

VDI-Buch

Florian Klug

Logistik- management in der Automobilindustrie

Grundlagen der Logistik im Automobilbau

2. Auflage

VDI

 Springer Vieweg

VDI-Buch

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/3482>

Florian Klug

Logistikmanagement in der Automobilindustrie

Grundlagen der Logistik im Automobilbau

2. Auflage

Florian Klug
Hochschule München
Fakultät Betriebswirtschaft
München
Deutschland

VDI-Buch
ISBN 978-3-662-55872-0 ISBN 978-3-662-55873-7 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-55873-7>

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

Springer Vieweg
© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2010, 2018

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

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist Teil von Springer Nature
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Geleitwort

Die Automobilindustrie gilt weltweit seit Jahrzehnten als eine der Schlüsselbranchen für wirtschaftliche Entwicklung, die Umsetzung von Innovationen und Motor für Beschäftigung. Verstärkter globaler Wettbewerb fordert von den Beteiligten die Fähigkeit, marktindividuell neue Produkte fortlaufend, schnell und sicher bereitzustellen, die dabei erforderlichen Herstell- und Versorgungsprozesse durchgängig schlank und effizient zu beherrschen sowie neuen Anforderungen mit der gebotenen Wandlungsfähigkeit zu begegnen. Die Erfahrungen der jüngeren Finanz- und Wirtschaftskrisen sowie die aktuelle Entwicklung der weltweiten Handelsbeziehungen unterstreichen die Notwendigkeit, sich auf die zunehmende Dynamik des wirtschaftlichen Umfelds einstellen zu können. Die Leistungsfähigkeit des gesamten logistischen Systems wird zu einem der zentralen Erfolgsfaktoren.

Das vorliegende Grundlagenwerk *Logistikmanagement in der Automobilindustrie* greift diesen Ansatz auf. Über alle Hauptprozesse des automobilen Unternehmens, angefangen von der Produktentstehung, über den Kunde-Kunde-Prozess (Kundenfahrzeugauftrag von der Einsteuerung über die Herstellung bis zur Auslieferung) bis hin zur Kundenbetreuung in der Nutzungsphase eines Fahrzeugs, bilden gut organisierte logistische Abläufe eine wesentliche Leistungsgrundlage und schaffen ausgefeilte logistische Konzepte und Methoden die notwendigen Voraussetzungen zur Zielerreichung.

Allerdings ist die heutige Vorgehensweise bei der Gestaltung logistischer Abläufe der Automobilindustrie kaum umfassend genug definiert und hinreichend standardisiert. Standardisierte Logistikabläufe stellen jedoch eine wesentliche Voraussetzung für effizienten und effektiven Ressourceneinsatz im Unternehmen dar. So hängt beispielsweise die Funktionsfähigkeit des Logistikmanagements unter den Netzwerkpartnern Zulieferer, Dienstleister, Automobilhersteller und Händler entscheidend davon ab, dass alle die Vision einer durchgängigen, verschwendungsfreien Logistik teilen. Diese Vision gilt es klar zu formulieren, konsequent zu verfolgen und in einem partnerschaftlichen Verhältnis auch aktiv umzusetzen.

Mit der vorliegenden Buch werden die Schriften zur Automobillogistik um ein Kompendium ergänzt, das moderne, standardisierte Logistikabläufe für die Erreichung schlanker und leistungsfähiger Strukturen ganzheitlich beschreibt und dabei einen Überblick der vielfältigen logistischen Planungs- und Gestaltungsaufgaben über alle Hauptprozesse

im Unternehmen hinweg ermöglicht. Ich wünsche allen Interessierten eine aufschlussreiche Lektüre und vielfältige Anregungen in der Auseinandersetzung mit den dargelegten Prozesslösungen.

Stuttgart, 2017

Jürgen Wels

Vorwort 2. Auflage

Ich möchte allen danken, die zum Gelingen der zweiten Auflage dieses Buches beigetragen haben. Diese wertvolle Unterstützung, in unterschiedlichster Form, hat maßgeblich zur Neuauflage des Buches beigetragen.

Trotz einer Vielzahl von Änderungen in der aktualisierten und erweiterten Auflage, hat sich die lebenszyklusorientierte Struktur des Buches bewährt, bei der eine umfassende und vollständige Beschreibung aller logistischen Aufgaben im Fahrzeugbau vom Produktentstehungsprozess bis zur Ersatzteillogistik erfolgt. In der vorliegenden Auflage wurde das praxisorientierte Fachwissen um anwendungsnahe wissenschaftliche Konzepte ergänzt. Beispielhaft sollen hier die dynamische Planung des Behälterbedarfs bzw. der Kanbanbedarfe in der Ramp-Up Phase mithilfe der Monte Carlo Methode angeführt werden. Die Vermittlung von praxisnahem und anwendungsorientiertem Fachwissen im Logistikmanagement der Automobilindustrie steht auch in der Neuauflage des Buches im Vordergrund.

Ich hoffe, auch die zweite Auflage dieses Standardwerkes findet positive Resonanz in Praxis und Wissenschaft.

München, 2017

Florian Klug

Vorwort 1. Auflage

In Deutschland ist die Automobilindustrie seit jeher Kernkompetenz der Wirtschaft und trägt damit wesentlich zum Erfolg des Industriestandorts Deutschland bei. Märkte, Technologien und Produkte stehen allerdings verstärkt im globalen Wettbewerb, was erhöhte Anforderungen an den Materialfluss als Fließmittel zwischen den internen und externen Wertschöpfungspartnern mit sich bringt. Taiichi Ohno beschreibt dies mit den Worten: „Der wichtigste Bereich der Automobilherstellung ist ohne Zweifel das Problem des Materials. Sich in der Autoproduktion zu engagieren, ohne das Materialproblem gelöst zu haben, ist wie ein Haus ohne Fundament zu bauen.“ Dieses Buch versucht einen Stein dieses Fundaments zu legen. Einerseits durch die Systematisierung der Aufgaben im Bereich Logistikmanagement sowie andererseits durch eine prozessorientierte Beschreibung logistischer Aufgaben vom Produktentstehungs- bis zum Kundenauftragsprozess.

Die Automobilindustrie war, ist und bleibt auch in Zukunft eine Quelle für innovative Konzepte und Methoden der Logistik. Dieses Wissen um die Logistik wird dabei häufig verzerrt und bedroht durch kurzfristige Trends und Moden, Halbweisheiten und das oft fehlende durchgängige Verständnis für eine kundenorientierte und verschwendungsfreie Logistik. Die mangelnde Integration der Planungsaufgaben und die unterschiedlichen oft konträren Sichtweisen der Planungspartner entlang des Materialflusses tun ihr übriges dazu.

Meine eigenen Erfahrungen als Logistikplaner in der Automobilindustrie haben mir die Schwierigkeit des Planungsalltages vor Augen geführt. Häufig wird aufgrund fehlender Dokumentation des Planungswissens mehr über Erfahrungswerte agiert, die durch die hohen Fluktuationsraten der jungen Planer schnell abhanden kommen. Logistikwissen wird somit durch Mitarbeiterrotation und fehlende Standardisierung der Planungsabläufe bedroht. Oft mühsam erarbeitete Erkenntnisse, über die Logistikabläufe und deren sensitive Parameter, gehen somit unwiederbringlich verloren. Ziel muss daher die Verbesserung des Wissensmanagements im Bereich der Logistik sein. Die systematische Beschreibung eines anwendungsnahen und praxisorientierten Planungs-, Umsetzungs- und Betriebswissens im Bereich des Logistikmanagements der Automobilindustrie ist das erklärte Ziel dieses Buches. Es soll primär als Nachschlagewerk für den Logistikplaner im Produktentstehungsprozess dienen. Darüber hinaus bietet es eine geschlossene Beschreibung aller

logistikrelevanten Abläufe im Kundenauftragsprozess von der Beschaffung, über die Produktion und Distribution, bis hin zum After-Sales Bereich.

Ein Grundlagenwerk wie dieses basiert niemals auf der alleinigen Idee eines Einzelnen. Seit nunmehr 20 Jahren beschäftige ich mich mit der Automobillogistik und habe in dieser Zeit viele Gespräche mit Experten geführt sowie unzählige Fahrzeughersteller- und Zulieferwerke europaweit analysiert.

Aus der Vielzahl derjenigen Personen die meinen Erkenntnisweg begleitet haben, möchte ich mich stellvertretend bedanken bei Dr. Michael Bacher, Anette Buntrock, Martin Coordes, Harald Gmeiner, Franz Hainzinger, Prof. Dr. Dirk Hartel, Frank Heisler, Wilhelm Liebhart, Benjamin Lobenz, Ulrich Minke, Prof. Dr. Markus Schneider, Dr. Kurt Schwindl, Dr. Sven Spieckermann, Karl Sporer, Diana Tischtau, Hubert Vogl, Axel Waut hier, Jürgen Wels für ihre Unterstützung bzw. für den Erfahrungs- und Wissensaustausch in der Automobillogistik.

Besonders zu Dank verpflichtet bin ich Herrn Andreas Rapp für die Unterstützung meiner Publikationen sowie die Übertragung interessanter Logistikaufgaben im Rahmen meiner Tätigkeit als Logistikplaner bei der Audi AG Ingolstadt. Danken möchte ich auch meinen ehemaligen Arbeitskollegen bei Audi bzw. innerhalb des VW Konzerns von deren Erfahrungsschatz ich im Bereich der Logistikplanung partizipieren durfte. Stellvertretend möchte ich hier aufführen Johannes Böttcher, Torsten Bohlken, Maike Geiger, Ingolf Grüßner, Thorsten Henschel, Matthias König, Gregor Kovacic, Susanne Margraf, Simon Motter, Thomas Pischinger, Michael Reuse, Volker Reschke, Irina Sturm, Jürgen Tiefenbacher, Virginia Villadangos, Thorsten Wilsdorf und Tim-Boto Zahn.

Mein Dank gilt ebenso dem Springer Verlag Berlin, insbesondere Herrn Thomas Lehnert, für die professionelle und unkomplizierte Zusammenarbeit.

Mein besonderer Dank, für die langjährige gemeinsame Forschungsarbeit auf dem Gebiet der logistischen Lieferantenintegration in der Automobilindustrie, gebührt Dr. David Bennett von der Newcastle Business School der Northumbria University, UK.

Nicht zuletzt möchte ich die Kunden des Zentrums für Automobillogistik erwähnen, die mit ihren Praxisprojekten mein Wissen in der Automobillogistik erweitert und geschärft haben. Diese Logistikprojekte waren nicht nur für den Kunden zu lösende Probleme sondern darüber hinaus auch immer ein Erfahrungs- und Erkenntnisgewinn für mich. Besonders danken möchte ich Herrn Wolfgang Mühleck für die langjährige erfolgreiche und intensive Zusammenarbeit beim Automobilzulieferer Takeo in Dietfurt.

Dieses Buch widme ich meiner Familie – meiner Frau Sabine und meinen beiden Kindern Leopold und Johanna – die mir den Rückhalt und die Kraft gegeben haben für dieses umfangreiche Buchprojekt.

Inhaltsverzeichnis

A Logistikmanagement im Produktentstehungsprozess

1 Logistikgerechte Fabrikplanung	3
1.1 Anforderungen logistikgerechter Fabrikplanung	3
1.2 Logistik der kurzen Wege am Beispiel BMW Leipzig	7
1.3 Modularisierung einer Automobilfabrik	12
Literatur	16
2 Digitale Logistik	17
2.1 Bedeutung der Logistik im Rahmen der digitalen Fabrik	17
2.2 Referenzmodell der digitalen Logistikplanung	20
2.2.1 Logistische Produktsicht	20
2.2.2 Logistische Prozesssicht	22
2.2.3 Logistische Ressourcensicht	24
2.2.4 Simultane Integration der logistischen Sichtweisen	25
2.3 Planungssysteme der digitalen Logistik	27
2.3.1 Zyklus logistischer Modellbildung	27
2.3.2 Makro- versus Mikro-Logistikmodelle	30
2.3.3 Statische versus dynamische Logistikmodelle	33
2.3.4 Heuristische versus optimierende Logistikmodelle	36
2.4 Konzepte zum Logistik-Datenmanagement	38
2.4.1 Logistics Data Warehouse	38
2.4.2 Logistics Lifecycle Management	41
Literatur	42
3 Logistikspezifisches Komplexitätsmanagement	45
3.1 Grundlagen Komplexitätsmanagement	45
3.2 Komplexitätstreiber der Automobillogistik	46
3.2.1 Gestiegene Markt- und Kundenanforderungen	46
3.2.2 Internationalisierung	47
3.2.3 Fertigungs- und Entwicklungstiefenreduzierung	48

3.2.4	Innovations- und Technologiedruck.	49
3.3	Design for Logistics.	50
3.4	Variantenmanagement	53
3.4.1	Variantenentstehung.	53
3.4.2	Variantenvermeidung und -reduzierung.	55
3.4.3	Späte Variantenbildung	59
3.5	Logistikrelevante Produktstrukturierungskonzepte	61
3.5.1	Modularisierung	61
3.5.2	Plattform- und Gleichteilestrategie	65
3.5.3	Funktionsintegration	68
3.6	Logistikrelevante Prozessstrukturierungskonzepte	68
3.6.1	Lieferantenintegration	68
3.6.2	Fertigungs- und Logistiksegmentierung	72
3.6.3	Standardisierung der Logistikprozesse	74
	Literatur.	75
4	Logistikmanagement im Rahmen des Simultaneous Engineering	79
4.1	Organisationsprinzip Simultaneous Engineering.	79
4.2	Simultaneous Engineering-Team.	80
4.3	Logistikspezifischer Produktentstehungsprozess.	86
4.4	Versorgungsplanung.	87
4.4.1	Line-Back Planungsprinzip	88
4.4.2	Logistikkettenmodelle der Versorgungsplanung	91
4.4.3	Planungsbereiche der Versorgungsplanung	94
4.5	Verpackungsplanung	103
4.6	Logistikstrukturplanung	105
4.6.1	Logistische Rahmendatenplanung.	106
4.6.2	Flächenplanung	106
4.6.3	Lagerplanung	108
4.6.4	Transport- und Umschlagsplanung	111
4.6.5	Personalplanung	113
4.7	Logistikcontrolling.	114
4.7.1	Logistics Target Costing	115
4.7.2	Logistikkostenrechnung.	119
4.7.3	Logistikbudgetierung.	120
4.7.4	LogistikKennzahlen	121
4.7.5	Logistik Scorecard.	123
	Literatur.	126
5	Supply Management	129
5.1	Sourcing Strategien	129
5.1.1	Single Sourcing	129

5.1.2	Modular Sourcing	131
5.1.3	Global Sourcing	135
5.1.4	Logistik Outsourcing	137
5.2	Lieferantenlogistikmanagement	139
5.2.1	Absicherung der Logistikprozessfähigkeit	140
5.2.2	Logistische Anforderungen an den Lieferanten	142
5.2.3	Methoden der logistischen Lieferantenbewertung	143
5.3	Supplier Relationship Management	146
5.3.1	Netzwerkfähigkeit im Logistikbereich	146
5.3.2	Supplier Collaboration	150
5.4	Prototypen- und Versuchsteilelogistik	156
5.5	Vorserienlogistik	158
	Literatur	161
6	Aufgabenbereiche der Logistikplanung	165
6.1	Behälterplanung	165
6.1.1	Behälterarten	165
6.1.2	Auswahlkriterien und Anforderungen für Behälter	169
6.1.3	Berechnung des Behälterbedarfs	173
6.1.4	Prozess der Standardbehälterplanung	180
6.1.5	Prozess der Spezialbehälterplanung	181
6.2	Logistische Planung des Arbeitsplatzes	187
6.2.1	Logistikoptimiertes Layout	188
6.2.2	Ergonomische Anforderungen	190
6.2.3	Materialanstellung	192
6.3	Materialabrufplanung	199
6.3.1	Bedarfsgesteuerter Materialabruf	200
6.3.2	Verbrauchsgesteuerter Materialabruf	202
6.4	Interne Transportkonzepte	207
6.4.1	Stapler-Transport	208
6.4.2	Schleppzug-Transport	210
6.4.3	Fahrerloses Transportsystem	212
6.4.4	Flurungebundene Transportkonzepte	214
6.5	Interne Umschlagskonzepte	216
6.5.1	Kommissionierung	216
6.5.2	Supermarkt	224
6.5.3	Wareneingang	232
6.6	Interne Lagerkonzepte	234
6.6.1	Lagerarten	235
6.6.2	Logistikablauf Lager	239
6.7	Externe Transportkonzepte	241
6.7.1	Auswahl Frachttäger	241

6.7.2	Auswahl Transportkonzept	249
6.8	Externe Lager- und Umschlagskonzepte	258
6.8.1	Transshipment Terminal	258
6.8.2	Lieferantenlogistikzentrum	262
6.8.3	Außenlager	263
6.9	Informations- und Kommunikations-Konzeptplanung	264
6.9.1	Auswahl der Identifikationstechnologie	264
6.9.2	Auswahl Datenstandard und Kommunikationstechnologie	275
	Literatur	282
7	Lean Logistics	287
7.1	Lean Management in der Logistik	287
7.2	Grundlagen einer Schlanken Logistik	288
7.2.1	Definition Schlanke Logistik	288
7.2.2	Grundprinzipien einer Schlanken Logistik	288
7.3	Gestaltungsprinzipien einer Schlanken Logistik	293
7.3.1	Produktionsglättung als Ausgangsbasis einer beruhigten Logistik ..	293
7.3.2	Arbeitsplatz	296
7.3.3	Materialabruf	305
7.3.4	Materialanstellung	307
7.3.5	Interner Transport	311
7.3.6	Interner Umschlag und interne Lagerung	314
7.3.7	Externer Transport	317
7.3.8	Externer Umschlag und externe Lagerung	319
7.3.9	Lieferantenmanagement	322
	Literatur	325
 B Logistikmanagement im Kundenauftragsprozess		
8	Beschaffungslogistik im Automobilbau	329
8.1	Standardanlieferkonzepte	329
8.2	Lieferabrufsysteme	331
8.2.1	Bedarfsgesteuerter Lieferabruf	332
8.2.2	Verbrauchsgesteuerter Lieferabruf	336
8.3	Direktanlieferung	340
8.3.1	Just-in-Time Anlieferung	340
8.3.2	Just-in-Sequence Anlieferung	343
8.3.3	Verbrauchsgesteuerte Direktanlieferung	346
8.4	Lager-Anlieferung	349
8.5	Industrieparklogistik	351
8.5.1	Konzept der Industrieparklogistik	351
8.5.2	Gestaltungselemente eines Industrieparks	353

8.5.3	Bewertung von Industrieparkkonzepten	355
8.5.4	Industriepark Anlieferspektrum	362
8.5.5	Industrieparklogistik am Beispiel GVZ Ingolstadt	364
8.5.6	Zukünftige Trends in der Industrieparklogistik	367
8.6	CKD-Logistik	369
8.6.1	CKD-Verfahren	369
8.6.2	Logistikkette CKD-Anlieferung	371
8.7	Transportsteuerung	374
8.7.1	Externe Transportsteuerung	374
8.7.2	Interne Transportsteuerung	382
8.7.3	Potenziale zur Transportkosteneinsparung	384
8.8	Behältersteuerung	393
8.9	Tracking und Tracing	397
	Literatur	401
9	Produktionslogistik im Automobilbau	405
9.1	Planungskonzepte	405
9.1.1	Build-to-Forecast	405
9.1.2	Build-to-Order	407
9.1.3	Kundenentkopplungspunkt	408
9.2	Kundenauftragsprozess	412
9.3	Programmplanung	417
9.3.1	Strategische Fahrzeugprogrammplanung	417
9.3.2	Taktische Fahrzeugprogrammplanung	417
9.3.3	Operative Fahrzeugprogrammplanung	420
9.3.4	Aggregateprogrammplanung	421
9.4	Materialbedarfsplanung	422
9.4.1	Bedarfsarten	423
9.4.2	Stücklistenauflösung	424
9.4.3	Nettosekundärbedarfsrechnung	426
9.4.4	Materialdisposition	427
9.5	Kapazitätsplanung	428
9.5.1	Strategische Kapazitätsplanung	429
9.5.2	Taktische Kapazitätsabsicherung	430
9.5.3	Operative Kapazitätssteuerung	432
9.6	Produktionssteuerung mit stabiler Auftragsfolge	435
9.6.1	Stabile Auftragsfolge in der Montage	435
9.6.2	Einfrieren Planungshorizont	437
9.6.3	Späte Auftragszuordnung	439
9.6.4	Kunden-Lieferanten Prinzip der Gewerke	440
9.6.5	Montagegetriebene Pull-Steuerung	440
9.6.6	Einsatzvoraussetzungen	441

9.6.7	Messung der Reihenfolgestabilität	443
9.6.8	Funktionen und Dimensionierung Sortierpuffer	445
9.6.9	Bewertung der Produktionssteuerung	448
9.7	Logistikprozesse in der Fertigung	450
9.7.1	Logistikkette Presswerk	450
9.7.2	Logistikkette Karosseriebau	455
9.7.3	Logistikkette Lackiererei	461
9.7.4	Logistikkette Montage	467
	Literatur	473
10	Distributionslogistik im Automobilbau	477
10.1	Bedeutung der Distributionslogistik	477
10.2	Aufgaben der Distributionslogistik	479
10.3	Logistikkette Fertigfahrzeugdistribution	480
10.3.1	Direkte Auslieferung	480
10.3.2	Indirekte Auslieferung	481
10.4	Sonderaspekte der Distributionslogistik	490
10.4.1	Locating	490
10.4.2	Transportschutz	492
10.4.3	Vehicle Distribution Centre	494
	Literatur	495
11	Ersatzteillogistik im Automobilbau	497
11.1	Grundlagen der Ersatzteillogistik	497
11.1.1	Bedeutung und Probleme der Ersatzteillogistik	497
11.1.2	Definitionen Ersatzteillogistik	499
11.2	Strategien der Nachserienversorgung	500
11.2.1	Kontinuierliche Nachserienfertigung	501
11.2.2	Langzeit- und Endbevorratung	501
11.2.3	Wiederaufbereitung von Altteilen	502
11.2.4	Wiederverwendung von Altteilen	503
11.3	Ersatzteilbedarfsprognose	503
11.4	Logistikkette Ersatzteil	507
11.4.1	Ersatzteildisposition und -anlieferung	507
11.4.2	Ersatzteilverpackung	508
11.4.3	Ersatzteillagerung und -auslieferung	509
	Literatur	513
	Sachverzeichnis	515

A

Logistikmanagement im Produktentstehungsprozess

1.1 Anforderungen logistikgerechter Fabrikplanung

Bis in die neunziger Jahre wurde die Planung neuer Automobilfabriken durch eine separate und sukzessive Betrachtung von Fertigungs- und Logistikprozessen organisiert. Die Folge waren räumlich getrennte Bereiche zwischen den einzelnen Fertigungsgewerken und den Logistikflächen für die Bereitstellung, den Umschlag und die Lagerung der Fertigungsmaterialien (Klauke et al. 2005, S. 250). Diese Vorgehensweise verursachte folgende Probleme:

- hohe Bestände durch fehlende Synchronisierung zwischen Fertigung und Logistik
- mangelnde Bestandstransparenz
- lange Transportwege für Einzelteile und Baugruppen
- produktionssynchrone Anlieferungen erfolgten häufig nicht direkt an den Verbauorten, sondern über den Umweg einer zentralen Logistik
- mangelnde Flächenflexibilität zwischen Fertigung und Logistik, die zu Engpasssituationen führte

Die Hauptforderung einer logistikgerechten Fabrikplanung besteht in der weitestgehenden Vermeidung von Transport-, Umschlags- und Lageraufwand durch die Realisierung einer *Logistik der kurzen Wege*. Die logistikorientierte Gestaltung der Werklayouts trägt entscheidend zum Ziel einer verschwendungsfreien Fabrik bei (vgl. [Abschn. 7.1](#)). Das Werklayout muss dabei den logistischen Anforderungen folgen (form follows flow). Ein Hauptproblem bei der Umsetzung logistikorientierter Strukturen ist der hohe Anteil von Brownfield-Werken bei den Automobilherstellern, welche oft über Jahrzehnte historisch gewachsen und durch folgende Strukturen gekennzeichnet sind:

- Durch rasch wachsende Siedlungsgebiete wurden die vormals am Stadtrand gelegenen Automobilwerke (z. B. das BMW Werk in München) über die Jahrzehnte von städtischer und/oder industrieller Bebauung umschlossen. Durch die meist gleichzeitige Steigerung des Produktionsprogramms kommt es zu einer verstärkten Flächenknappheit, die meist zu Gunsten der Fertigung entschieden wird.
- Die meist rechteckige Gebäudeform eines Brownfield-Werkes, die wie z. B. in der Montage mehrere parallel laufende Bänder umschließt, bedeutet für die Logistik lange Transportwege sowie einen erhöhten Aufwand beim Teilehandling.
- Eine störungsfreie LKW-Anlieferung, die bei der vorherrschenden bestandsarmen Lagersituation durch eine hohe Lieferfrequenz geprägt ist, kann aufgrund der sich laufend verschlechternden Verkehrssituation sowie den historisch gewachsenen Restriktionen nur mit hohem Aufwand gewährleistet werden.
- Im Laufe der Jahre wurden immer mehr Baureihen und deren Derivate auf meist begrenzter Werkfläche untergebracht. Fertigungsbereiche wie der Karosseriebau nehmen mit jedem neuen Modell mehr Fertigungsfläche ein. Die Folge ist, dass die meisten Brownfield-Werke in Deutschland unter akutem Flächenmangel leiden. Die zunehmende Fertigungsfläche wird häufig durch eine Reduzierung der Logistikfläche kompensiert, bei gleichzeitig steigender Anforderung an die Logistikleistung. Logistik- und besonders Lagerflächen sind das knappste Gut in einem Automobilwerk.

Bestehende Werkstrukturen in der Automobilindustrie lassen sich in die folgenden drei Grundmuster einteilen (vgl. [Abb. 1.1](#)) (Maurer u. Stark 2001, S. 11):

- **Zentralkonzept:** Dabei werden die einzelnen Kernfertigungsbereiche einer Automobilfabrik kreuz- bzw. sternförmig um ein Zentralgebäude gruppiert. Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei und die Endmontage sind räumlich konzentriert und über ein Zentralgebäude miteinander verbunden. Dieses dient als Kommunikationsdrehscheibe für alle im Werk arbeitenden Mitarbeiter (vgl. [Abb. 1.2](#)).
- **Kammkonzept:** Beim Kammkonzept sind die einzelnen Gewerke entsprechend den Zacken eines Kamms parallel angeordnet und werden durch ein gemeinsames Hauptgebäude miteinander verbunden.
- **Einzelkonzept:** Dieses vorwiegend bei Brownfield-Werken anzutreffende Anordnungsmodell besteht aus räumlich getrennten Gebäuden, die meist über Jahrzehnte gewachsen sind und folglich kein geschlossenes Gesamtkonzept aufweisen.

Bei der früher vorherrschenden hohen Eigenfertigungstiefe war die Produktion der Treiber für die Anforderungsdefinition neuer Fabriklayouts. Heute in Zeiten geringer Fertigungstiefe bei hohem Anlieferolumen ist die Logistik einer der Haupttreiber für die Werkslayoutplanung. Die Logistik wird zum Taktgeber der Produktion.

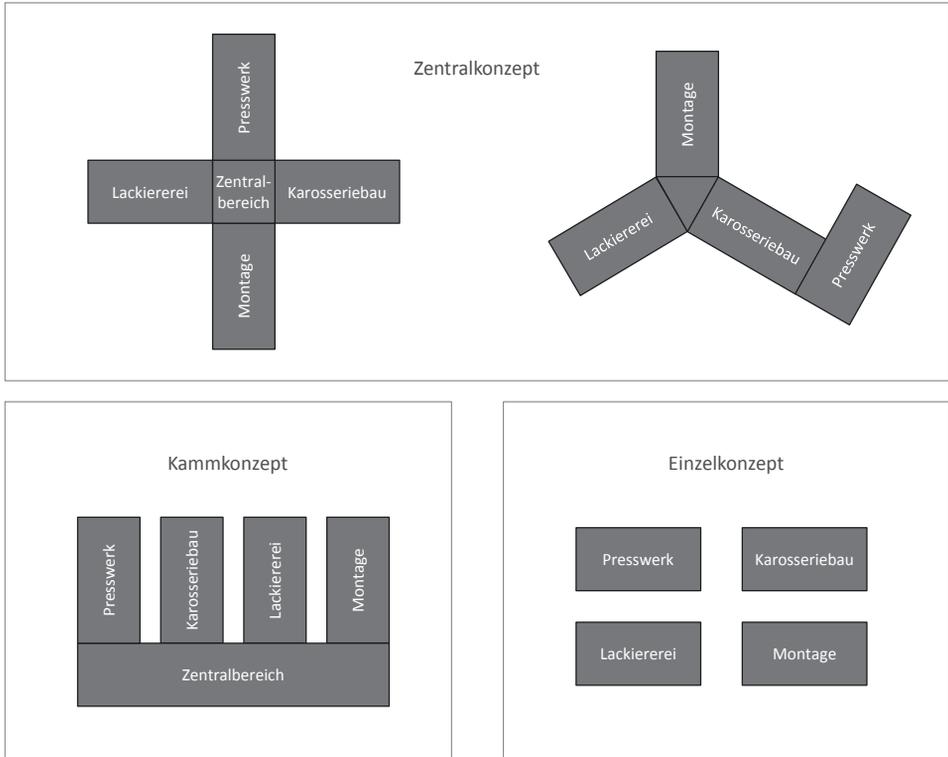


Abb. 1.1 Unterschiedliche Werkstrukturen im Automobilbau

Einen möglichen Entwicklungspfad für logistikoptimierte Fabrikstrukturen zeigt die Entwicklung der Fabriklayouts bei Opel. Die zunächst prozessorientierte Fabrikplanung (z. B. Werk Eisenach) etwa Mitte der neunziger Jahre entwickelte sich zu einer heute logistikorientierten Fabrikplanung (Werke in Argentinien, China, Thailand und Polen). Die bisher extremste Ausrichtung eines Fabriklayouts an den Anforderungen einer Hochleistungslogistik stellt das Opel Werk in Rüsselsheim dar. Eine Halbsternstruktur der Montagehalle erlaubt es, die Bereitstellungsfläche gegenüber klassischen rechteckigen Hallenlayouts zu vergrößern (vgl. [Abb. 1.3](#)). Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit wesentlich mehr Montagematerial direkt am Verbaort bereitzustellen ohne den Weg über den klassischen Serienlagerbereich zu gehen. Über die ca. 70 Andockstellen werden variantenreiche Teile, Baugruppen und Module in unmittelbarer Nähe der Verbrauchsstelle entladen. Die Hallenfassade besteht aus mobilen Segmenten, die über Nacht durch eine flexible Andockstelle (mit Wetterschutz und Luftschleier) ersetzt werden können (Klein [2002](#), S. 101). Hierdurch wird gewährleistet, dass sich bei Umtaktungen der Teile der Materialentladepunkt immer unmittelbar am Verbaort befindet.



Abb. 1.2 Zentralkonzept der Smart-Fertigung in Hambach (Quelle: Daimler)



Abb. 1.3 Halbsterntstruktur der Montagebereiche bei Opel in Rüsselsheim (Quelle: Opel)

Logistikoperationen wie Kommissionierung, Sequenzierung, Lagerung und Vormontagen werden im benachbarten Lieferantenpark (sog. Business Mall) ausgeführt, der sich auf dem Werksgelände von Opel befindet und rund 500 m von der Montagehalle entfernt ist. Ein Logistikdienstleister versorgt die Endmontage sequenzgenau mit Bauteilen und Modulen. Durch die Ansiedelung des Lieferantenparks unmittelbar auf dem Werksgelände, ist die logistische Integration in die Produktionsstrukturen sehr hoch. In einem Sequenzierungszentrum (sog. SILS-Centre) liefern die Lieferanten ihre Bauteile an. Dort werden sie vom Dienstleister vormontiert, sequenziert und als fertige Module an die Endmontagelinie transportiert. Davon geht die Hälfte des verbauten Materials über das SILS-Centre. Weitere Serviceangebote umfassen die Lagerung und die Übernahme von Umschlagsaktivitäten. Durch die Zwischenschaltung des Lieferantenparks wirken sich Änderungen – auch bei Modellwechseln – nur in vermindertem Maße auf die Montagelinie aus (Klein 2002, S. 102).

1.2 Logistik der kurzen Wege am Beispiel BMW Leipzig

Ein weiteres erfolgreiches Einsatzbeispiel für eine logistikgerechte Fabrikplanung stellt das 2005 eröffnete Greenfield-Werk der BMW AG in Leipzig dar. Planungsgrundlage war die Anforderung extrem hoher Produktionsflexibilität (Stückzahl, Baureihen, Derivate) bei gleichzeitiger Stabilisierung der Fertigungs- und Logistikprozesse. Die zunehmende Bau-reihenvielfalt gepaart mit einer hohen Marktdynamik erfordert heute eine atmende Fabrik mit geringer Kostenelastizität. Zusätzlich müssen sich bestehende logistische Strukturen flexibel in zukünftige Erweiterungen einpassen lassen.

Um das Zentralgebäude, in dem sich Verwaltungs-, Planungs- und Qualitätsfunktionen befinden, sind die einzelnen Fertigungsbereiche sternförmig angeordnet (vgl. Abb. 1.4). Diese Struktur bietet nach mehreren Seiten ausreichende Möglichkeiten, um künftige Erweiterungen mit geringem Aufwand durchzuführen. Das Zentralgebäude verbindet die Kernfertigungsbereiche Karosseriebau, Lackiererei und Montage und stellt die Kommunikationsdrehscheibe für das gesamte Werk dar. Das eingesetzte Zentralkonzept reduziert Logistikwege und vermeidet Kreuzungsverkehre. Generell sind alle Verkehrsströme im Werk weitestgehend voneinander getrennt. Der Zugang für die Mitarbeiter liegt im Norden. Materialien, Teile und Komponenten werden im Osten angeliefert. Die Bahn-anbindung ist im Süden und die Bereitstellung und der Abtransport der Fertigfahrzeuge befindet sich im Westen des Werkes.

Ein montagenahes Versorgungszentrum für interne und externe Lieferanten ist das zentrale Element der Materialversorgungsstrategie, da es ca. 60 % des gesamten Material-Volumenstromes bereitstellt. Es befindet sich nicht wie bei Lieferantenparks üblich vor den Werktoeren sondern unmittelbar auf dem BMW-Gelände (vgl. Abschn. 3.6.1). Die im Versorgungszentrum vormontierten Teile werden per Elektrohängebahn (EHB) an die Verbauorte transportiert. Hierdurch wird im Vergleich zur klassischen Stapleranlieferung eine beruhigte Produktion ermöglicht. Bei Bedarf kann die EHB inkl. Hubstation umgesetzt



Abb. 1.4 Werkstruktur BMW Werk Leipzig (Quelle: BMW)

werden. Das Versorgungszentrum, in dem Zulieferer ganze Fahrzeugmodule und -systeme vormontieren, wurde baulich genauso gestaltet wie die BMW-Montage, inklusive der förder-technischen Anbindung. Somit kann die derzeit extern bewirtschaftete Fläche bei Bedarf in die eigene Produktionsfläche integriert werden.

Das asymmetrisch aufgebaute Montagegebäude mit seinen angebauten Hallen ermöglicht eine flexible Erweiterung der Hallenaußen- und folglich der Anlieferfläche für die Logistik (vgl. [Abb. 1.4](#)). Gezielte Baulücken können später überbaut werden. Dieses Anordnungsprinzip gewährleistet jederzeit strukturelle Veränderungen mit hoher Flexibilität bei angemessenem Aufwand. Ausgehend von einer Mittelachse, in der sich überwiegend die Sozial- und Büroräume befinden, sind vier Hallen senkrecht dazu angeordnet. Durch diese sog. Finger, in denen konventionelle Montageprozesse untergebracht sind, entsteht eine kammförmige Hallenstruktur (Bauer 2006, S. 183). Die Hauptlinie wurde variantenarm ausgelegt. Variantengenerierende Baugruppen, Module und Systeme sind in die Vormontagebereiche ausgelagert. Frontend und Cockpit entstehen wie alle variantenreichen Umfänge außerhalb der Hauptlinie in flexiblen Zellen, wo sie montagesynchron vormontiert, geprüft und zugesteuert werden. Diese Vorgehensweise erhöht die Prozessstabilität und die Verfügbarkeit der Hauptmontagelinie. Aufgrund der Flächenreserven können die Finger bei Bedarf erweitert werden, was mehr Volumen- und Variantenflexibilität mit neuen Fertigungs- und Logistikabläufen ermöglicht. Durch die räumliche Trennung zwischen Hauptband und Finger können Änderungen (z. B. höhere Arbeitsinhalte eines neuen Fahrzeugmodells) organisiert werden, ohne dass die Produktion unterbrochen oder Fixpunkte der Montage – etwa der Cockpiteinbau oder die Hochzeit – aufwendig

verschoben werden müssen. Fixpunkte (schwer verlegbare Installationen) werden entweder außerhalb von potentiellen Erweiterungsflächen eingerichtet oder es werden entsprechende Umgehungsmöglichkeiten vorgesehen (Bauer 2006, S. 183). Somit bleibt die Hauptstruktur stabil und erweiterbar während die Finger beliebig entkoppelt und den variantenreichen Umfängen vorbehalten bleiben.

Die Kammstruktur der Montagehallen ermöglicht gleichzeitig gute Andockmöglichkeiten für eine Direktbelieferung durch nicht im Versorgungszentrum untergebrachte Modullieferanten. Alle Gebäude wurden in Panelkonstruktion mit einem einheitlichen Säulenrastermaß gebaut. So kann im Nachhinein an jeder beliebigen Stelle der Montagehalle ein neues Andocktor eingebaut werden. Andockstellen wurden paarweise in die Hallenwand integriert zur Realisierung eines Warehouse on Wheels Konzepts (vgl. Abschn. 7.3.6). Hierbei wird jeweils ein Trailer zur Vollgutentnahme und ein Trailer für die Leergutentsorgung bereitgestellt. Die großen Abstände zwischen den Fingern bieten ausreichend Wendemöglichkeiten für LKWs und eine wahlfreie Anfahrt zu den Andockstationen.

Die Montagelinie verläuft mäanderförmig, d. h. immer wieder quer zur Längsachse – vorzugsweise entlang der äußeren Wand. Dieser Grundriss ermöglicht es mit den dazwischen angeordneten Freiflächen, Zulieferteile auf kürzestem Wege direkt an die Fertigungsbänder zu transportieren. Die Anlieferumfänge mit maximalen Einbauvolumen, wie JIT- und JIS-Umfänge, befinden sich nahe an der Außenfassade (vgl. Abb. 1.5). Durch die geringe Distanz der Montagelinien zur Hallenaußenhaut wird ein kurzer Bereitstellungsweg in Direktanlieferung realisiert. Die Direktanlieferung ist der bevorzugte Standardversorgungsprozess. Für die Versorgung der Montage wurden ausschließlich drei Materialfluss-Systeme implementiert:

Externe Direktanlieferung mittels LKW

Etwa 30 % des gesamten Versorgungsvolumens der Montage wird mittels LKW direkt angeliefert. Großvolumige Lieferumfänge mit hoher Anlieferfrequenz werden mittels der Just-in-Time bzw. Just-in-Sequence Anlieferung (vgl. Abschn. 8.3.1 und 8.3.2) bereitgestellt. Durch die kammförmige Montagehallenstruktur ist die Belieferung nahezu aller Montagepunkte an der Montagelinie möglich (Bauer 2006, S. 187). Nach dem Andocken der Trailer (Heckentladung) am Rolltor werden diese entladen und die Ladeeinheiten montagesynchron bereitgestellt. Umschlag und Bereitstellung der Behälter erfolgen über eine Distanz von wenigen Metern. Für die Direktanlieferung stehen derzeit 36 Direktanlieferer zur Verfügung die innerhalb nur eines Werktages versetzt werden können.

Interne Modulanlieferung mittels Elektrohängebahn

Große und komplexe Komponenten und Module (Sitze, Cockpit, Türen, Frontend, Motor/Getriebe, Achsen) werden direkt auf dem Werksgelände von externen und internen Lieferanten im Versorgungszentrum nach Kundenwunsch vormontiert. Analog der fahrzeugspezifischen Reihenfolge werden diese über eine vollautomatische Elektrohängebahn (EHB) oder über Bodenflurtransporte (BTS) fertigungssynchron an das Hauptband angeliefert.

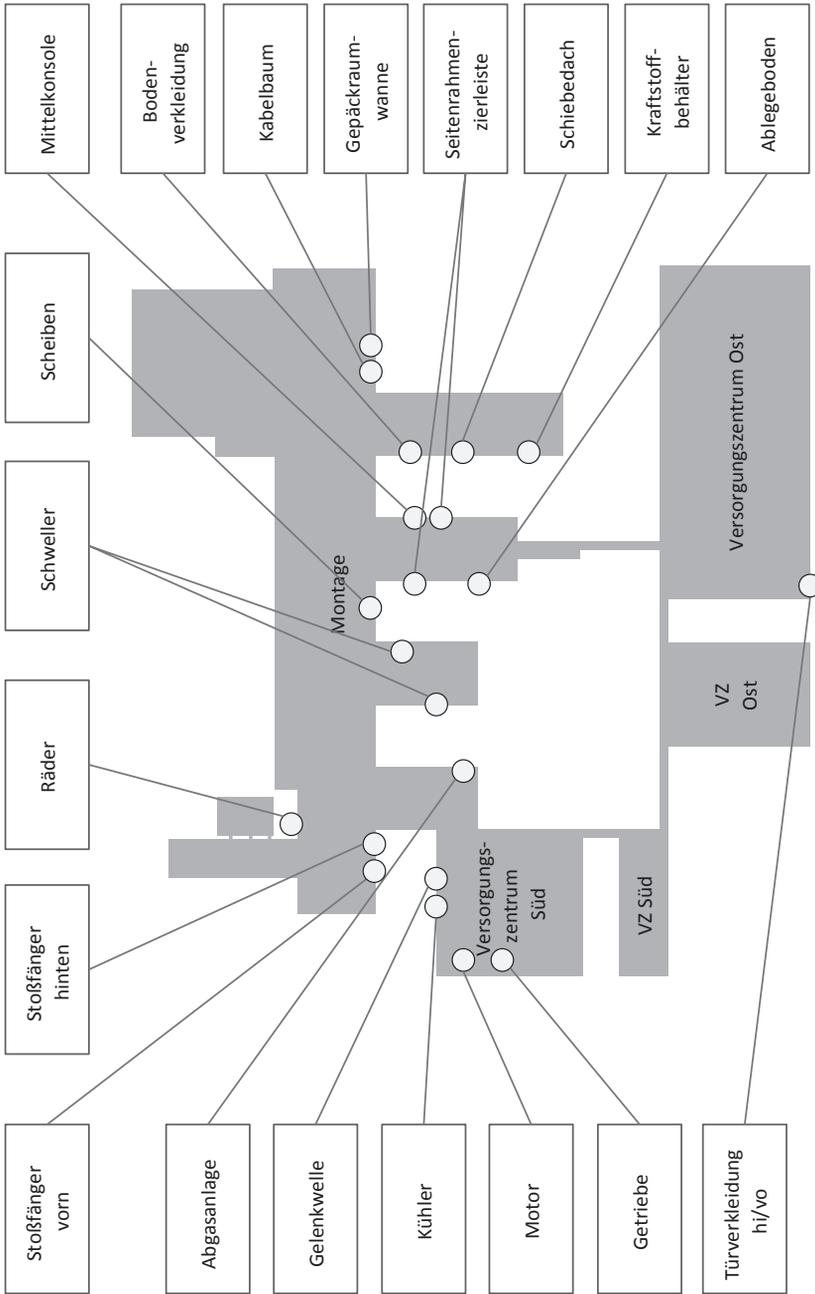


Abb. 1.5 JIT-/JIS-Direktlieferumfänge Montage BMW Werk Leipzig (Quelle: BMW)

Dabei werden die einzelnen Modulversorgungsstränge zu einem gemeinsamen Förder-technik-Kreislauf gekoppelt, wodurch eine stabile Reihenfolgesequenz mit minimalem Steuerungsaufwand ermöglicht wird. Bestimmte Module nutzen die Transportgestelle bereits in der Vormontage als Werkstückträger, was den Umschlagsaufwand reduziert (Bauer 2006, S. 188). Etwa 60 % Prozent des angelieferten Volumens gelangen so über automatisierte Fördertechnik aus den Versorgungszentren an den Verbauort.

Interne Lageranlieferung mittels Fahrerlosem Transportsystem

Die täglich sortenrein angelieferten Umfänge im Teil- und Stückladungsbereich werden über ein montagenahes Lagerzentrum abgewickelt und mittels eines Fahrerlosen Transportsystems (FTS) angeliefert. Der Lagerbereich bedient neben der Fahrzeugmontage auch die von BMW betriebenen Vormontagen im Versorgungszentrum (Bauer 2002, S. 116). Alle Bauteile, die von ihren Dimensionen her in Standardbehälter (Paletten- oder Gitterboxen-Ware) passen, eine geringe oder gar keine Typenindividualisierung aufweisen oder sich nicht in Sequenz-Abläufe integrieren lassen, gehen in ein Hochregallager. Kleinmaterialien werden in einem automatischen Kleinteilelager zwischengepuffert. Neben den automatischen (Hochregallager und Kleinteilelager) Lagerbereichen gibt es manuelle Regal- und Sequenzierlager bzw. Bodenblocklager für Groß- und Schwerteile. Der gesamte Logistikablauf vom Wareneingang über die Lagerbewirtschaftung mit Ein- und Auslagerung, der Kommissionierung, Sequenzierung und Portionierung bis hin zur kompletten Montageversorgung wird durch einen externen Logistikdienstleister abgewickelt. Als Ladehilfsmittel werden überwiegend Rollwagen zur Aufnahme von Behältern bis DIN-Größe bzw. übergroße Rollwagen zur Aufnahme von Großbehältern eingesetzt. Eine Ausnahme bilden die Sequenzgestelle aus dem Sequenzlager mit Sonderaufbauten. Das Auf- und Absetzen der beladenen und leeren Rollgestelle erfolgt paarweise entweder selbstständig an speziellen Aufgabe- und Abladestationen oder durch Bedienpersonal an jedem beliebigen Punkte (Bauer 2006, S. 189). Das ausgelagerte und zum Transport bereitgestellte Material wird an den FTS-Bahnhöfen bereitgestellt und dort auf einen leeren Rollwagen verbracht. Nach der bedarfsgerechten Beladung der Fahrerlosen Transportfahrzeuge (FTF) wird der Transport direkt zu den Verbauorten oder zu so genannten Marktplätzen durchgeführt. Jeder dieser Marktplätze versorgt bis zu fünf in seiner Nähe befindliche Verbauorte. Jeder Abgabebahnhof hat jeweils zwei Haltepositionen für die vordere bzw. hintere Rollwagenposition auf dem FTF. Die Mitarbeiter des Logistikdienstleisters tauschen den vollen Rollwagen gegen einen Leer- bzw. Rest- und Wertstoffbehälter aus und verteilen die Materialien an die einzelnen Takte. Die FTF übernehmen neben dem Voll- und Leerguttransport auch die Abfallentsorgung in Gitterboxen. Die FTS-Transporte decken knapp 10 % des gesamten Versorgungsvolumens der Montage ab.

Die FTF funktionieren weitgehend autonom und werden von einem eigenen Bord-PC gesteuert. Bei der freien Navigation hilft ein digitaler Hallenplan (Kopplung) sowie im Boden eingelassene Dauermagneten (Peilung) die als Leitmarken dienen. Hinzu kommt ein optischer Sensor, der Hindernisse erkennt und das FTF automatisch stoppt. Beim

Rückweg von der Montage nehmen die Fahrzeuge Leergut und Verpackungsmaterial mit und entladen es an einer Entsorgungsstation vor der Halle.

Allgemein lassen sich folgende Gestaltungsprinzipien für eine logistikoptimierte Fabrik zusammenfassen:

- Fabrikstrukturen folgen dem Materialfluss (form follows flow)
- maximaler Anteil an Direktbelieferungen und Minimierung der Bestände und Flächenbedarfe in der Prozesskette (insbesondere im bandnahen Bereich)
- Priorisierung und Klassifizierung von Flächen
- Reduzierung der Anzahl Lagerstufen (Einstufige Lagerabwicklung)
- Vergrößerung der Anliefer-, Umschlags- und Bereitstellungsflächen durch die Vermeidung von Rechteck-Hallenlayouts (z. B. durch Stern- und Mäanderlayouts)
- Vermeidung von vertikalen Materialtransporten (Heber) durch LKW-Anlieferung auf Montageebene
- einstufige Umschlagsprozesse
- keine Kreuzungen zwischen den Materialströmen bzw. Fahrweg und Materialstrom
- keine teilefamilienspezifische Fördertechnik
- stabile, variantenarme und erweiterbare Hauptstrukturen die von den flexiblen und variantengenerierenden Strukturelementen entkoppelt werden
- hochflexible, standardisierte und übergreifend nutzbare Automatisierung
- strikte Trennung zwischen Fertigungs- und Logistikflächen bei gleichzeitiger Integration der Logistik- in die Fertigungsbereiche
- Entflechtung der Material-, Mitarbeiter- und Fertigfahrzeugströme
- beruhigte und geglättete Fertigung durch eine getaktete Be- und Versorgung mit Behältern

1.3 Modularisierung einer Automobilfabrik

Die zunehmende Differenzierung des Fahrzeugprogramms kann nicht durch ein einheitliches homogenes Produktions- und Logistiksystem befriedigt werden (Klug 2000, S. 9). Um die Komplexität heutiger Automobilwerke zu reduzieren und zu beherrschen, bedarf es einer Entflechtung und Vereinfachung traditioneller Fabrikstrukturen. Die aus logistischer, produktionstechnischer und produktorientierter Sicht sinnvolle Überführung meist zentral organisierter Einheiten in eigenständige und in sich funktionsfähige prozessorientierte Fertigungsmodulare ermöglicht eine Strukturierung der Fahrzeugfabrik in modulare Fertigungseinheiten (Fredriksson 2006, S. 170 ff). Durch die Modularisierung der Fertigungsbereiche bei zusätzlicher Integration aller logistikrelevanten Bereiche innerhalb des Fertigungsmoduls entsteht eine logistikoptimierte Fabrik mit kurzen Wegen (Harrison 1998, S. 407). Die einzelnen Module sind modellreihenorientiert ausgerichtet und integrieren möglichst durchgängig alle Stufen der logistischen Kette vom Wareneingang bis zur Fertigung (Wildemann 1998, S. 47 ff). Die früher zentral angeordneten Logistikflächen werden

dezentralisiert und in die jeweiligen Fertigungsbereiche vollständig integriert (Klauke et al. 2005, S. 251). Alle Fertigungsmodulare arbeiten eigenverantwortlich und übernehmen steuernde Aufgaben vom Teilematerialabruf, über Materialbereitstellung, Fertigung sowie Modulübergabe an den Folgebereich. Diese geschlossenen Verantwortlichkeiten in den Fertigungsmodulen setzen sich auch auf den übergeordneten Organisationsebenen der Fabrik-Ebene fort. Hierdurch wird es möglich Material- und Informationsflüsse zu entflechten und damit wieder transparent und letztendlich steuerbar zu machen. Der Materialfluss in den prozessorientierten Modulen läuft synchron mit minimalen Puffern zum Hauptmontageband (Klauke et al. 2005, S. 251). Die Anordnung der einzelnen Module sowie deren strukturierte Vernetzung hat höchste Priorität bei jeder Layoutgestaltung (Weißner et al. 1997, S. 153). Die Montage bildet das Integrationszentrum für externe und interne Lieferanten. Alle Module fließen verbaupunktorientiert von außen nach innen auf das Montagemodul zu. Neben der organisatorischen Modularisierung einer Fabrik (Wildemann 1998, S. 47 ff; Warnecke 1992, S. 142 ff) kann das Konzept der Bildung autonomer Einheiten auch auf die Betriebsmittel, Gebäudestrukturen und Flächen ausgedehnt werden (Wiendahl et al. 2005, S. 17). Folgende Aspekte ergeben sich beim Aufbau einer Werkstruktur unter modularen Gesichtspunkten:

- Die technische Modularisierung des Gesamtfahrzeuges bildet die Rahmenbedingungen und die Voraussetzung für die Modularisierung der Fertigungs- und Logistikstrukturen (vgl. [Abschn. 3.5.1](#)). Typische Fahrzeugmodule sowie Fertigungsmodulare im Bereich Montage stellen der Bereich Motor, Tür, Hinterachse, Sitz, Cockpit und Frontend dar. Dabei wird zusätzlich nach Modellreihen segmentiert. Eine vollständige und durchgängige modellreihenspezifische Segmentierung ist allerdings aus Sicht einer optimalen Kapazitätsauslastung nicht immer sinnvoll.
- Die Bildung der eigenständigen, in sich funktionsfähigen und prozessorientierten Fertigungsmodulare erfolgt nach logistischen, produktionstechnischen sowie produktorientierten Segmentierungskriterien.
- Die Logistikbereiche sind dezentral den einzelnen Fertigungsmodulen zugeordnet und werden durch dezentrale Wareneingänge versorgt. Dies ermöglicht einen vereinfachten Handlingsaufwand in den eigenen Anliefer-, Umschlags- und Lagerzonen bei geringen Beständen mit erhöhter Bestandstransparenz. Durch die Integration der Logistikflächen reduziert sich auch der Transportaufwand drastisch. Untersuchungen im VW-Konzern haben gezeigt, dass Transportzeiten gemessen in min/Fahrzeug bzw. min/Behälter im Vergleich zu Layouts von 1987 um ca. 50 % reduziert werden konnten. Gleichzeitig reduzierten sich die Transportstrecken um den Faktor sechs (Klauke et al. 2005, S. 254).
- Jedes Modul versteht sich einerseits als Kunde seines Vorgängermoduls (z. B. Fahrwerk und Hinterachse) bzw. als Lieferant für das Nachfolgemodul (z. B. Cockpit und Hauptmontagelinie).
- Alle Module sind weitgehend synchronisiert und durch minimale Bestandspuffer gegen kurzfristige Ausfälle abgesichert. Hierdurch kann die Verfügbarkeit eng

verketteter Prozesse wie z. B. im Karosseriebau drastisch gesteigert werden (vgl. [Abschn. 9.7.2](#)).

- Karosseriebau und Lackiererei werden im Vergleich zum klassischen Fabrikkonzept dezentralisiert und können als externe Module an Lieferanten vergeben werden (Köth 2004, S. 34).
- Durch die Modularisierung der Fabriklayouts bei gleichzeitigem Vorhalten von Reserverflächen ist eine multiple Betriebsgrößenvariation möglich, die eine hohe quantitative sowie qualitative Flexibilität gegenüber Fahrzeugprogrammänderungen ermöglicht (Gutenberg 1983, S. 424 ff).
- Die Segmentierung der Fertigungs- und Logistikbereiche ermöglicht eine Entkopplung der Fertigungsbereiche nach Modellreihen. Schwankungen bei der Fahrzeugprogrammplanung können daher abgedeckt werden ohne alle Fertigungskapazitäten vorhalten zu müssen. Jede Modellreihe wird im Extremfall autonom durch einen Segmentverantwortlichen betreut. Eine entsprechende Abstimmung der Schichtmodelle innerhalb der Segmente sowie segmentübergreifend ermöglicht eine flexible und optimale Auslastung der Fabrik.

[Abb. 1.6](#) zeigt ein Beispiel für eine modularisierte Montage. Hierbei wird das auf Fabrikebene definierte Modul Montage in die Submodule Motor, Triebsatz, Hinterachse, Cockpit, Frontend, Finish und ausgelagerte Tür zerlegt (Klauke et al. 2005, S. 248 f). Die für die Montage benötigten Teile werden jeweils dezentral und modulspezifisch angeliefert. Hierzu ist notwendig, dass die eingehenden Materialströme des Fahrzeugwerkes in einer vorgelagerten Logistikstufe im Rahmen eines Transshipment Terminals umgeschlagen, bei Bedarf sequenziert und abladestellengerecht vorkommissioniert werden (vgl. [Abschn. 6.8.1](#)). Die Anlieferung erfolgt im Rahmen einer *Logistik der kurzen Wege* möglichst verbauortnah. Zusätzliche Submodule lassen sich bei Bedarf problemlos an das Hauptmontageband koppeln. Die Module können jeweils durch interne oder externe Lieferanten betrieben werden. Die Integration der Lieferanten kann schrittweise erfolgen. Lieferanten können zunächst in einem Versorgungszentrum angesiedelt werden um später im Rahmen eines Inhouse-Supplier-Assembly bzw. Modularen Konsortiums stärker an bzw. in die Montagelinie integriert zu werden (Bennett u. Klug 2009, S. 701 f).

Eine modellreihenspezifische Segmentierung der Fabrik mit den jeweiligen Fertigungsmodulen weist gegenüber traditionellen technologieorientierten Fabrikorganisationen folgende Vorteile auf:

- Fehlerquellen können aufgrund der Entflechtung der Material- und Infoflüsse schneller erkannt und behoben werden.
- Einfach gegliederte Strukturen aus Einheiten handhabbarer Größen führen zu einer erhöhten Transparenz der Materialflüsse.
- Klare organisatorische Verantwortungen führen zu kurzen Kommunikations- und Entscheidungswegen und folglich zu einer erhöhten Anpassungsgeschwindigkeit.

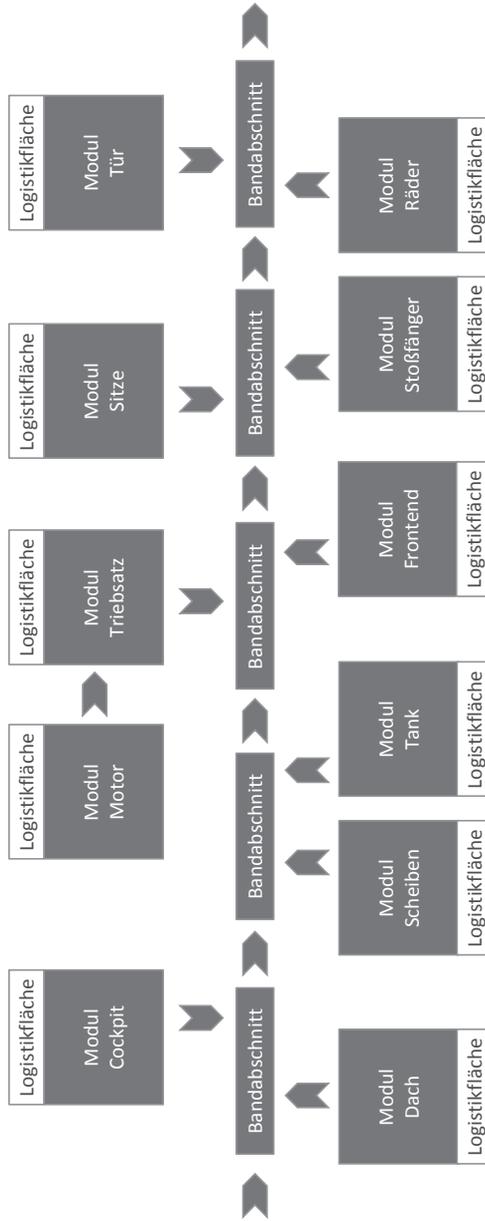


Abb. 1.6 Modulare Strukturierung einer Fahrzeugmontage

- Entkopplung von Unternehmensteilen führt zu einer Reduzierung logistischer Schnittstellen und auch zu einer Verminderung der Produktionsausfälle, da Veränderungen innerhalb eines Fabrikmoduls auch während des Betriebs möglich werden (Wiendahl et al. 2005, S. 4).
- Logistische Änderungen können einfacher und schneller umgesetzt werden mit reduziertem Änderungs- und Umsetzungsaufwand.
- Bessere Identifikation der Mitarbeiter mit dem Produkt führt zu einer stärkeren Ausrichtung der Fertigung und Logistik an den segmentspezifischen Kundenbedürfnissen.

Literatur

- Bauer, N. (2006): Intralogistische Konzepte und ausgewählte technische Lösungen im BMW Werk Leipzig, in: *Intralogistik - Potentiale, Perspektiven, Prognosen*, hrsg. von: Arnold, D., Springer, Berlin, 2006, S. 182–191
- Bennett, D./Klug, F. (2009): Automotive Supplier Integration from Automotive Supplier Community to Modular Consortium, in: *Logistics Research Network 2009 Conference Proceedings*, Hrsg. von: Potter, A./Naim, M., Cardiff, 2009, S. 698–705
- Fredriksson, P. (2006): Operations and Logistics Issues in Modular Assembly Processes: Cases from the Automotive Sector, in: *Journal of Manufacturing Technology Management* 17(2)/2006, S. 168–186
- Gutenberg, E. (1983): *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Erster Band: Die Produktion*, 24. Auflage, Springer, Berlin, 1983
- Harrison, A. (1998): Manufacturing Strategy and the Concept of World Class Manufacturing, in: *International Journal of Operations & Production Management* 18(4)/1998, S. 397–408
- Klauke, A./Schreiber, W./Weißner, R. (2005): Neue Produktstrukturen erfordern angepasste Fabrikstrukturen, in: *Planung modularer Fabriken – Vorgehen und Beispiele aus der Praxis*, Hrsg. von: Wiendahl, H.-P./Nofen, D./Klußmann, J./Breitenbach, F., Hanser, München, 2005, S. 244–256
- Klein, P. (2002): Integration eines Lieferantenparks in die Fahrzeugmontage, in: *Mensch und Technik in der Logistik*, 11. Deutscher Materialfluss-Kongress, Hrsg. von: VDI-Gesellschaft FML, VDI, Düsseldorf, 2002, S. 95–109
- Klug, F. (2000): *Konzepte zur Fertigungssegmentplanung unter der besonderen Berücksichtigung von Kostenaspekten*, Herbert Utz, München, 2000
- Köth, C.-P. (2004): Gefangen in alten Konzepten, in: *Automobil Industrie* 7–8/2004, S. 34–39
- Maurer, A./Stark, W. A. (2001): *Steering Carmaking into the 21st Century*, BCG Report, 2001
- Warnecke, H.-J. (1992): *Die Fraktale Fabrik – Revolution der Unternehmenskultur*, Springer, Berlin, 1992
- Weißner, R./Klauke, A./Guse, M./May, M. (1997): Modulare Fabrikstrukturen in der Automobilindustrie, in: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 4/1997, S. 152–155
- Wiendahl, H.-P./Nofen, D./Klußmann, J./Breitenbach, F. (Hrsg.) (2005): *Planung modularer Fabriken – Vorgehen und Beispiele aus der Praxis*, Hanser, München, 2005
- Wildemann, H. (1998): *Die modulare Fabrik: Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung*, 5. Auflage, TCW, München, 1998

2.1 Bedeutung der Logistik im Rahmen der digitalen Fabrik

Die digitale Fabrik ist ein virtuelles dynamisches Modell eines vollständigen Produktionssystems, in dem alle Produkte, Prozesse sowie die Ressourcen inklusive der logistischen Abläufe abgebildet sind. Das Modell dient gleichzeitig als Werkzeug zur Prozessplanung und ermöglicht mithilfe von Simulationen und Analysen eine Optimierung von Produkten, Produktions- und Logistiksystemen über den gesamten Lebenszyklus (Müller u. Wirth 2005, S. 33). Die virtuelle Fabrik stellt neben den digitalen Werkzeugen zur Planung, Modellierung und Simulation auch geeignete Konzepte und Methoden zur Verfügung (Kühn 2006, S. 1). Unter *digital bzw. virtuell* versteht man den Sachverhalt, dass vor einer Umsetzung der Planungsergebnisse, diese durch softwaregestützte Planungstools abgesichert werden. Die digitale Fabrik bietet die Möglichkeit, Planungsalternativen darzustellen und zu bewerten. Alle planungsrelevanten Prozesse der Automobilfabrik werden zunächst softwaretechnisch abgebildet und untersucht (vgl. Abb. 2.1). Erst wenn die Leistungskriterien, wie z. B. Stückzahlen, Qualität und Durchlaufzeit im Modell nachgewiesen wurden, beginnt die hardwaretechnische Umsetzung. Reale Fahrzeuge werden erst dann produziert, wenn diese bereits in der virtuellen Fabrik zeit-, kosten- und qualitätsgerecht gefertigt wurden.

Durch den frühzeitigen Einsatz softwaregestützter Planungsmethoden im Rahmen des Produktentstehungsprozesses (PEP) werden folgende Ziele verfolgt:

- Verbesserung der Kommunikation, Erleichterung der Entscheidungsfindung und Vereinfachung der Dokumentation
- Erlangung von Erkenntnissen über die optimale Auslegung und den optimalen Betrieb einer Automobilfabrik
- Schnelle Generierung und Änderung von Planungsalternativen



Abb. 2.1 Digitale Fabrikplanung

- Schaffung einer redundanzfreien Datenbasis für Planungszwecke aller Bereiche des Unternehmens
- Standardisierung von Produkten, Prozessen und des Ressourceneinsatzes im Unternehmen
- Integrierte Definition von Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortungen über das gesamte Prozessnetzwerk des Produktentstehungsprozesses hinweg
- Vereinfachung des Planungsprozesses und Entlastung der Mitarbeiter durch die Automatisierung von Planungsaufgaben im Rahmen eines geeigneten Reporting- bzw. Workflow-Systems
- Verbesserung der Planungsqualität bei gleichzeitig höherer Effektivität der Planungsphase
- Frühzeitiges Erkennen von Planungsfehlern

Die Automobilindustrie hat in den letzten Jahren große Investitionen in digitale Techniken sowie den Aufbau geeigneter Organisationskonzepte getätigt. Bereits heute werden alle Fertigungsbereiche einer Automobilfabrik simulationstechnisch unterstützt. Erst wenn alle Simulations-, Planungs- und Integrationsschritte erfolgreich durchlaufen

wurden, wird die Freigabe zur Umsetzung des Fahrzeugprojektes erteilt. Durch den Einsatz virtueller Planungsmethoden wird die Vielzahl heutiger Fahrzeuganläufe erst ermöglicht.

Während in den ersten Jahren der Entstehung des digitalen Fabrikgedankens das Design, die Prototypen und der Werkzeugbau im Vordergrund standen, erweiterte sich der Einsatzbereich sukzessive auf die Fertigungs- und Logistikprozesse. Ein nächster Schritt liegt in der Verbindung einzelner Rechnermodelle zu einem virtuellen Gesamtfabrikmodell, das neben den Fertigungsprozessen auch die internen und externen Material- und Informationsflüsse berücksichtigt. Dies bedeutet, dass die digitale Logistik als integrativer Baustein die Voraussetzung für ein durchgängiges virtuelles Unternehmensmodell darstellt (vgl. [Abb. 2.2](#)). Die digitale Logistik bildet einen zentralen Baustein der digitalen Fabrik. Parallel zur Querschnittsbetrachtung der Logistik werden alle Gewerke einer Automobilfabrik vom Presswerk über Karosseriebau, Lackiererei bis hin zur Montage mit eigenen virtuellen Projekten unterstützt.

Ziel der digitalen Logistikplanung ist es, möglichst frühzeitig im Rahmen des Produktentstehungsprozesses, Planungsfragen der Logistik anhand digitaler Softwaremodelle zu klären. Lange vor der notwendigen Umsetzung realer Logistikprozesse in die Serienfertigung werden diese mit den relevanten Zusammenhängen virtuell am Rechner modelliert (Klug et al. 2001, S. 44). Neben der Reduzierung der Planungsdauer wird somit ein robuster Logistikprozess mit Reifegradabsicherung erreicht. Durch diese Mehrinvestition in einer frühen Phase des PEP sollen spätere zeit- und kostenintensive Änderungen bei den Logistikabläufen und –ressourcen vermieden werden (sog. Frontloading). Diese frühen Investitionen sind besonders wichtig, da es einen großen zeitlichen Unterschied zwischen der Kostenbeeinflussung und der Kostenentstehung logistischer Prozesse gibt. Während

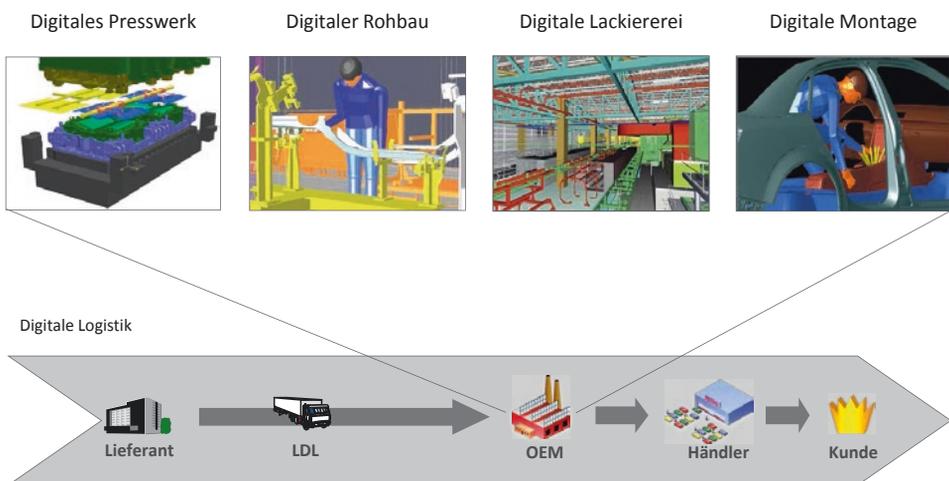


Abb. 2.2 Digitale Logistik als Querschnittsfunktion der digitalen Fabrik

in den Anfangsphasen des PEP das Potenzial zur Kostenbeeinflussung noch am größten ist (vgl. Abb. 4.9), fällt der Großteil des Ressourcenaufwands und der Kosten erst nach Produktionsstart an. Die frühe Planung der Logistikabläufe zur Reduzierung der Logistikkosten in der Betriebsphase ist folglich betriebswirtschaftlich sinnvoll. Um dieses Ziel zu realisieren, wurden vermehrt Anstrengungen im Bereich der digitalen Logistik unternommen mit folgenden Zielsetzungen (Klug et al. 2001, S. 44):

- Durchgängige Abbildung und Visualisierung der Logistikketten vom Bereitstellungsort des Materials ausgehend bis hin zum Lieferanten (Line-Back)
- Frühzeitige Absicherung der fahrzeugprojektspezifischen Investitionen in Logistikressourcen durch einen Abgleich von Ressourcenangebot und -nachfrage
- Zugriff auf eine konsolidierte und aktuelle Logistik-Datenbasis für alle am Logistikplanungsprozess Beteiligten (Versorgungs-, Behälter-, Strukturplaner)
- Bereitstellung von Planungsdaten für weitere Bausteine der virtuellen Fabrik
- Logistische Definition von Schnittstellen und Prozessabläufen im Rahmen der digitalen Fabrik und des digitalen Produkts

2.2 Referenzmodell der digitalen Logistikplanung

Trotz der Vielzahl von Softwaretools für die Logistikplanung die heute am Markt angeboten werden, basieren die meisten Werkzeuge auf ähnlichen Elementen und Strukturen. Unabhängig von einer spezifischen Planungssoftware wird im Folgenden ein Referenzmodell dargestellt, welches Allgemeingültigkeit besitzt und universell eingesetzt werden kann. Die Grundsystematik des Referenzmodells der digitalen Logistikplanung bildet ein generischer Ansatz mit drei unterschiedlichen und fundamentalen Sichtweisen der Logistik (vgl. Abb. 2.3). Dabei handelt es sich um die logistische Sicht des Produkts, die zu seiner Herstellung benötigten Logistikprozesse sowie die hierzu eingesetzten Logistikressourcen (Klug et al. 2001, S. 44 f).

2.2.1 Logistische Produktsicht

Ausgangsbasis jedes logistischen Planungsprozesses ist das geplante Fahrzeug und seine logistikrelevante Produktstruktur als Treiber aller Logistikprozesse. Um die Komplexität des Planungsproblems zu reduzieren, werden vor Planungsbeginn sog. logistische Top-teile (z. B. Leitungssatz, Frontend, Sitze, Tank, Türverkleidung) durch die verantwortlichen Logistikplaner definiert. Für die Definition logistikplanungsrelevanter Teile müssen andere Maßstäbe angelegt werden als für die klassische Stücklistendefinition etwa aus Konstruktionssicht. Nur die für die Logistik relevanten Teile werden berücksichtigt, was den Planungsaufwand erheblich reduziert. Folgende Teileumfänge werden für eine Definition als logistisches Topteil favorisiert:

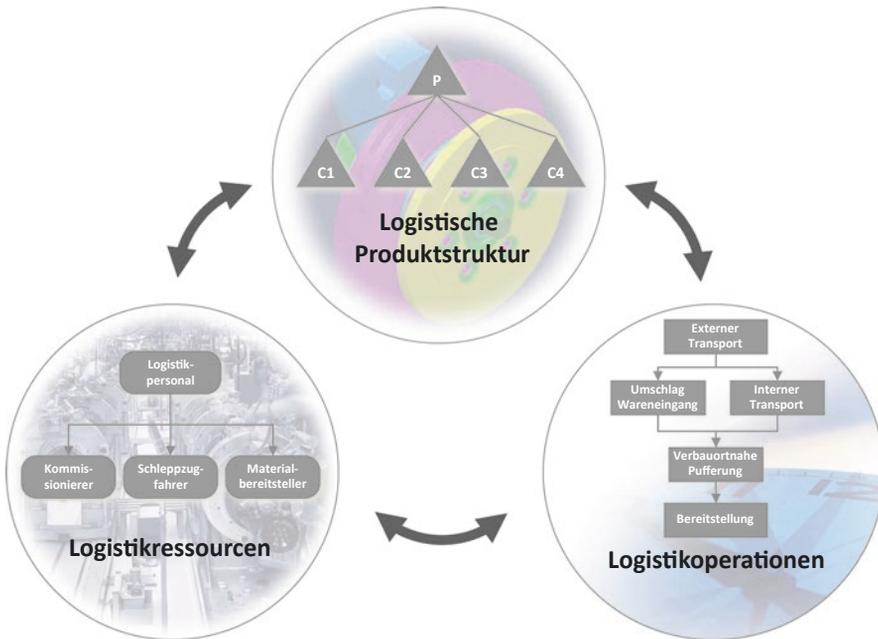


Abb. 2.3 Logistische Sichtweisen im Rahmen der digitalen Logistikplanung

- Anlieferungsmänge mit Sequenzierung (z. B. JIS-Anlieferung)
- Anlieferungsmänge mit hohem Transportvolumen wie Systeme und Module
- Lieferumfänge mit hoher Variantenvielfalt und logistischer Komplexität
- Neue Lieferstandorte besonders im Rahmen des Global Sourcing
- Lieferumfänge bei denen es beim Vorgängermodell logistische Probleme gab

Hilfreich für die Entscheidung, welche Teile in die Betrachtung der virtuellen Logistik einfließen, kann eine ABC-Analyse sein. Häufig binden diejenigen Teile mit dem größten Jahresverbrauchswert auch die meisten Logistikressourcen. Planungsfokus bilden A- und B-Teile mit hohen bzw. mittleren Jahresverbrauchswerten. Allerdings können auch geringwertigere Teile (C-Teile) durchaus enorme Folgekosten durch Fehl- oder Falschliefungen in der Serie verursachen, was im Vorfeld aufgrund von Erfahrungswerten im Planungsprozess berücksichtigt werden muss. Ein Schritt zur Reduzierung des logistischen Planungsaufwandes ist dabei die Verwendung eines Teilefamilienkonzeptes (vgl. [Abb. 2.4](#)).

Hierbei werden physisch ähnliche Teile (Geometrie, Abmessung und Gewichte) mit gleichen Funktionen, dem gleichen Bedarfsort sowie identischen logistischen Abläufen bei der Anlieferung, beim Umschlag und bei der Bereitstellung zu Planungseinheiten – den logistischen Teilefamilien – zusammengefasst (Klug u. Gmeiner 2003, S. 74). Alle technischen Varianten sowie Farbvarianten eines Teileumfangs (z. B. Instrumententafel)

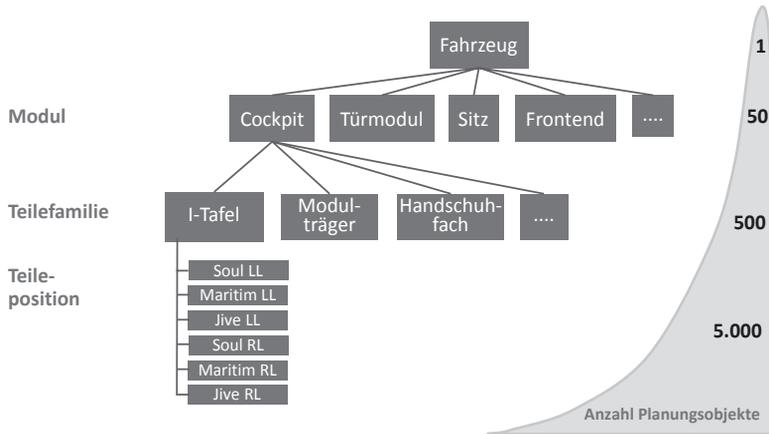


Abb. 2.4 Bildung logistischer Teilfamilien

die im Fahrzeug verbaut werden (z. B. im Cockpit) können dann unter einer Teilfamilie geplant werden. Logistische Abläufe und Bereitstellungsort sind dabei identisch. Die Konzentration auf Teilfamilien ermöglicht eine Komplexitätsreduzierung, die eine wirtschaftliche Logistikplanung erst möglich macht, da sich der Planungsaufwand üblicherweise um den Faktor zehn reduzieren lässt. Der Detaillierungsgrad der einzelnen logistischen Teilfamilien kann dann dem Planungsstand beliebig angepasst werden.

Parallel mit der Befüllung der technischen Stückliste durch die Entwicklung und Konstruktion wird die Verknüpfung mit den logistischen Teilfamilien hergestellt. Der zunächst isolierte Aufbau einer Logistikstückliste auf Teilfamilienbasis ermöglicht es, vor der Befüllung der technischen Stückliste die Planung zu starten, und unabhängig vom Planungsfortschritt der technischen Entwicklung zu agieren. Somit können Planungsaufgaben parallelisiert und letztendlich Planungszeiten verkürzt werden. Durch die Verknüpfung der technischen mit der logistischen Stückliste in Kombination mit einem Workflow-System wird gewährleistet, dass die Logistikplanung immer auf den aktuellsten Stand der technischen Teileposition in der Stückliste zugreift und automatisiert über technische Änderungen informiert wird. Bei der hohen Änderungshäufigkeit innerhalb der Produktentstehungsphase können Aufwendungen für die Datenbeschaffung und Datenpflege erheblich reduziert werden. Voraussetzung für die datentechnische Verknüpfung ist eine entsprechende Infrastruktur (z. B. die Schnittstellen zum PDM-System) zur Gewinnung und Bereitstellung planungsrelevanter Daten.

2.2.2 Logistische Prozesssicht

Nach der logistischen Produktbeschreibung folgt die Definition der Logistikprozesse. Anliefer-, Umschlags- und Bereitstellungsabläufe werden zunächst in Form von

statischen Prozessketten abgebildet (vgl. [Abschn. 2.3.3](#)). Hierzu dienen vordefinierte Standardlogistikketten, die den Großteil aller relevanten Planungsfälle abdecken. Der Logistikplaner kann hieraus Prozessabläufe wählen, die er für sein spezifisches Planungsproblem jeweils modifiziert. Ziel der Standardisierung von Logistikketten ist es, die Vielzahl möglicher Prozesse auf eine sinnvolle und überschaubare Anzahl zu reduzieren. Gleichzeitig sollen Standards bei den Logistikprozessen im Unternehmen geschaffen werden, welche für alle Beteiligten transparent sind (vgl. [Abschn. 3.6.3](#)). Durch die Reduzierung der Prozessalternativen wird der Planungsaufwand erheblich reduziert. Die zunächst allgemeinen Logistikaktivitäten (z. B. Transport, Lagerung, Kommissionierung, Bereitstellung) müssen über die Parametrierung an den individuellen Planungsfall angepasst werden. Prinzipiell gilt dies für alle Planungsobjekte (Produkt, Prozess, Ressourcen), die mithilfe einer Datenparametrierung genauer spezifiziert und auf den konkreten Versorgungsprozess ausgerichtet werden. Ein Beispiel für eine Parametrierung zeigt [Abb. 2.5](#), bei der alle bisher im Planungsprozess bekannten Daten eines Spezialbehälters erfasst werden. Analog dem Planungsstand wird die Parametrierung Schritt für Schritt erweitert, bis kurz vor SOP alle wichtigen Planungsparameter erfasst wurden und die Daten dann Serienreife erlangt haben.

Field	Value
LT-Nr.	
Ladungsträgerart	Spezial
Ladungsträgertyp	Gestell
Länge innen[mm]	1750
Länge außen[mm]	1800
Breite innen[mm]	1150
Breite außen[mm]	1200
Höhe innen[mm]	950
Höhe außen[mm]	1000
Außenvolumen[m3]	
Behälterplaner	Henschel
Anzahl Teile pro LT	12
Tara[kg]	0
Falthöhe[mm]	0
Stapelfaktor horizontal	0
Stapelfaktor vertikal	0
Stapelfaktor vertikal optimal	0
anlaufkritisch	<input checked="" type="checkbox"/>
Automatische Be-/Entladung	<input type="checkbox"/>
Standardverpackung möglich	<input type="checkbox"/>
Gebinde	<input type="checkbox"/>
Palette	
Anzahl Lager	0
Anzahl je Lage	0
Abdeckplatte	
Weitere Einsatzmodelle	TT
Bestellschlüssel	

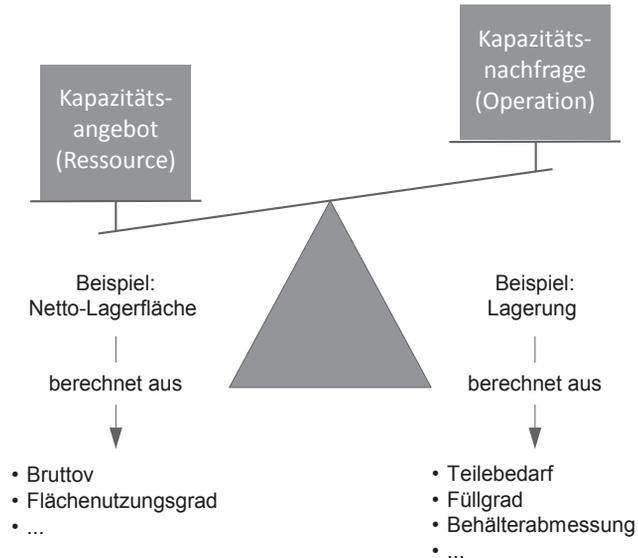
Abb. 2.5 Beispiel Parametereingabe Technische Daten Ladungsträger

Jede einzelne Aktivität kann bei Bedarf wiederum in eine verfeinerte Logistikkette mit mehreren Logistikaktivitäten zerlegt werden. Dieser hierarchische Modellierungsansatz ermöglicht sowohl die Abbildung vereinfachter Logistikketten als auch eine detaillierte Betrachtung von Planungsschwerpunkten in der Feinplanungsphase. Reicht eventuell ein Jahr vor Start-of-Production (SOP) die Abbildung eines externen Transports mit der Angabe von Entfernungen und Frachttäger aus, so kann eine Detaillierung einige Wochen vor SOP durch Angabe von Vor- und Hauptlauf sowie dem Konsolidierungspunkt des Gebietsspediteurs aus Gründen der Frachtoptimierung sinnvoll sein. Aus hierarchischer Modellierungssicht bedeutet dies, dass die ursprünglich ausgewählte Logistikaktivität Transport nochmals verfeinert und auf einer untergeordneten Betrachtungsebene durch zwei Transportaktivitäten (Vor- und Hauptlauf) sowie eine Umschlagsaktivität (Handling im Konsolidierungspunkt) ergänzt wird. Der Detaillierungsgrad der Logistikkette entspricht damit dem jeweiligen Planungsstand und –schwerpunkt mit dem jeweils aktuell besten Wissen aus Sicht der Logistik eines Fahrzeugprojekts.

2.2.3 Logistische Ressourcensicht

Parallel zum Aufbau der Logistikketten erfolgt die Ressourcenplanung. Die Leistung eines Logistikprozesses hängt unmittelbar von der Verfügbarkeit der Ressourcen ab. Logistische Ressourcen stellen alle Arbeitsleistungen der Arbeitskräfte dar, die direkt oder indirekt an der Erstellung logistischer Leistungen mitwirken sowie die Betriebsmittel, die als bewegliche oder unbewegliche technische Mittel dieser Leistungserstellung dienen und Nutzungspotenziale über längere Zeiträume abgeben (Zäpfel u. Piekarz 2000, S. 9). Alle für die Logistik relevanten Ressourcen wie z. B. Behälter, Flächen, Flurförderzeuge, Staplerfahrer werden in Form von Bibliotheken abgebildet und über Verknüpfungen den jeweiligen Logistikaktivitäten zugewiesen. Bibliotheken werden von den jeweiligen Ressourcenplanern (Behälter-, Flächen-, Flurförderzeuge-Planer) aufgebaut und gepflegt. Die Verknüpfung mit den geplanten Logistikketten ermöglicht eine fahrzeugprojektspezifische Ressourcenplanung. Ein Ressourcenmanagement der Logistikkette hat die Aufgabe, die Effizienz der Logistikkette durch ein integriertes Leistungs- und Kostendenken sicherzustellen, die wirtschaftliche Dimensionierung der Kapazitäten zu überprüfen und gegebenenfalls Anpassungsbedarfe der Ressourcen an geänderte Leistungen mit ihren leistungs- und kostenmäßigen Konsequenzen aufzuzeigen (Zäpfel u. Piekarz 2000, S. 9). Hierzu dient ein frühzeitiger Abgleich zwischen Kapazitätsnachfrage und –angebot logistischer Ressourcen. Die Nachfrage ergibt sich aufgrund der logistischen Aktivität (z. B. Flächenbedarf bei der Lagerung eines GLT-Behälters). Dieser Nachfrage muss ein ausreichendes Angebot (z. B. Lagerfläche im montagenahen Blocklager) an logistischen Ressourcen gegenüber stehen (vgl. Abb. 2.6).

Abb. 2.6 Abgleich zwischen Kapazitätsangebot und Kapazitätsnachfrage



Kommt es zu einem Über- bzw. Unterangebot logistischer Ressourcen so muss durch planerische Maßnahmen reagiert werden. Fehlflächen oder Engpässe bei den Transport- und Personalkapazitäten können in einer frühen Planungsphase sichtbar gemacht werden. Maßnahmen zum Kapazitätsaufbau wie etwa die Beschaffung von Behältern oder der Aufbau von Lagerkapazitäten werden angestoßen. Dadurch werden Investitionsabschätzungen und –forderungen der Logistik auf Basis verlässlicher Planungsdaten möglichst frühzeitig in den Simultaneous Engineering-Prozess eingebracht (vgl. [Kap. 4](#)).

Die Beschreibung und Pflege logistischer Ressourcen wird durch die jeweiligen Fachstellen verantwortet (z. B. Behälterdaten über den Behälterplaner). Somit werden einheitliche Beschreibungen und Aktualität der Planungsobjekte gewährleistet. Die Verbindung zwischen Prozess und Ressourcen wird wiederum über eine Verknüpfung hergestellt. Wird also z. B. ein Spezialbehältermaß (Länge, Breite, Höhe) durch den verantwortlichen Behälterplaner geändert, wirkt sich dies unmittelbar auf die geplanten Logistikketten sowie auf die hieraus implizierten Kapazitätsplanungen aus. Wurde der Behälter bereits einem Stellplatz im Palettenregallager zugewiesen, erfolgt eine automatische Information beim Überschreiten der maximalen Einlagerhöhe. Dadurch können automatisiert Plausibilitätsprüfungen vorgenommen werden, die kostspielige Umplanungen beim Serienanlauf verhindern.

2.2.4 Simultane Integration der logistischen Sichtweisen

Durch die integrierte Darstellung aller Planungsobjekte werden die wesentlichen Planungselemente eines Logistikprozesses dargestellt. Die Verknüpfung der logistischen

Teilfamilie mit dem Logistikprozess enthält die Information über die Material- und Informationsflüsse. **Abb. 2.7** zeigt eine angepasste Standardlogistikette, die zunächst aus einer Bibliothek ausgewählt wurde und für die spezielle Teilfamilie *Klimagerät Linkslenker* entsprechend den realen planerischen Gegebenheiten modifiziert wurde. Die logistische Teilfamilie ist mit den technischen Varianten des Klimageräts in der Konstruktionsstückliste verbunden, sodass Änderungen der Konstruktion in der Planungsphase sofort für den Logistikplaner sichtbar werden. Die anschließende Zuordnung der Ressourcen wird über eine Drag & Drop Funktion realisiert, bei der aus einer Ressourcenbibliothek die jeweilige Logistikressource auf die relevante Logistikaktivität gezogen wird. Hierdurch wird angezeigt, dass z. B. ein spezifischer Behälter bei der Lkw-Anlieferung verwendet wird. Die Verknüpfung der Ressourcen mit den einzelnen Logistikaktivitäten innerhalb des Logistikprozesses zeigt den Ressourcenbedarf und seine Entstehung auf. Durch die gleichzeitige Berücksichtigung aller drei Sichtweisen ergibt sich ein Logistikplanungsmodell, welches das reale Planungsproblem strukturähnlich widerspiegelt.

Die Strukturähnlichkeit zwischen Realität und Planungsmodell ermöglicht eine hohe Planungsqualität bei gleichzeitiger Reduzierung des Planungsaufwands. Der Einsatz virtueller Planungstechniken in der Logistikplanung vereinfacht und beschleunigt den Planungsprozess obwohl die Anzahl an Modellreihen und -typen welche im Rahmen des PEP beplant werden müssen in den letzten Jahren laufend gestiegen ist.

Darüber hinaus bildet die digitale Logistik einen wichtigen Integrationskern für alle weiteren Planungsprojekte der digitalen Fabrik (Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei, Montage). Die traditionelle Aufgabe der Logistik als Bindeglied wertschöpfender Prozesse in der Produktherstellungsphase erweitert sich im Rahmen der virtuellen Logistikplanung zum Bindeglied aller virtuellen Planungsprozesse.

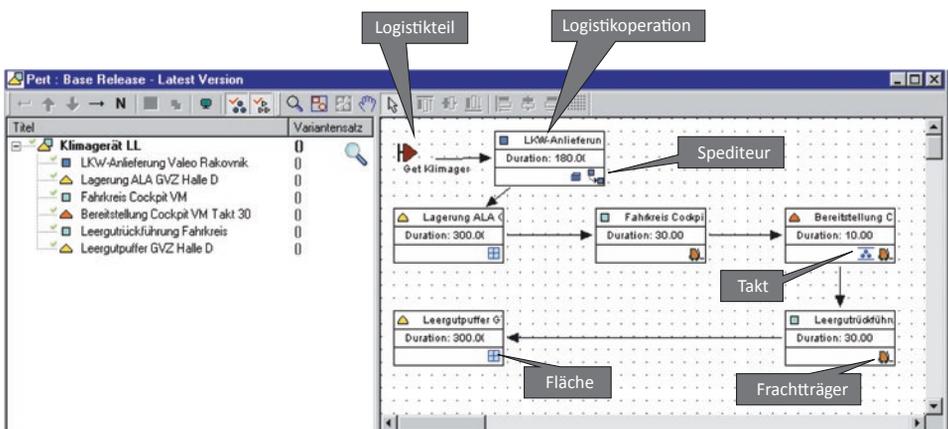


Abb. 2.7 Beispiel einer geplanten Logistikette

2.3 Planungssysteme der digitalen Logistik

2.3.1 Zyklus logistischer Modellbildung

Bevor auf die einzelnen Planungsansätze näher eingegangen wird, soll zunächst die allgemeingültige Vorgehensweise bei der Modellbildung eines logistischen Systems dargestellt werden. Dieser Modellbildungszyklus gilt allgemein und unabhängig vom spezifisch eingesetzten Modell (vgl. Abb. 2.8).

Das Ziel jedes Logistikmodells ist die vereinfachte Abbildung komplexer Logistiksysteme, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Realität rückübertragbar sind. Ausgangspunkt der digitalen Logistikplanung sind alle Material- und Informationsflüsse welche für das Neufahrzeug geplant werden müssen. Diese komplexen Netzwerkstrukturen gilt es in einem geeigneten Modell abzubilden (Klug 2000b, S. 45).

Generell wird das geplante Logistiksystem durch Abstraktion und Idealisierung vereinfacht. Bei der Abstraktion werden reale Elemente, Beziehungen und Attribute weggelassen,

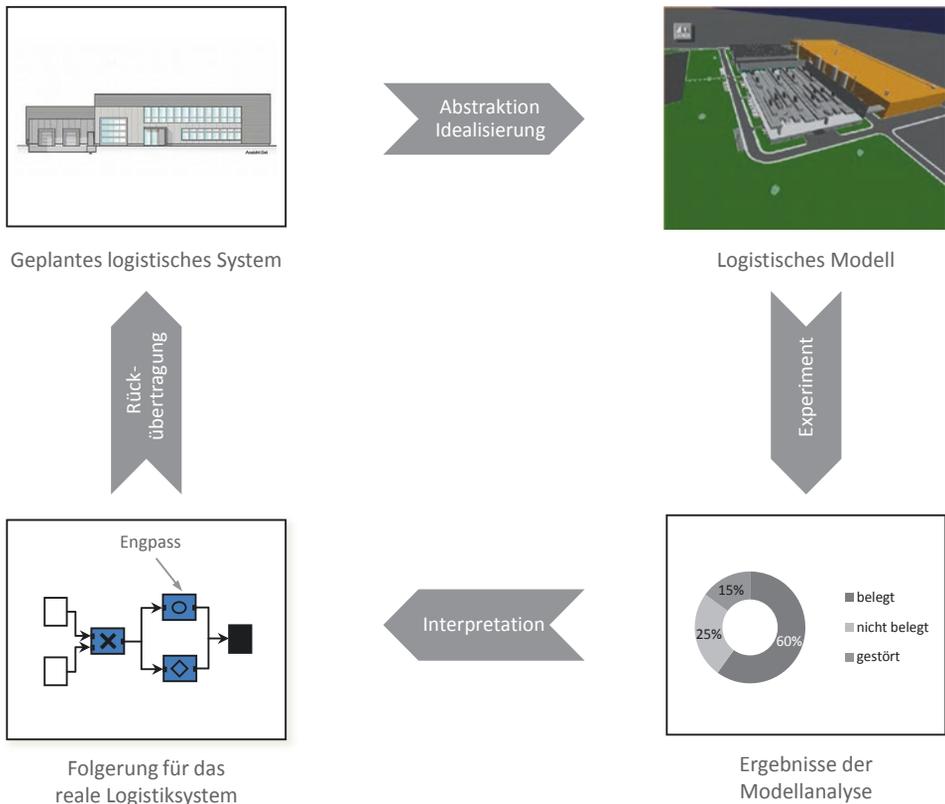


Abb. 2.8 Der logistische Modellbildungszyklus

um sich auf die wesentlichen Systembestandteile zu konzentrieren. Bei der Idealisierung hingegen werden diese Bestandteile zwar im Modell abgebildet allerdings in vereinfachter Form. So werden beispielsweise bei der Simulation einer Endmontagelinie nicht alle Teilepositionen die im Fahrzeug verbaut werden abgebildet. Diese Abstraktion führt dazu, dass das eingesetzte Simulationsmodell noch überschaubar und steuerbar bleibt. Gleichzeitig wird das reale Bauteil durch Idealisierung vereinfacht in einer softwarespezifischen Komponente abgebildet ohne etwa die geometrischen Abmessungen genauer im Modell darzustellen. Bei beiden Vorgehensweisen ist es zunächst nötig zu entscheiden welche Systembestandteile abgebildet bzw. in welcher Weise vereinfacht werden. Prinzipiell gilt das Pareto-Prinzip nachdem ein geringer Anteil der Material- und Informationsflüsse bereits wesentlich die Funktionsweise des Logistikmodells charakterisiert. Welche konkrete Auswahlentscheidung getroffen wird, kann allerdings nur im Einzelfall und immer zielorientiert erfolgen.

Während des gesamten Modellbildungszyklus besteht die Gefahr, dass Übertragungsfehler auftreten, die Ergebnisse verfälschen und zu Fehlentscheidungen führen (Klug 2000a, S. 94). Um dies zu verhindern, wird der gesamte logistische Modellbildungszyklus durch einen Verifizierungs- und Validierungsprozess begleitet (Chung 2004, S. 160). Bei der Verifizierung geht es um die Überprüfung der Fehlerhaftigkeit eines Modells. Die formale Verifikation prüft die Korrektheit des Modells und zeigt auf, ob das Logistikmodell für alle zulässigen Eingangsdaten korrekte Ergebnisse liefert (Wagenitz 2007, S. 166). So kann bei Simulationsmodellen durch den Einsatz der Animation erkannt werden, wenn Planungssachverhalte falsch abgebildet wurden (wie z. B. die typenspezifische Verteilung von Fahrzeugen durch Verschiebewagen auf die Arbeitsstationen im Lack-Finish). Ein verifiziertes Modell muss allerdings noch nicht valide sein. Daher wird in der Validierung überprüft, ob das Modell diejenigen zu untersuchenden Sachverhalte, Beziehungen und Strukturen abbildet, welche in der Realität entscheidend für die Lösungsfindung sind. Im Rahmen der Validierung untersucht man im wesentlichen die Frage, inwieweit das Modell für die Planung des relevanten Logistiksystems geeignet ist bzw. ob Lösungsvorschläge, die das Modellexperiment geliefert hat, zur Lösung des Planungsproblems herangezogen werden können (Homburg 2000, S. 39). Eine wichtige Voraussetzung für die Validierung eines Modells ist die genaue Kenntnis des späteren Verwendungszwecks (Wagenitz 2007, S. 167). Die Validierung wird häufig auf Basis eines Vergleichs zwischen den Modellergebnissen mit den Realdaten realisiert. Eine Validierung im Rahmen des Produktentstehungsprozesses bereitet besondere Schwierigkeit, da in dieser frühen Phase ein logistisches Realsystem zu Vergleichszwecken noch nicht vorliegt. Eine Lösungsmöglichkeit bietet der Vergleich mit logistischen Vorgängersystemen des aktuellen Fahrzeugprogramms, von denen Leistungsdaten vorhanden sind. Ein erfolgsentscheidendes Kriterium zur Realisierung valider Modelle ist die Strukturähnlichkeit zwischen Realität und Modell. Hierbei gilt, dass sich planungsrelevante Objekte und Strukturen der Realität im Modell wiederfinden. Eine objektorientierte Abbildung aller entscheidungsrelevanten Objekte und Strukturen der Realität auch im Modell wird angestrebt.

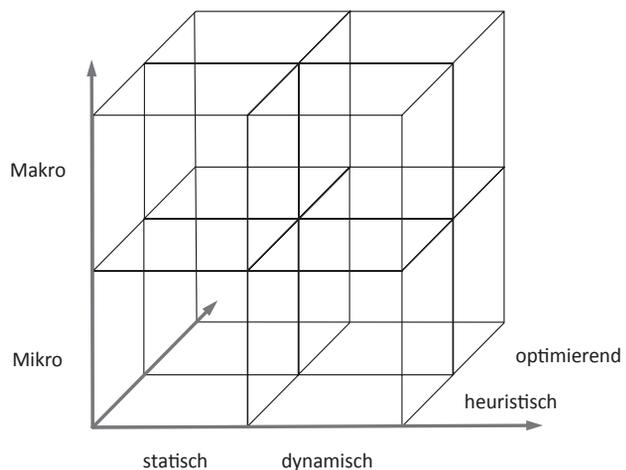
Wurde ein verifiziertes und valides Modell generiert kann mit der Experimentierphase begonnen werden. Dabei werden unterschiedliche Planungsalternativen generiert, um hieraus die jeweils beste Alternative auszuwählen. Je nach eingesetztem Planungsmodell kann es sich um analytisch optimale bzw. um heuristisch suboptimale Lösungen handeln (vgl. [Abschn. 2.3.4](#)). Nach der Durchführung der Experimente stehen die Leistungs- und Kostendaten über die gewählten Betrachtungszeiträume zur Verfügung. Die Ergebnisse verschiedener Planungsläufe müssen jeweils datentechnisch aufbereitet und durch den Logistikplaner interpretiert werden. Anschließend werden die durch die Modelluntersuchung gewonnenen Erkenntnisse auf die Realität transferiert. Dabei gilt es die durch statistische Auswertungen und Interpretationen gewonnenen Ergebnisse für eine zielorientierte Veränderung der betreffenden Planungsparameter zu nutzen. Sowohl die Ergebnisinterpretation als auch die Rückübertragung auf den realen Planungsfall kann immer nur zielorientiert und unter Berücksichtigung der Modellvereinfachung durchgeführt werden. Eine ungefilterte Übertragung der Modellergebnisse führt unweigerlich zu Fehlentscheidungen und zu Fehlplanungen. Aufgrund der Komplexität des Planungsproblems wird der Zyklus der Modellbildung mehrmals durchlaufen bis ein brauchbares Modell generiert wurde. Die hohe Änderungsdynamik im Rahmen des PEP führt zu einer ständigen Anpassung der Modellparameter was häufig eine automatisierte Erfassung der Daten nötig macht.

Welches konkrete logistische Planungssystem aus der Vielzahl in der Praxis vorherrschender Modelltypen eingesetzt wird, hängt sehr stark von der Zielsetzung und der Projektphase ab. Prinzipiell lassen sich folgende Betrachtungsebenen und Differenzierungsmerkmale logistischer Modelle unterscheiden (vgl. [Abb. 2.9](#)).

Detaillierungs- und Abstraktionsgrad

In welchem Detaillierungsgrad sollen die logistischen Strukturen, Prozesse und Ressourcen im Modell abgebildet werden? Dies führt zu einem hierarchischen Modellansatz, der

Abb. 2.9 Auswahlwürfel logistischer Modelle im PEP



vom detaillierten Mikromodell über das gröbere Mesomodell bis hin zum allgemein und stark abstrahierenden Makromodell reicht.

Berücksichtigung des Zeitverhaltens

Inwieweit soll das dynamische Zusammenspiel der einzelnen Elemente, Beziehungen und Attribute eines Logistiksystems im Modell Berücksichtigung finden? Diese Betrachtung führt zur Unterscheidung zwischen den einfachen statischen Modellen ohne Zeitbetrachtung und den aufwendigeren dynamischen Simulationsmodellen mit Zeitbetrachtung.

Optimalitätsanspruch

Steht für das jeweilige Planungsproblem ein analytisch exakter Optimierungsalgorithmus zur Verfügung bzw. müssen heuristische Planungsmodelle eingesetzt werden, die zu einem suboptimalen Ergebnis führen? Deshalb können logistische Modelle nach heuristischen und optimierenden Modellen differenziert werden.

2.3.2 Makro- versus Mikro-Logistikmodelle

Um eine strukturierte Planung zu ermöglichen ist es heute nötig Modelle hierarchisiert aufzubauen. Prinzipiell gilt der Grundsatz vom Groben zum Feinen zu planen, was der systemischen Struktur einer Problemlösung entspricht. Analog dem Planungshorizonttheorem, nachdem die Prognosegenauigkeit mit zunehmendem Planungshorizont sinkt, ist eine Modellierung mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden auf Makro-, Meso- und Mikroebene erforderlich. Einer der Hauptvorteile hierarchischer Logistikmodelle ist die Möglichkeit zunächst logistische Grobmodelle aufzubauen, die dann im Laufe des Produktentstehungsprozesses weiter verfeinert werden. Hierdurch entsteht ein organisches Modell welches sich dem aktuellen Planungsstand anpasst und jeweils das gerade beste logistische Wissen innerhalb der Planungsphase darstellt. Umfang und Aussagekraft des Logistikmodells wachsen mit fortschreitendem Planungsprozess. Somit werden Makromodelle mit wachsender Datengrundlage und mit zunehmender Spezifizierung der Planungsfragen in verfeinerte Mikromodelle überführt. Ein weiterer Vorteil gestufter Modellarchitekturen ist, dass der Detaillierungsgrad innerhalb des Modells variieren kann. Dies führt dazu, dass Bereiche mit hoher logistischer Relevanz (z. B. Materialbereitstellung) detaillierter im Modell abgebildet werden, wohingegen logistikunkritische Bereiche (z. B. Leergutplatz) auf der abstrakteren Meso- bzw. Makroebene dargestellt werden. Gleichzeitig bietet ein mehrschichtiges Modell die Möglichkeit, das komplexe Gesamtplanungsproblem in überschaubare Teilaufgaben zu zerlegen und diese separat zu betrachten.

Derzeit ist die angesprochene flexible Nutzung ein und des gleichen Modells auf den unterschiedlichen Planungsebenen der Logistik noch eine Vision. Der Regelfall ist der Einsatz unterschiedlicher Modelle gemäß den Planungsphasen und Detaillierungsgraden, welche zukünftig weiter integriert werden müssen.

2.3.2.1 Makromodelle der Logistik

Makromodelle der Logistik bilden die Material- und Informationsflussbeziehungen im Rahmen eines Supply Network Modells ab. Ziel ist nicht die Einzeloptimierung z. B. eines Lagerstandortes sondern die Abbildung des gesamten logistischen Netzwerkes um die strukturellen Bedingungen und der sich daraus abgeleiteten Leistungsfähigkeit zu untersuchen. Der Detaillierungsgrad eines Makromodells ist gering, sodass diese bereits sehr früh im Rahmen des Planungsprozesses eingesetzt werden können. Durch die umfassende Betrachtung des Planungsproblems wird vermieden, dass Lösungen generiert werden, die sich auf lokale und zeitlich begrenzte Optimierungsversuche beschränken. Sinnvolle Maßnahmen müssen vernetzt und systemisch betrachtet werden, um langfristige Erfolge zu erzielen. Typische Fragestellungen im Rahmen eines Logistics Network Managements sind:

- Optimale Standorte der Lieferanten, Werke, Lager, Händler
- Wirtschaftliche Kapazitätsauslegung der Standorte im Netzwerk
- Analyse der Steuerungsstrategie innerhalb des Netzwerkes (Push-Pull-Mix)
- Bestimmung der dynamischen Engpässe im System
- Zusammenspiel der Einzelnetzwerke im Kundenauftragsprozess

Modellbeispiel: Planung Kundenauftragsprozess

Aufgabe ist die Analyse des Kundenauftragsprozesses (Order-to-Delivery) von der Kundenbestellung bis zur Fahrzeugübergabe (vgl. [Abschn. 9.2](#)). Hierzu müssen netzwerkübergreifende Maßnahmen zur Prozessoptimierung erarbeitet werden. Um eine umfassende Modellierung der logistischen Prozesse innerhalb des Auftragsbearbeitungsprozesses für den Kunden abzubilden, bedarf es des Zusammenspiels verschiedener Einzelmodelle. Folgende Teilmodelle spielen eine Rolle:

- Kundenverhalten von der Bestellung bis zur Fahrzeugauslieferung
- Fahrzeugfertigung über die Gewerke Rohbau, Lack und Montage
- Prognosen hinsichtlich der Auftrags-, Termin- und Kapazitätsentwicklung
- Distributionsstrukturen von der Übergabe des Fahrzeugs durch die Montage bis hin zur Auslieferung beim Fahrzeughändler

In einem übergeordneten Makromodell müssen hierzu der Auftragsabwicklungsprozess sowie die leistungserbringenden Produktions- und Logistiknetzwerke miteinander verbunden werden (Motta et al. 2008, S. 24). Ein Simulationsmodell, das die integrierte Modellierung und Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen in einem Makromodell ermöglicht, ist OTD-NET (Order-to-Delivery Network Simulator). Dieses Modell wurde gemeinsam vom Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik und der deutschen Automobilindustrie entwickelt. OTD-NET ist insbesondere dafür gestaltet innerhalb komplexer logistischer Netzwerke die erforderliche Transparenz hinsichtlich der Wirkzusammenhänge zu schaffen, die es ermöglicht optimale logistische Strukturen zu

planen und zu betreiben. Abgeleitet von der Auftragslast eines Fahrzeugherstellers wird es so möglich, ganzheitliche Modelle von Auftragsabwicklungsprozessen in ihrer Einbettung in logistische Netzwerke zu untersuchen. Das Makromodell verbindet durchgängig die Fahrzeugnachfrage, die beim Händler entsteht, über die Planungsprozesse, die Produktion in den Fahrzeugwerken und bei den Zulieferern bis hin zur Distribution der Fahrzeuge an den Endkunden. Die Flexibilität des Modells wird durch ein objektorientiertes Metamodell erreicht, welches sich um spezifische Objekte erweitern lässt, um unterschiedliche Detaillierungsgrade abzubilden. Im Modell werden die Planungsobjekte Kunde, Händler, OEM und Zulieferer verwendet, die in einer beliebigen Anzahl vorkommen können. Die Modellierung unterschiedlicher Netzwerkszenarien wird erleichtert durch ein Graphical Modelling Environment (GME), welches das OTD-NET Metamodell integriert, den Modellaufbau grafisch unterstützt und gleichzeitig das abgebildete Wertschöpfungsnetzwerk inklusive Parameter visualisiert. Das System ermöglicht es komplexe Simulationsläufe durchzuführen, ohne dass die Anwender explizites Expertenwissen zur Informationstechnologie besitzen müssen (Deiseroth et al. 2008, S. 44 f). Neben der Untersuchung des gesamten Kundenauftragsprozesses können mithilfe von OTD-NET auch Teillogistiknetzwerke untersucht werden. Beispiele sind Untersuchungen über die Distribution von Fertigfahrzeugen, die Möglichkeiten zur Umsetzung von JIS-Konzepten in der Motorenfertigung und die Bewertung eines global verteilten Lieferantennetzwerkes für die Motorenfertigung mit First- und Second-Tier Lieferanten (Wagenitz 2007, S. 186).

2.3.2.2 Mikromodelle der Logistik

Ein Mikromodell bildet ein Element bzw. ein kleineres Teilsystem eines übergeordneten Logistiksystems detailliert ab. Hierzu wird hohe Detailkenntnis über den Untersuchungsbereich benötigt bei zusätzlich hohem Modellierungsaufwand, was eher für einen späteren Einsatz der Modelle im Rahmen des Planungsprozesses spricht. Beispiele für Detailplanungen von Logistikprozessen mithilfe von Mikrologistikmodellen sind:

- Planung der optimalen Liefer- und Bestellzyklen
- Bestimmung optimaler Bestandsparameter (Mindestbestand, Zielbestand, Sicherheitsbestand)
- Ermittlung der wirtschaftlichen Losgröße
- Planung einer Vorlagerzone
- Planung der Materialanlieferung für einen Lieferumfang

Die Ergebnisse der Mikromodelle können wiederum im Rahmen eines höher aggregierten Makromodells Verwendung finden. Dies ermöglicht die Mehrfachverwendung der Ergebnisse einer Teilplanung in der Gesamtplanung. Aus einer Materialflussbetrachtung innerhalb eines Bereitstellungstaktes können beispielsweise Ablaufsimulationen für Bandabschnitte, Montagelinien bzw. ganzer Gewerke entstehen.

Modellbeispiel: Planung Materialschnellumschlag

Der Materialschnellumschlag (MSU) dient der Materialanlieferung und dem Materialumschlag von transportintensiven aber variantenarmen Modulen und Systemen bei Ausschaltung der traditionellen Logistikstufe Lager und der weitestgehenden Reduktion des innerbetrieblichen Transports. Dabei handelt es sich um eine verbrauchsgesteuerte Direktanlieferung (vgl. [Abschn. 8.3.3](#)). Folgende Problembereiche konnten bei der Analyse und Planung des logistischen Mikrosystems MSU bei einem Automobilhersteller identifiziert werden (Klug 2000c, S. 70 ff):

- Das logistische System MSU wird durch eine Vielzahl von Störgrößen beeinflusst (LKW-Ausfall bzw. LKW-Verspätung, Fehlteile, etc.).
- Die Planung des logistischen Systems erfordert die simultane Berücksichtigung einer Vielzahl von Parametern (wie z. B. Min-/Max-Bestand, Abruf- und Vorlaufzeit, Schichtpläne, Verbraurate, etc.).
- Trotz geringer Variantenanzahl ist die Verbrauchshäufigkeit bei Exoten schwankend, sodass die Planung meist auf Engpassteile ausgelegt werden muss (Bracht u. Lüddecke 2013, S. 169 ff).

Die wichtige Frage der Bestandsentwicklung eines MSU-Systems wird in der Praxis durch einfaches Aggregieren der Tagesanliefer- bzw. -verbrauchsmengen beantwortet. Problem hierbei ist neben der Annahme eines deterministischen Systems (z. B. keine Schwankungen bei den Verbrauchswerten) die diskrete, durchschnittliche Betrachtung auf Tagesbasis. Zwar reicht in Summe die Anliefermenge und der Tagesverbrauchswert für eine Deckung des Sicherheitsbestandes, eine kontinuierliche Betrachtung im Schichtverlauf kann allerdings zu völlig anderen Ergebnissen führen. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn die Materialanlieferung erst in der Spätschicht erfolgt, sodass es bei Verbrauchsspitzen in der Frühschicht zu einem Unterschreiten des minimalen Bestandes kommen kann. Zur Überwindung des aufgeführten Problems kann ein simulationsgestütztes Planungsmodell eingesetzt werden, das in der Lage ist eine simultane und kontinuierliche Betrachtung des Materialschnellumschlags durchzuführen. Mithilfe eines einfachen Mikromodells konnten eine Vielzahl unterschiedlichster Fragestellungen bei der Planung des Logistiksystems beantwortet werden. Trotz des eingeschränkten Teilespektrums (nur sechs Varianten) macht es die Dynamik und Simultanität dieses Anwendungsbeispiels erforderlich ein simulatives Planungsmodell einzusetzen.

2.3.3 Statische versus dynamische Logistikmodelle

2.3.3.1 Statische Logistikmodelle

Statische Logistikmodelle sind dadurch gekennzeichnet, dass sie die Unterschiede im zeitlichen Ablauf der Logistikprozesse sowie das zeitliche Zusammenwirken der Logistikelemente nicht berücksichtigen, wodurch sie einfach und übersichtlich bleiben (Klug

2000a, S. 100 f). Hierdurch bilden sie die Realität logistischer Abläufe allerdings nur näherungsweise ab. Ein Problem der Verwendung statischer Logistikmodelle liegt in der Tatsache, dass die hohe Dynamik der Einflussgrößen das Planungsergebnis oft schon mit dessen Bekanntwerden hinfällig werden lässt, woraus sich die Forderung nach einer permanenten, dynamischen Logistikplanung erhebt (Wiendahl et al. 1996, S. 26). Daher sind zeitpunktuelle statische Betrachtungen in einem dynamischen Umfeld in ihrer Aussagefähigkeit beschränkt. Es fehlt in der statischen Sicht die Möglichkeit, Auswirkungen von stochastischen Einflussgrößen wie Störungen von Transport- oder Lagermittel und das Systemverhalten unter Spitzenlast hinsichtlich der Ressourcenauslastungen und der Versorgungssicherheit betrachten zu können (Bracht u. Rooks 2008, S. 441). Erfolgt keine dynamische Absicherung des Logistikmodells werden vielfach aus Gründen der planerischen Vorsicht zusätzliche Reserven eingeplant.

Modellbeispiel: Planung Materialanlieferprozess

Statische Logistikketten zur Analyse logistischer Prozesse in der frühen Planungsphase des Produktentstehungsprozesses stellen das Standardmodell der Logistikplanung vor SOP dar (vgl. Abschn. 4.4.2). Dabei kann die Beschreibung der Materialflüsse mithilfe mehrstufiger Aktivitätsketten realisiert werden (vgl. Abb. 2.10). Die Aktivitäten entsprechen den logistischen Grundfunktionen Transport, Umschlag und Lagerung, welche fallspezifisch zu einem Gesamtprozess kombiniert werden. Eine hierarchische Modellbildung ist möglich. Entsprechend eines Top-Down Ansatzes wird zunächst eine grobe Darstellung der Logistikprozesse erstellt, welche dann im Laufe des PEP verfeinert und bei Bedarf dynamisiert werden.

2.3.3.2 Dynamische Logistikmodelle

Dynamische Modelle berücksichtigen die Veränderung der Modellgrößen im Zeitablauf. Der Vorteil dynamischer gegenüber statischer Logistikmodelle liegt in den umfangreicheren sowie genaueren Planungsergebnissen, was mit der Verwendung genauerer Eingangsinformationen und einem höheren Modellierungsaufwand verbunden ist.

Um die Vielzahl der Konsequenzen im Produktentstehungsprozess besser abschätzen zu können, wird vermehrt auf den Einsatz dynamischer Simulationsmodelle gesetzt. Die komplexe Dynamik logistischer Systeme kann mittels der Simulation besser untersucht werden. Simulationen werden häufig auch dann eingesetzt, wenn keine geschlossene Lösung eines Problems auf analytische Art und Weise angegeben werden kann (Kruse u. Hoferichter 2005, S. 29). Die Simulation hat sich zu einem essentiellen Planungswerkzeug entwickelt, ohne die objektive Analyseergebnisse kaum noch möglich sind. Erst durch die



Abb. 2.10 Beispiel einer statischen Logistikkette für einen zweistufigen Anlieferprozess

Erfassung dynamischer Wirkungszusammenhänge in einem Modell können reale Gegebenheiten umfassend beschrieben werden. Die Simulation unterstützt bei der Suche nach der besten Parametereinstellung. Simulationsmodelle vermitteln das Wissen über die kritischen Grenzen der Parameter, ermöglichen eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung über den Gesamtprozess und geben auf Basis von Wenn-Dann-Szenarien Handlungsanweisungen für das Logistikmanagement (Behres u. Wortmann 2003, S. 63). Simulationsmodelle werden meist Top-Down eingesetzt. Hierbei werden unterschiedliche Betrachtungsebenen mit unterschiedlichen Abstraktionsgraden verfolgt. Folgendes Beispiel zeigt fünf unterschiedliche Betrachtungsebenen von Simulationsmodellen (Fecht 2005, S. 85):

- Strategische Simulation auf Konzernebene (Werkverbund, Lieferketten)
- Konzeptionelle Simulation innerhalb der Produktionsstätte (Zusammenwirken der Gewerke Rohbau, Lack und Montage)
- Operative Simulation zur Fertigungs- und Logistikstruktur
- Geometriebezogene Simulation (z. B. Kollisionsbetrachtungen in einer Roboterzelle)
- Prozessbezogene Simulation (z. B. Untersuchungen der Fügeprozesse im Rohbau)

Modellbeispiel: Anlaufsimulation

Ein besonders kritischer Prozess der Automobillogistik ist der Übergang zwischen Produktentstehungs- sowie Produktherstellungsphase beim Anlauf eines neuen Fahrzeuges. Diese sog. Ramp-Up Phase bezeichnet den Zeitraum zwischen Job Nummer 1 und dem Erreichen der geplanten Serienproduktionsmenge (vgl. Abb. 5.10). Die besondere Herausforderung liegt im schnellen Anlauf (Fast Ramp-Up) und dem damit verbundenen Zeitmanagement bei gleichzeitiger Beherrschung der steigenden organisatorischen Komplexität. Nicht erreichte Anlaufziele führen zu Verzögerungen in der Markteinführung und Marktpenetration, was folglich Marktanteils- und auch Umsatzverluste bedeutet. Ein schneller und stabiler Serienanlauf ist ein kritischer Erfolgsfaktor. Kurz nach Produktionsstart soll möglichst schnell die Kammlinie erreicht werden. Die sich hieraus ergebenden steilen Anlaufkurven stellen eine große Herausforderung für die Logistik dar.

Mithilfe von dynamischen Simulationsmodellen können verschiedene Anlaufszenarien getestet werden, um anschließend die optimale Alternative auszuwählen. Damit erfolgt eine Absicherung und Unterstützung des Anlaufprozesses hinsichtlich Stückzahl, Liefertermintreue und Lieferzeit. Häufiger Schwerpunkt der Untersuchung ist eine Sensitivitätsuntersuchung der Einflussparameter sowie der sich hieraus ergebenden Anforderungen bei der Umsetzung. Beispiele für Untersuchungsparameter in diesem Umfeld sind (Coordes u. Wortmann 2001, S. 62):

- Variation des Fahrzeugprogramms (Modellmix auf der Montagelinie)
- Variation der Produkteigenschaften (Ausstattungsvarianten)
- Variation des geplanten und tatsächlichen Teilebedarfs
- Variation der Anlagen- und Personalkapazitäten
- Anhebung der Anlaufkurve bei unveränderten Rahmenbedingungen

- Variation von Lieferfähigkeit und Verfügbarkeit
- Einfluss von Fertigstellungsraten, -zeiten, -kapazitäten und die Verfügbarkeit der Teile

Weitere Untersuchungsbereiche sind die Prämissen der Planungsannahmen für den Anlaufprozess sowie mögliche Engpassituationen. Sukzessiv steigende Verfügbarkeiten der Anlagen, verbesserte Teilequalität, Reduzierung der Taktzeit, reduzierte Nacharbeit sind Beispiele für dynamische Größen, welche im Zusammenspiel während der Anlaufphase auf ihre Durchsatzrelevanz hin untersucht werden.

Beim Modellaufbau müssen neben dem reinen Fahrzeugfluss auch die Informationsflüsse und der Teilefluss Berücksichtigung finden. Darüber hinaus wird gewerkeübergreifend modelliert, sodass sich die Auswirkungen von Veränderungen in einem Fertigungsbereich auf die Anlaufkurve nachvollziehen lassen (Coordes u. Spieckermann 2001, S. 86 f).

2.3.4 Heuristische versus optimierende Logistikmodelle

2.3.4.1 Heuristische Logistikmodelle

Heuristische Logistikmodelle schränken zur Reduzierung des Modellierungs- und Untersuchungsaufwandes die Anzahl der möglichen Lösungen ein ohne eine Garantie dafür zu bieten, dass in den ausgeschlossenen Teilen des Lösungsraums nicht die eigentlich optimale Lösung zu finden ist (Zimmermann 2005, S. 273). Vorteil ist ein reduzierter Planungsaufwand bei universellen Einsatzmöglichkeiten. Heuristische Modelle liefern zulässige Lösungen des Logistikproblems bei verkürzter Planungszeit. Die für den praktischen Einsatz notwendigen Restriktionen werden besser berücksichtigt. Allerdings liefern heuristische Logistikmodelle lediglich Näherungslösungen, deren Abweichung vom Optimum nicht einfach und nicht mit letzter Sicherheit nachzuweisen ist (Arnold u. Furmans 2007, S. 294).

Modellbeispiel: Planung Ersatzteillager

Ein Beispiel für ein heuristisches Logistikmodell ist die Neuplanung eines Ersatzteil-Distributionszentrums mithilfe der Materialflusssimulation. Dabei geht es um die Untersuchung und Auswahl geeigneter Layout-Entwürfe sowie Steuerungsstrategien im Lager- und Auftragsfluss für Ersatzteile (Gutenschwager 2005, S. 68 ff). Das hier dargestellte Einsatzbeispiel wurde über das gesamte Planungsprojekt beginnend von der Alternativenplanung über die Feinplanung bis hin zur Realisierung durch eine umfassende Simulationsstudie begleitet. Das dabei eingesetzte Simulationsmodell wurde in Teilmodelle zerlegt und in die Module Fördertechnik, Lagersystem, Packbereich sowie Wareneingang aufgeteilt. Die jeweiligen Teilmodelle wurden sukzessiv entwickelt und sind einzeln lauffähig, können aber auch über eine einfache Parametrisierung per Dialogoberfläche in Experimenten kombiniert werden.

Beim Modul Fördertechnik wurde untersucht, welche der möglichen Flurförderzeugtypen (Tragkettenförderer, Bodentransportsystem, Elektropalettenbahn) unter den Rahmenbedingungen die beste Alternative darstellt. Durch Variation steuerungstechnischer Maßnahmen konnte die Transportleistung gesteigert werden. In einer zweiten Simulationsphase wurden die Logistikstrategie insbesondere bezüglich der Einlagerung und Kommissionierung sowie das Zusammenspiel von Pack- und Kommissionierbereich untersucht, die durch die Fördertechnik miteinander verbunden sind. Die Simulation unterstützt auch die Planungsentscheidung der Lagerdimensionierung und -verwaltungsstrategie. Prinzipiell zeigt sich, dass sehr komplexe Logistikmodelle nicht durch den Einsatz analytischer Optimierungsmodelle gelöst werden können, womit meist auf die suboptimale heuristische Alternative der Materialflusssimulation zurückgegriffen werden muss.

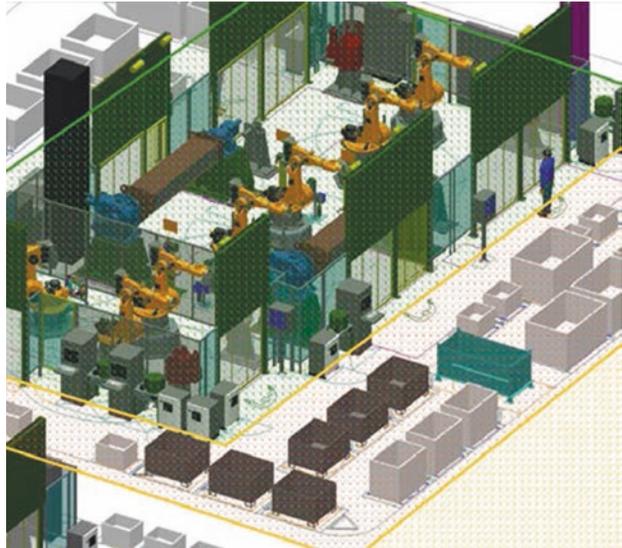
2.3.4.2 Optimierende Logistikmodelle

Beim optimierenden Logistikmodell wird die Lösungsgenerierung mithilfe von mathematischen analytischen Verfahren unterstützt. Es wird eine eindeutige und unter den gegebenen Prämissen auch optimale Lösung generiert, sofern diese existiert. Nachteilig ist die Berücksichtigung der oft sehr eingeschränkten Anwendungsprämissen, die das Entscheidungsproblem erfüllen muss, um die analytischen Lösungsalgorithmen überhaupt einsetzen zu können.

Modellbeispiel: Planung Materialanstellung am Montageband

Die Aufgabe der Planung der Materialanstellung am Montageband besteht darin, die räumliche Anordnung der Behälter am Bereitstellungstakt mit den optimalen Materialflussbeziehungen – im Idealfall mit kostenminimaler Anordnung – zu finden (Arnold u. Furmans 2007, S. 289). Bei der Materialbereitstellungsplanung muss eine Verknüpfung der Teile- und Behälterdaten mit dem Arbeitsplan und dem Fahrzeugprogramm hergestellt werden. Hauptziel ist die Reduzierung der Mitarbeiter-Wegezeiten bei gleichzeitiger Beherrschung der Änderungsdynamik, Komplexität und Flexibilität. Bei der Fahrzeugneuplanung kommt es zu einer Änderung der bestehenden Taktabstimmung und folglich zu einer laufenden Anpassung der Teilebereitstellung aus Sicht der Logistik. Mithilfe von Optimierungs-Algorithmen wird die wegoptimierte Anordnung der Behälter am Arbeitsplatz berechnet (vgl. Abb. 2.11). Als Zielfunktion kann eine Entfernungsminimierung zwischen dem Übergabepunkt des Materialbereitstellers und dem Materialanstellort an der Montagelinie herangezogen werden. Eine sinnvolle Gewichtung der bereitgestellten Behälter kann über die Behälterabmessung und die Umschlagsgewichte erfolgen. Darüber hinaus müssen die lokalen räumlichen Restriktionen berücksichtigt werden, wie z. B. Fahr- und Bereitstellungswege, Regalanordnung, bauliche Restriktionen durch lichte Höhen, Bandverläufe und Versorgungsleitungen. Analytische Verfahren zur Layoutplanung, welche eine optimale Lösung generieren, stellen zum Beispiel das Branch & Bound-Verfahren, das Schmittebenen-Verfahren oder Relaxationen dar (Arnold u. Furmans 2007, S. 293).

Abb. 2.11 Digitale Planung einer wegoptimierten Materialanstellung (Quelle: Siemens)



2.4 Konzepte zum Logistik-Datenmanagement

Häufig ist der Aufbau digitaler Logistikplanungsmodelle kombiniert mit einem Projekt zum Logistikdaten-Management. Um eine standardisierte Datenerfassung, –aufbereitung und –vorhaltung zu ermöglichen, bedarf es intelligenter Methoden des Datenmanagements. Gleichzeitig sollen vorhandene Lücken in der Datenverwaltung aufgezeigt und passende Lösungen gefunden werden. Das Ziel eines Logistik-Datenmanagements im Rahmen des Produktentstehungsprozesses ist die Schaffung einer redundanzfreien Datenbasis als integrierte Planungsumgebung aller logistischen Planungsaufgaben. Hierzu sind offene Schnittstellen nötig, die eine Integration bestehender und neuer Systeme ermöglichen. Die Datenintegration im Rahmen eines Logistik-Datenmanagement-Systems garantiert noch nicht, dass die erforderlichen Daten auch zum richtigen Zeitpunkt für den Mitarbeiter zur Verfügung stehen. Daher muss neben der Datenverwaltung auch die Planung, Steuerung und Überwachung der Abläufe gewährleistet sein. Die Basis bilden abgestimmte Planungsprozesse welche durch geeignete Workflow-Systeme unterstützt werden. Sie stellen sicher, dass die Logistikdaten zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Detaillierung und im richtigen Zusammenhang zur Verfügung stehen. Im Idealfall bekommt der zuständige Logistikplaner automatisch die für ihn relevanten Informationen weitergeleitet. Hierdurch werden Änderungen der Logistikplanungsdaten nicht nur dokumentiert, sondern auch zeitnah übermittelt und bereitgestellt.

2.4.1 Logistics Data Warehouse

Der wesentliche Kern einer digitalen Fabrik ist eine gemeinsame Datenbasis aller Anwendungsbereiche (Kühn 2006, S. 1). Parallel mit dem Arbeitsfortschritt der