flexibilitätsverständnis in der Automobilwirtschaft – aufgezeigt am Beispiel eines Zulieferunternehmens. In: Günthner, W. A. (Hrsg.): Neue Wege in der Automobillogistik. Berlin (Springer), S. 53–59.
- [Mößmer 2007] Mößmer, H. E., M. Schedlbauer und W. A. Günthner (2007): Die automobile Welt im Umbruch. In: Günthner, W. A. (Hrsg.): Neue Wege in der Automobillogistik. Berlin (Springer), S. 3–15.
- [Much 1995] Much, D. und H. Nicolai (1995): PPS-Lexikon. Berlin (Cornelsen Girardet).
- [Nickel 2008] Nickel, S. (2008): Methoden des taktischen und operativen SCM. Skriptum zur Vorlesung (Wintersemester 2008/2009): Lehrstuhl für Operations Research und Logistik der Universität Saarland.
- [Nyhuis 1999] Nyhuis, P. und H.-P. Wiendahl (1999): Logistische Kennlinien – Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. Berlin (Springer).
- [Nyhuis 2008] Nyhuis, P. (2008): Produktionskennlinien – Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten. In: Nyhuis, P. (Hrsg.): Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Berlin (Springer).
- [o. V. 1994] o. V. (1994): DIN 19226, Teil 1: Leittechnik. Ausgabe 1994-02. Berlin (Deutsches Institut für Normung e. V.).
- [o. V. 2003a] o. V. (2003): Stellhebel für den Markterfolg – Branchenanalyse Maschinenbau. Düsseldorf.
- [o. V. 2003b] o. V. (2003): Lean Lexicon – A Graphical Glossary for Lean Thinkers. Brookline, Massachusetts (Lean Enterprise Institute).
- [o. V. 2005] o. V. (2005): Projektpräsentation im Rahmen des Forschungsverbundes ForLog, Supra-adaptive Logistiksysteme. 3. April 2007, München.
- [o. V. 2006a] o. V. (2006): Harvard Business Review on Supply Chain Management. Boston, Massachusetts (Harvard Business School Press).
- [o. V. 2006b] o. V. (2006): Auftragsreihenfolgenkonzept. In: Günthner, W. A. (Hrsg.): Logistikkompodium, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der TU München. Elektronisch veröffentlicht:

- <http://www.logistik-kompodium.de> (abgerufen am 18. Dezember 2006).
- [o. V. 2007] o. V. (2007): Harbour-Studie: Ford Köln baut Autos am schnellsten in Europa. In: Finanznachrichten.de (Hrsg.). Elektronisch veröffentlicht: <http://www.finanznachrichten.de/nachrichten-2007-09/artikel-9076531.asp> (abgerufen am 23. September 2007).
- [o. V. 2008] o. V. (2008): Perlenkettenkonzept. In: Günthner, W. A. (Hrsg.): Logistikkompodium, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der TU München. Elektronisch veröffentlicht: <http://www.logistik-kompodium.de> (abgerufen am 18. September 2008).
- [o. V. 2009] Statistisches Bundesamt (2009): Produzierendes Gewerbe – Beschäftigung und Umsatz der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Fachserie 4, Reihe 4.1.1, Wiesbaden.
- [Oeltjenbruns 2000] Oeltjenbruns, H. (2000): Organisation der Produktion nach dem Vorbild Toyotas: Analyse, Vorteile und detaillierte Voraussetzungen sowie die Vorgehensweise zur erfolgreichen Einführung. Aachen (Shaker).
- [Ohno 1978] Ohno, T. (1978): Toyota seisan hoshiki [Toyota Produktionssystem]. Tokyo (Daiyamondo).
- [Ohno 1993] Ohno, T. (1993): Das Toyota-Produktionssystem. Frankfurt am Main (Campus).
- [Petermann 1996] Petermann, D. (1996): Modellbasierte Produktionsregelung. Fortschritts-Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 193. Düsseldorf (VDI-Verlag).
- [Pfeiffer 1994] Pfeiffer, W. und E. Weiß (1993): Lean Management – Grundlagen der Führung und Organisation lernender Unternehmen. Berlin (Erich Schmidt).
- [Pfohl 2003] Pfohl, H.-C. (2003): Logistiksysteme – betriebswirtschaftliche Grundlagen, Berlin (Springer).
- [Pietsch 2002] Pietsch, D. (2002): Das neue Vertriebs- und Produktionssystem der BMW Group. In: Zeitschrift für Automobilwirtschaft (ZfAW), Nr. 1, S. 45–51.
- [Porter 1980] Porter, M. E. (1980): Competitive Strategy: Techniques for analyzing industries and competitors. New York City, New York (Free Press).
- [Queiser 2006] Queiser, H. und M. Maier (2006): Trouble-Shooting ade. In: Logistik heute, Nr. 6, S. 34–35.
- [Piller 1998] Piller, F. (1998): Kundenindividuelle Massenproduktion – die Wettbewerbsstrategie der Zukunft. München (Carl Hanser).

- [Reinhart 1999] Reinhart, G., S. Dürrschmidt, A. Hirschberg und C. Selke (1999): Wandel – Bedrohung oder Chance? In: *io management* (Band 68), Nr. 5, S. 20–24.
- [Reinsch 2002] Reinsch, S. (2002): Verfahren der Logistik. In: Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): *Erfolgsfaktor Logistikqualität – Vorgehen, Methoden und Werkzeuge zur Verbesserung der Logistikleistung*, 2. Auflage, Berlin (Springer).
- [Reithofer 2005] Reithofer, N. (2005): KOVP: Kundenorientierter Vertriebs- und Produktionsprozess, Das neue Build-to-Order-System der BMW Group. In: Kaluza, B. und T. Blecker (Hrsg.): *Erfolgsfaktor Flexibilität, Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen*. Berlin (Erich Schmidt).
- [Renner 2000] Renner, P. (2000): Kundenorientierung in der Automobilindustrie. In: *Innovationen in Logistikstrukturen der Automobilindustrie*. Düsseldorf (VDI-Verlag), S. 21–33.
- [Robbins 2001] Robbins, S. P. (2001): *Organisation der Unternehmensführung*. 9. Auflage, München (Pearson Studium).
- [Rother 1999] Rother, M. und J. Shook (1999): *Learning to See*. Brookline, Massachusetts (Lean Enterprise Institute).
- [Sainis 1985] Sainis, P. (1985): Die neuesten Tendenzen in der Fertigungssteuerung und ihre Anwendung in der Praxis. In: *ZwF* (Band 80), Nr. 12, S. 561–566.
- [Sauerbier 1999] Sauerbier, T. (1999): *Theorie und Praxis von Simulationssystemen*, Wiesbaden (Vieweg-Verlag).
- [Sawyer 1994] Sawyer, C. A. (1994): In-line sequencing: How it's done at Wixom. In: *Automotive Industries* (Band November), S. 41.
- [Schäppi 2005] Schäppi, B., M. M. Andreasen, M. Kirchgeorg und F.-J. Radermacher (2005): *Handbuch Produktentwicklung*. München (Carl Hanser).
- [Scholl 1995] Scholl, A. (1995): *Balancing and sequencing of assembly lines*. Heidelberg (Physica-Verlag).
- [Schotten 1998] Schotten, M. et. al. (1998): Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung. In: Luczak, H. und W. Eversheim (Hrsg.): *Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*. Berlin (Springer), S. 9–258.
- [Schuberthan 2007] Schuberthan, J. und S. Potrafke (2007): Die Anforderungen des Kunden. In: Gehr, F. und B. Hellgrath (Hrsg.): *Logistik in der Automobilindustrie*. Berlin (Springer), S. 8–11.
- [Schulte 2005] Schulte, C. (2005): *Logistik – Wege zur Optimierung der Supply Chain*. München (Vahlen).

- [Schraft 2005] Schraft, R. D., E. Westkämper, J. Freese, J. Bischoff, H. Barthel und O. Lehnert (2005): Lieferantenparks in der europäischen Automobilindustrie. Düsseldorf (Handelsblatt).
- [Schröder 2004] Schröder, J. (2004): Packagesteuerung. In: Fachhochschule Ingolstadt: Arbeitsberichte – Working Papers, Nr. 6.
- [Schwenker 2008] Schwenker, B. (2008): Auf Veränderungen des Marktes reagieren – den Produktlebenszyklus umfassend managen. In: Höck, M. und K.-I. Voigt: Operations Management in Theorie und Praxis. Wiesbaden (Gabler).
- [Seibold 2006] Seibold, J. (2006): Hybride Fertigungssteuerung in der Großserienfertigung. In: Nyhuis, P. (Hrsg.): Berichte aus dem IFA. Garbsen (PZH Produktionstechnisches Zentrum).
- [Shingo 1993] Shingo, S. (1993): Das Erfolgsgeheimnis der Toyota-Produktion. Landsberg am Lech (mi-Fachverlag).
- [Spath 2001] Spath, D. und M. Weyer (2001): Das Produktionssteuerungskonzept Perlenkette. In: ZWF, Nr. 1–2, S. 34–39.
- [Spur 1994] Spur, G. und T. Stöferle (1994): Handbuch der Fertigungstechnik (Band 6 – Fabrikbetrieb). München (Springer).
- [Stautner 2001] Stautner, U. (2001): Kundenorientierte Lagerfertigung im Automobilvertrieb. Wiesbaden (Deutscher-Universitäts-Verlag).
- [Susaki 2002] Susaki, K. (2002): Modernes Management im Produktionsbetrieb: Strategien, Techniken, Fallbeispiele. München (Carl Hanser).
- [Takeda 2004] Takeda, H. (2004): Das synchrone Produktionssystem. Frankfurt am Main (Redline Wirtschaft).
- [Thun 2007] Thun, J.-H., M. Drüke und V. S. Camargos (2007): Just in sequence – Eine Erweiterung des just in time durch Sequenzzulieferung. In: Logistik Management (2007), Nr. 2.
- [Tracht 2006] Tracht, T. (2006): DaimlerChrysler – das Logistikkonzept Werk Bremen. Präsentation: Strategien und Innovationen in der Logistik (Handelskammer Bremen), 11. Oktober 2006. Elektronisch veröffentlicht: [http://www.ebiz-bremen.de/images/E\\_BIZZ/4\\_Tracht.pdf](http://www.ebiz-bremen.de/images/E_BIZZ/4_Tracht.pdf) (abgerufen am 12. Mai 2007).
- [Voigt 2007] Voigt, K.-I., M. Saatmann und S. Schorr (2007): Revenue Management in der Automobilindustrie – ein Ansatz zur gezielten Steuerung von Flexibilitätsbedarfen von Endkunden. In: Günthner, W. A. (Hrsg.): Neue Wege in der Automobillogistik. Berlin (Springer), S. 9–27.
- [Wagner 2006] Wagner, H. (2006): Kollaboratives Bedarfs- und Kapazitätsmanagement am Beispiel der Automobilindustrie:

- Lösungsansätze zur Sicherstellung der Wandlungsfähigkeit.  
München (Carl Hanser).
- [Warnecke 1989] Warnecke, H.-J. (1989): Die Produktion als Regelkreis, Überlegungen zu seiner Gestaltung. In: Automatisierungstechnische Praxis (Band 31), Nr. 3, S. 110–115.
- [Weber 1995] Weber, J. (1995): Logistik-Controlling, 4. Auflage, Stuttgart (Schäffer-Poeschel).
- [Wels 2007] Wels, J. (2007): Das Porsche-Produktions- und Logistiksystem. Präsentation: 5. Branchenforum Automobil-Logistik der BVL, 25. Januar 2007, Abstatt.
- [Weyer 2002] Weyer, M. (2002): Das Produktionssteuerungskonzept Perlenkette und dessen Kennzahlensystem. Karlsruhe (Helmesverlag).
- [Wiendahl 1993] Wiendahl, H.-P., G. Pritschow und J. Milberg (1993): Produktionsregelung – interdisziplinäre Zusammenarbeit führt zu neuen Ansätzen: Ebenenmodell als Basis einer kaskadierenden Produktionsregelung. In: ZWF (Band 88), Nr. 6, S. 265–268.
- [Wiendahl 1996] Wiendahl, H.-P. (1996): Erfolgsfaktor Logistikqualität: Vorgehen, Methoden und Werkzeuge zur Verbesserung der Logistikleistung. Berlin (Springer).
- [Wiendahl 1997] Wiendahl, H.-P. (1997): Fertigungsregelung – logistische Beherrschung von Fertigungsabläufen auf Basis des Trichtermodells. München (Carl Hanser).
- [Wiendahl 1999] Wiendahl, H.-P. (1999): Produktionsplanung und -steuerung: Aufgabenstellung und Zielkonflikte. In: Eversheim, W. und G. Schuh (Hrsg.): Produktion und Management 4: Betrieb von Produktionssystemen. Berlin (Springer), S. 14-1–14-11.
- [Wiendahl 2002] Wiendahl, H.-H. (2002): Situative Konfiguration des Auftragsmanagements im turbulenten Umfeld. Heimsheim (Jost-Jetter).
- [Wiendahl 2003] Wiendahl, H.-P., C. Begemann und R. Nickel (2003): Die klassischen Stolpersteine der PPS und der Lösungsansatz 3-Sigma-PPS. In: Baumgarten, H., H.-P. Wiendahl und J. Zentes (Hrsg.): Springer Experten System Logistik-Management. In: Strategien, Konzepte, Praxisbeispiele (Band 2, Teil 7, Beitrag 7/03/01/02). Berlin (Springer), S. 1–28.
- [Wiendahl 2005] Wiendahl, H.-P. (2005): Betriebsorganisation für Ingenieure. 5. Auflage, München (Carl Hanser).
- [Wildemann 1984] Wildemann, H. (1984): Materialflussorientierte Fertigungssteuerung. In: Wildemann, H. (Hrsg.): Just-in-Time-Produktion. München (GFMT-Verlag).

- [Wildemann 2001] Wildemann, H. (2001): Das Just-In-Time-Konzept: Produktion und Zulieferung auf Abruf. 5. Auflage, München (TCW Transfer-Centrum).
- [Wildemann 2004] Wildemann, H. (2004): Der Wertbeitrag der Logistik. In: Logistik Management (Jg. 6), Nr. 3, S. 67–75.
- [Wiswe 1999] Wiswe, C., C. Buttler, A. Klauke und H.-E. Kraatz (1999): Verfahren zur Steuerung eines auftragsspezifischen Produktionsablaufes. In: Volkswagen AG: Offenlegungsschrift DE 19927563A1. München (Deutsches Patent- und Markenamt).
- [Wöhe 2005] Wöhe, G. und U. Döring (2005): Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 22. Auflage, München (Franz Vahlen).
- [Womack 1992] Womack, J. P., D. T. Jones und D. Roos (1992): Die zweite Revolution in der Autoindustrie: Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology. 6. Auflage, Frankfurt am Main (Springer).
- [Womack 2003] Womack, J. P. und D. T. Jones (2003): Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York City, New York (The Free Press).
- [Yagyu 2007] Yagyu S. (2007): Das synchrone Managementsystem. Landsberg am Lech (mi-Fachverlag).
- [Yu 2001] Yu, K.-W. (2001): Terminkennlinie. In: Fortschritt-Berichte VDI (Reihe 2), Nr. 576. Düsseldorf (VDI-Verlag).
- [Zäpfel 1984] Zäpfel, G. (1984): Systemanalytische Konzeption der Produktionsplanung und -steuerung für Betriebe Fertigungsindustrie. In: Zink, K. (Hrsg.): Sozio-technische Systemgestaltung als Zukunftsaufgabe. München (Carl Hanser), S. 73–92.
- [Zäpfel 1996] Zäpfel, G. und B. Piekarz (1996): Supply Chain Controlling. Wien (Carl Überreuter).
- [Zimmermann 1997] Zimmermann, J. (1997): Order sequencing in automobile production. Karlsruhe (Carl Hanser).