

UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

SCHRIFTENREIHE PRODUKTIONSTECHNIK

Herausgeber: H. Bley und C. Weber



Band 37

Christian Zenner

**Durchgängiges Variantenmanagement in
der Technischen Produktionsplanung**

LFT

**Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM
Saarbrücken 2006**

Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung

Dissertation zur Erlangung des Grades des
Doktors der Ingenieurwissenschaften
der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät III
- Chemie, Pharmazie, Bio- und Werkstoffwissenschaften -
der Universität des Saarlandes

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Christian Zenner

Tag der Einreichung: 09.08.2006

Tag des Kolloquiums: 20.11.2006

Dekan:	Prof. Dr. Kaspar Hegetschweiler
Vorsitzender:	Prof. Dr. Michael Kröning
1. Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Helmut Bley
2. Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
Akademischer Mitarbeiter:	Dr.-Ing. Nikolay Avgoustinov

Saarbrücken 2006

Christian Zenner

Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung

Universität des Saarlandes
Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 37

Geleitwort der Herausgeber

Die Schriftenreihe Produktionstechnik wird von den Inhabern der Lehrstühle für Konstruktionstechnik/CAD (Prof. Dr.-Ing. C. Weber) und für Fertigungstechnik/CAM (Prof. Dr.-Ing. H. Bley) der Universität des Saarlandes gemeinsam herausgegeben. Zweck der Schriftenreihe ist es, die auf dem Gebiet der Produktionstechnik an der Universität des Saarlandes erarbeiteten Forschungsergebnisse einer breiteren Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen. In der Schriftenreihe erscheinen in erster Linie die an den Lehrstühlen entstandenen Dissertationen. Daneben werden aber auch andere Forschungsberichte, die in den thematischen Rahmen passen und von allgemeinem Interesse sind, in die Schriftenreihe aufgenommen. Die Herausgeber wünschen sich ein reges Interesse an der Schriftenreihe und würden sich freuen, wenn hieraus fruchtbare Dialoge mit Praktikern und Forschern entstünden.

Prof. Dr.-Ing. C. Weber

Prof. Dr.-Ing. H. Bley

© Universität des Saarlandes 2006
Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM
Prof. Dr.-Ing. Helmut Bley
Postfach 15 11 50
D – 66041 Saarbrücken

ISBN 3-930429-66-7
978-3-930429-66-0

ISSN 0945-6244

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM der Universität des Saarlandes.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. Helmut Bley, Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungstechnik/CAM der Universität des Saarlandes, der meine Arbeit stets unterstützt hat und es mir durch die Teilnahme an zahlreichen Konferenzen ermöglicht hat, die Ideen und Ergebnisse meiner Arbeit vor internationalem Fachpublikum zu präsentieren.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München danke ich für sein Interesse an dieser Arbeit und für die Übernahme des Korreferates.

Allen Kolleginnen und Kollegen der Lehrstühle für Fertigungstechnik/CAM und Konstruktionstechnik, die mich während meiner Arbeit an der Universität des Saarlandes begleitet haben, möchte ich an dieser Stelle herzlich für ihre Unterstützung danken. Besonders hervorzuheben sind hierbei Frau Dr.-Ing. Christina Franke (jetzt Robert Bosch GmbH), Herr Dipl.-Ing. Marc Bossmann und Herr cand.-ing. Hartmut Kipper. Herrn Dipl.-Ing. Michael Oberhausen und Herrn Bernd Schmitt danke ich für die kritische Durchsicht der Arbeit sowie für ihre wertvollen Anregungen. Auch Herrn Dipl.-Ing. Christian Köhler und Herrn cand.-ing. Phillip Kross sei an dieser Stelle für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Implementierung des Variantenmanagementkonzepts gedankt.

Für die Unterstützung bei der Erprobung des Variantenmanagementkonzeptes im Rahmen eines Praxisszenarios aus dem Bereich LKW-Rohbau sowie für die Bereitstellung der dazu erforderlichen Daten danke ich Herrn Dr.-Ing. Thomas Bär sowie Herrn Dipl.-Ing. Jens Kiefer von der DaimlerChrysler AG.

Nicht zuletzt möchte ich meiner Familie für die stetige Unterstützung sowohl während des Studiums als auch während meiner Promotion danken.

Saarbrücken, im November 2006

Christian Zenner

Kurzfassung der Arbeit

Die Beherrschung der ständig steigenden Variantenvielfalt sowohl in Bezug auf die Produkte als auch in Bezug auf die Produktion stellt zunehmend den entscheidenden Wettbewerbsfaktor produzierender Unternehmen dar. Dabei kommt vor allem in der Serienproduktion der Technischen Produktionsplanung, der Planung der Produktionseinrichtungen, die eine Brückenfunktion zwischen Produktentwicklung und Produktion einnimmt, eine besondere Bedeutung zu. Gerade in diesem Bereich fehlt es bisher jedoch an geeigneten Methoden und Werkzeugen, um die notwendige Variantenvielfalt innerhalb des Planungsprozesses zu beherrschen. Daher verfolgt diese Arbeit die Zielsetzung, ein durchgängiges Variantenmanagementkonzept für die Technische Produktionsplanung zu erarbeiten, für das neben der Berücksichtigung von Produktvarianten im Besonderen auch Produktionsvarianten, d.h. Varianten von Prozessen und Ressourcen, von Bedeutung sind.

Der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Variantenmanagementansatz basiert auf einem 3-Ebenen-Konzept. Ausgehend von der IT-unabhängigen Grundkonzept-Ebene erfolgt in der IT-Konzept- und Implementierungsebene eine sukzessive Erweiterung und Integration des Ansatzes in die Digitale Fabrik. Mit Hilfe einer generalisierten Produktstruktur, die die Zusammenfassung aller relevanten Produktvarianten in einem Modell ermöglicht, lassen sich die zu berücksichtigenden Varianten in einer für die Planung geeigneten Form darstellen. Durch die Definition eines generischen Variantenbausteins wird es darüber hinaus möglich, sowohl produktvarianten-induzierte als auch produktvarianten-neutrale Prozess- und/oder Resourcevarianten im Rahmen der Planung zu berücksichtigen. In der IT-Konzept-Ebene werden die generalisierte Produktstruktur und der generische Variantenbaustein um weitere informationstechnische Elemente erweitert. Hierdurch lässt sich eine Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Technischer Produktionsplanung realisieren und das Konzept zur Berücksichtigung von Varianten bei der Planung der Prozesse und Ressourcen auch auf die Bereiche Layoutplanung und Materialflusssimulation erweitern. Die prototypische Umsetzung des Konzepts stützt sich auf die Nutzung kommerziell verfügbarer Softwaretools und erweitert diese um die im Grund- und IT-Konzept definierten Planungsobjekte.

Die entwickelte Lösung wird abschließend anhand zweier Praxisszenarien getestet und evaluiert. Hier zeigen sich für die betrachteten Varianten der LKW-Rohbaugruppe sowie für die Taschenlampenvarianten im Vergleich zur konventionellen Planungsweise deutliche Vorteile bezüglich der Datendurchgängigkeit und der vollständigen Berücksichtigung aller relevanten Produkt-, Prozess- und Resourcevarianten.

Abstract

The management of the continuously growing variety of product and production variants has become increasingly the most important competition factor for production industry. At this, the technical production planning that focuses on the planning of the production system and bridges the gap between product design and production plays an important role, especially in batch production. But in the planning area, there is a lack of adequate methods and tools for managing the required variant variety. Therefore, the presented thesis aims at developing an integrated variant management concept for technical production planning. Besides regarding product variants, the consideration of production variants, that means process and resource variants, are also vitally important.

The developed variant management approach is based on a 3-layer concept. Starting from the IT-independent basic concept layer, the approach is enhanced and integrated gradually into the Digital Factory in IT concept and implementation layer. Using a generalised product structure that integrates all relevant product variants in one model, the variants can be considered in a way adapted for planning. By defining a generic variant element, product-oriented as well as product-neutral process and/or resource variants can be planned. In the IT concept layer, the generalised product structure and the generic variant element are enhanced by additional IT elements. Through this, an interface between product design and technical production planning as well as the expansion of the concept for considering process and resource variants towards layout planning and material flow simulation is achieved. The prototypical implementation of the concept focuses on the use of commercially available software tools, expanding them with planning elements defined in the basic concept and IT concept layer.

Finally, the variant management concept is tested and evaluated on the basis of two scenarios. For the considered variants of the body-in-white assembly as well as for the pocket lamp variants a comparison with the conventional planning procedure points out that the use of the developed variant management approach allows an improved data consistency as well as a consistent and complete consideration of product, process und resource variants.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Ziele der Arbeit.....	4
1.3	Vorgehensweise	5
2	Technische Produktionsplanung in der Digitalen Fabrik.....	9
2.1	Technische Produktionsplanung	10
2.1.1	Ingenieurwissenschaftliche Sicht	11
2.1.2	Betriebswirtschaftliche Sicht.....	15
2.1.3	Definition der Technischen Produktionsplanung	17
2.2	Montageplanung	18
2.2.1	Grundlagen der Montageplanung.....	18
2.2.2	Ablauf der Montageplanung.....	19
2.2.3	Werkzeuge und Methoden der Montageplanung	22
2.3	Digitale Fabrik	24
2.3.1	Begriffsbestimmung und -definition	25
2.3.2	Ziele der Digitalen Fabrik	27
2.3.3	Digitale Fabrik für KMU.....	29
2.3.4	Handlungsfelder	32
3	IT-Unterstützung in der Technischen Produktionsplanung.....	35
3.1	Einführung	35
3.2	Kommerzielle Anwendungen	38
3.3	Anwendungen aus den Bereichen Forschung und Entwicklung	43
3.4	Zusammenfassung	46

4	Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung	49
4.1	Grundlagen.....	49
4.1.1	Variante und Variantenvielfalt	49
4.1.2	Variantenmanagement.....	52
4.2	Bestehende Ansätze des Variantenmanagements	54
4.2.1	Produktbezogene Ansätze	54
4.2.2	Produktionsbezogene Ansätze.....	59
4.3	Zusammenfassung und Handlungsbedarf.....	63
5	3-Ebenen-Konzept des Variantenmanagements	67
5.1	Grundkonzept.....	69
5.1.1	Generalisierte Produktstruktur	70
5.1.2	Generischer Variantenbaustein.....	77
5.1.3	Generische Logistikbausteine.....	86
5.2	IT-Konzept.....	88
5.2.1	Umsetzung der generalisierten Produktstruktur im Bereich der Produktentwicklung.....	88
5.2.2	Featureerweiterung der generalisierten Produktstruktur	94
5.2.3	Layoutplanung.....	103
5.2.4	Materialflusssimulation	104
5.3	Implementierung.....	106
5.3.1	Möglichkeiten und Grenzen der Implementierung	106
5.3.2	Umsetzungen	108
6	Praxisszenario	119
6.1	Szenario 1 – LKW-Rohbaugruppe	119
6.1.1	Betrachtungsgegenstand.....	119
6.1.2	Modellierung der Produkt-, Prozess- und Ressourcenstruktur.....	121

6.2	Szenario 2 – Taschenlampenmontage.....	124
6.2.1	Betrachtungsgegenstand.....	124
6.2.2	Produktentwicklung.....	126
6.2.3	Prozess- und Ressourceplanung.....	128
6.2.4	Aufbau des Simulationsmodells.....	130
6.3	Bewertung.....	132
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	135
7.1	Zusammenfassung der Arbeit.....	135
7.2	Ansätze für weitere Forschungsaktivitäten.....	137
	Quellenverzeichnis	141
	Literatur.....	141
	Normen und Richtlinien.....	154
	Internet-Links.....	154
	Abbildungsverzeichnis.....	157
	Tabellenverzeichnis.....	161
	Abkürzungsverzeichnis.....	163
Anhang A	Gegenüberstellung der Digitale Fabrik-Lösungen DELMIA Process Engineer (Release 12 bzw. 14) und UGS - eM-Planner (Version 7.1) anhand vordefinierter Anforderungen.....	165
Anhang B	Erweiterung von DPE zur Berücksichtigung von Produkt-, Prozess- und Ressourcevarianten.....	173
Anhang C	Praxisszenario 2 – Taschenlampenmontage	177

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

„Das Auto liefere ich in jeder Farbe, vorausgesetzt es ist schwarz.“

Henry Ford

Henry Fords Antwort auf die Frage, in welcher Farbe sein Modell T, das erste am Fließband in Großserie hergestellte Fahrzeug, das von 1908-1927 mehr als 15 Millionen mal verkauft wurde [Broc89a], erhältlich sei, wäre heutzutage sowohl aus Sicht der Automobil- als auch für jeden anderen Bereich der Konsumgüterindustrie undenkbar. Dies liegt darin begründet, dass die industrielle Produktion technischer Erzeugnisse in den letzten Jahrzehnten tiefgreifende Umwälzungen erfahren hat [Wien05]. Während noch Mitte des 20. Jahrhunderts die Möglichkeit, Massenprodukte mit einigen wenigen Varianten in großen Stückzahlen herzustellen, einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil für Unternehmen darstellte, hat sich dieses Bild in den letzten Jahrzehnten grundlegend verändert. So führten Bullinger et al. bereits 1986 aus, dass bei allen größeren produktrelevanten Planungsaktivitäten von Anfang an kürzere Innovationszeiten und erhöhte Typen- und Variantenvielfalt zu berücksichtigen seien [Bull86].

Wettbewerbsfähiges Produzieren innerhalb der globalen Märkte bedeutet heute, den ständig wachsenden Ansprüchen der Kunden nach individuellen Produkten gerecht zu werden. Hierzu ist es erforderlich, eine Vielzahl unterschiedlicher Produktvarianten anbieten zu können. Dieser Trend zeichnet sich besonders deutlich in der Automobil- und Zulieferindustrie ab. So besaß der Golf III bereits 70 Billionen theoretische Baueinheiten [Bart95]. Die aktuelle C-Klasse von Mercedes-Benz kommt bereits auf eine Zahl von 10^{27} möglichen Produktvarianten [BäHa03a]. „So kann heute davon ausgegangen werden, dass bei einem großen Automobilproduzenten innerhalb eines Produktionstags vielleicht noch zwei Fahrzeuge exakt die gleiche Ausprägung besitzen“ [ZäMW04]. Ein ähnliches Bild bietet die deutsche Metall- und Elektroindustrie [VDIn06].

Aufgrund der stetig steigenden Anzahl an Produktvarianten und der damit verbundenen Zunahme an Komplexität von Produkten und Unternehmensstrukturen [MoVM03, WeJR03], stellt die Beherrschung der Variantenvielfalt, d.h. die wirtschaftliche Herstellung der vom

Markt geforderten Produktvarianten, einen zentralen Wettbewerbsfaktor heutiger Unternehmen dar. Neben dem Umgang mit Produktvarianten in der Produktentwicklung, der Planung der benötigten Produktionseinrichtungen – der Technischen Produktionsplanung – und der Produktion selbst, müssen darüber hinaus die durch die Produktvarianten verursachten Varianten in den Produktionsprozessen sowie in den erforderlichen Anlagen und Betriebsmitteln (Ressourcen) berücksichtigt werden.

Unter dem Obergriff des Variantenmanagements finden sich eine Vielzahl unterschiedlicher Ansätze für die einzelnen Bereiche und Abschnitte innerhalb des Produktentstehungsprozesses – Produktentwicklung, Technische Produktionsplanung und Produktion. Diese bieten jedoch keine Durchgängigkeit zur Berücksichtigung aller Variantenarten. In der Produktentwicklung erlauben unterschiedliche Stücklisten die Darstellung und Verarbeitung von Produktvarianten [Herl90]. Plattform- und Modulstrategien liefern Ansätze zur Reduzierung der konstruktiven Variantenvielfalt. Im Bereich der Technischen Produktionsplanung existieren Ansätze, den Variantenbestimmungspunkt innerhalb der Produktion soweit wie möglich ans Ende des Montageprozesses zu verlagern [WiGK04]. Zur Reduzierung der Varianz innerhalb der Produktion werden darüber hinaus vielfach standardisierte Betriebsmittel verwendet.

Wie bereits erwähnt, sind diese Ansätze und Konzepte des Variantenmanagements nur auf einzelne Bereiche des Produktentstehungsprozesses fokussiert. Des Weiteren beschränkt sich die Berücksichtigung von Prozess- und Ressourcevarianten, seien sie durch Produktvarianten induziert oder davon unabhängig, auf die Reduzierung ihres Einflusses auf möglichst wenige Bereiche innerhalb des Produktentstehungsprozesses. Eine effektive und vollständige Planung der erforderlichen Prozess- und Ressourcevarianten ist bisher jedoch aufgrund fehlender Methoden und Werkzeuge nicht möglich. Gerade vor dem Hintergrund sinkender Losgrößen in Verbindung mit einer steigenden Anzahl an Produktvarianten ergibt sich hier ein erheblicher Handlungsbedarf. Denn „um diesen Anforderungen [gerade] in der Montage zu begegnen, sind unter anderem flexible, schnell rüstbare Montageanlagen erforderlich“ [LiR97]. Zur Planung solcher Anlagen ist das Wissen um die zu montierenden Produktvarianten sowie die zu realisierenden Montageprozesse unerlässlich.

Um neben der stetig zunehmenden Variantenzahl den parallel dazu abnehmenden Produktlebenszyklen Rechnung zu tragen, sind die Unternehmen gezwungen, ihre Entwicklungszyklen mit Hilfe des Simultaneous Engineering (SE), der zielgerichteten, interdisziplinären Zusammen- und Parallelarbeit von Produkt-, Produktions- und Vertriebsentwicklung

[Ehrl95], kürzer und kostengünstiger zu gestalten. Diese „weitgehend parallele Produktentwicklung und Planung von zugehörigen Produktionsanlagen ist vorwiegend nur mit leistungsfähigen, rechnerunterstützten Hilfsmitteln möglich“ [LiRI97]. Dabei ist der Grad der IT-Unterstützung in den Bereichen Produktentwicklung und Produktion durch den Einsatz von CAD-, EDM/PDM- und ERP-Systemen bereits weit fortgeschritten. Die noch bestehende Lücke im Bereich der Technischen Produktionsplanung soll aktuell durch die Realisierung der Digitalen Fabrik (Abbildung 1-1), auf die im Abschnitt 2.3 noch näher eingegangen wird, geschlossen werden. Aufgrund der erweiterten Möglichkeiten, die die digitale Produktionsplanung gegenüber der konventionellen Planung mit Bleistift und Papier, Excel und Powerpoint liefert, besteht hier sowohl konzeptionell als auch IT-technisch noch Handlungsbedarf. So wird das Variantenmanagement in der digitalen Produktionsplanung bisher sowohl konzeptionell als auch in der IT-technischen Umsetzung nur rudimentär betrachtet. Zusätzlich stellt die hohe Komplexität der aktuellen Planungswerkzeuge aus Sicht der Planungsexperten eine weitere Hürde bei der Realisierung der Digitalen Fabrik dar.

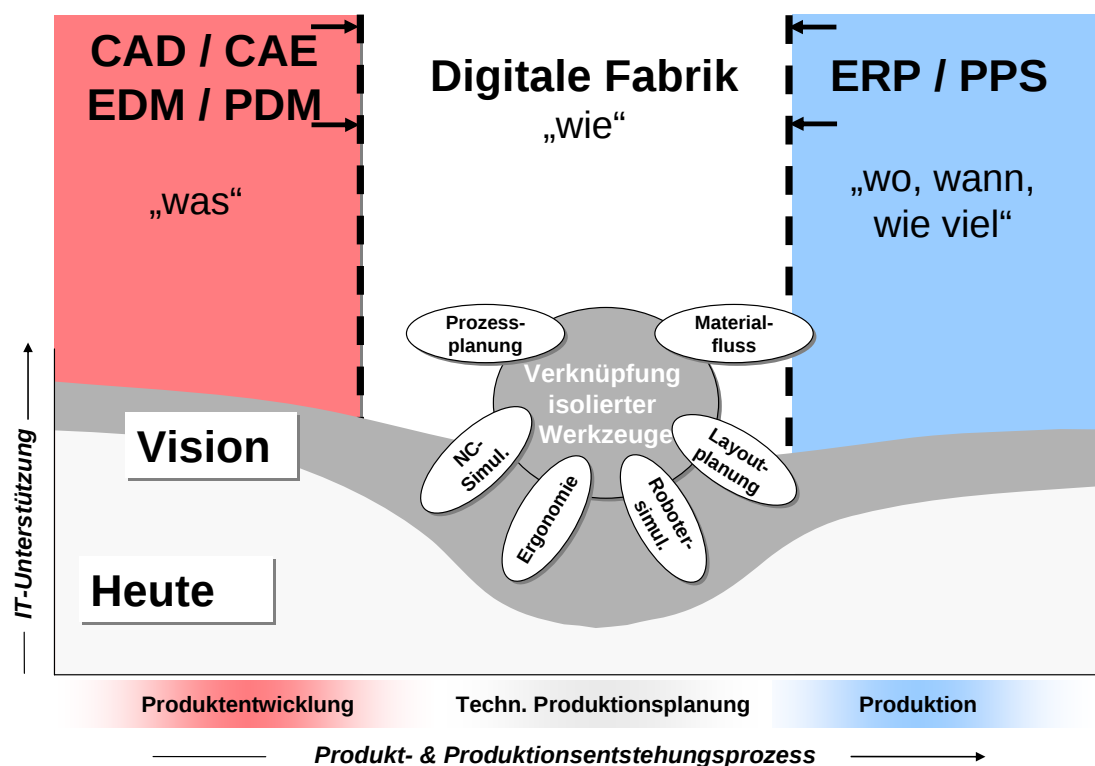


Abbildung 1-1: Einsatzbereich der Digitalen Fabrik in Anlehnung an [Fran03, Linn02]

Aufgrund der weitestgehend getrennten Betrachtung des Produkt- und Produktionsentstehungsprozesses bezüglich ihrer IT-Unterstützung werden gerade die Schnittstellen zwischen diesen Bereichen bisher nur unzureichend berücksichtigt. Dabei kommt der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung im Rahmen des Simultaneous

Engineering eine ganz besondere Rolle zu, da die Planung auf den Ergebnissen der Entwicklung aufbaut. Die unterschiedlichen Sichtweisen und Fragestellungen von Produktentwicklern, Planern und Produktionsverantwortlichen finden auf kommunikativer Ebene im Rahmen regelmäßiger bereichsübergreifender Besprechungen bereits Berücksichtigung. Auf Seiten der IT besteht diesbezüglich jedoch noch Handlungsbedarf.

1.2 Ziele der Arbeit

Angesichts der dargestellten Problematik ist die effektive, d.h. die vollständige und rechtzeitige Berücksichtigung aller relevanten Varianten als ein vorrangiges Ziel innerhalb der Technischen Produktionsplanung anzusehen. Um dieses Ziel zu erreichen, wird eine Methodik benötigt, die die Darstellung aller relevanten Produkt-, Prozess- und Resourcevarianten ermöglicht. Diese Methodik muss dabei sowohl auf der konzeptionellen Seite einen generellen Ansatz zur Betrachtung von Varianten liefern als auch im Bereich der IT-Unterstützung die Integration dieses Ansatzes in die Digitale Fabrik ermöglichen. Zur Gewährleistung eines möglichst breiten Anwendungsbereichs muss ein solches Konzept sowohl auf die derzeitige IT-Unterstützung abgestimmt als auch so allgemein gehalten sein, dass es unabhängig von spezieller Planungssoftware angewendet werden kann.

Abbildung 1-2 verdeutlicht die Hauptziele der Arbeit, die zur Realisierung eines durchgängigen Variantenmanagementkonzeptes umzusetzen sind.

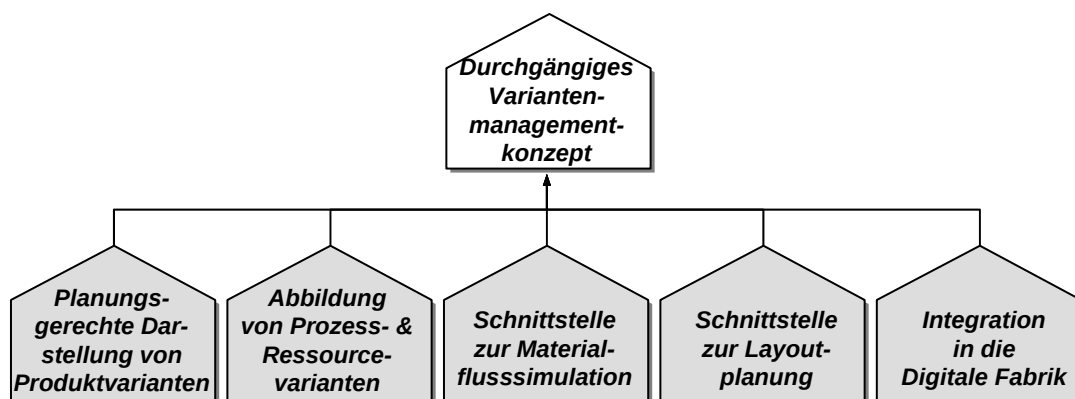


Abbildung 1-2: Hauptziele der Arbeit

Da ein erstes Produktmodell, das im Laufe der Produktentwicklung immer weiter detailliert wird, den Ausgangspunkt der Planungsaktivitäten darstellt, muss es über die konstruktionsbezogene Sicht hinaus für die Planung erweitert werden. Hierzu ist neben der Verknüpfung

von konstruktions- und planungsseitiger Sicht auf die Produktstruktur eine Erweiterung des Produktmodells um planungsrelevante Informationen erforderlich. Die Feature-Technologie liefert hierzu einen ersten Ansatzpunkt. Zur effektiven Berücksichtigung von Prozess- und Ressourcevarianten innerhalb der Technischen Produktionsplanung wird die Definition zusätzlicher generischer Prozess- und/oder Ressourcenelemente notwendig, die die graphische Darstellung der Varianten ermöglichen.

Um die im Rahmen der Fertigungs- bzw. Montageprozessplanung festzulegenden Prozess- und Ressourcevarianten zu berücksichtigen, müssen diese Informationen innerhalb der Digitalen Fabrik auch in den der Prozessplanung nachgelagerten Werkzeugen nutzbar sein. Im Speziellen sind dabei Prozess- und Ressourcevarianten in den Bereichen Materialflusssimulation und Layoutplanung von Bedeutung.

1.3 Vorgehensweise

Um die im vorhergehenden Abschnitt gesteckten Ziele zur Umsetzung eines durchgängigen Variantenmanagementkonzepts innerhalb des Produkt- und Produktionsentwicklungsprozesses zu erreichen, wird im zweiten Kapitel zunächst die Ist-Situation der Technischen Produktionsplanung in der Digitalen Fabrik näher untersucht. Neben der Definition des Begriffs *Technische Produktionsplanung* wird im Besonderen die Montageplanung, in der der Hauptanteil der zu planenden Varianten berücksichtigt werden muss, betrachtet. Ferner wird der Ansatz der Digitalen Fabrik näher beleuchtet und kritisch hinterfragt.

Aufgrund der Forderung, einen praxistauglichen Ansatz zur Variantenbeherrschung in die bestehenden Konzepte und Lösungen der rechnerunterstützten Planung zu integrieren, widmet sich das dritte Kapitel der IT-Unterstützung in der Technischen Produktionsplanung. Hierbei werden neben kommerziellen Anwendungen auch aktuelle Forschungsansätze berücksichtigt.

Im Kapitel 4 werden als Basis für die Entwicklung eines durchgängigen Konzepts zur integrierten Betrachtung und Berücksichtigung von Produkt-, Prozess- und Ressourcevarianten die Grundlagen des Variantenmanagements untersucht und der erforderliche Handlungsbedarf abgeleitet. Dies bildet den Ausgangspunkt für das in Kapitel 5 entwickelte 3-Ebenen-Konzept des Variantenmanagements, das von Ebene zu Ebene eine sukzessive Erweiterung und Integration des Konzepts in die Digitale Fabrik erlaubt (Abbildung 1-3).

Auf der ersten Ebene, der so genannten Grundkonzept-Ebene, wird eine Methodik zur effektiven Berücksichtigung von Produkt-, Prozess- und Resourcevarianten erarbeitet, die unabhängig von IT-Unterstützung angewendet werden kann. Dabei bildet die Definition einer generalisierten Produktstruktur zur planungsgerechten Darstellung von Produktvarianten, die Definition eines generischen Variantenbausteins als neuartiges Prozess- bzw. Resourceelement sowie die Definition zweier generischer Logistikbausteine die Basis für die IT-gerechte Weiterentwicklung des Variantenansatzes. Um in die Digitale Fabrik integriert werden zu können, werden die Objekte der Grundkonzept-Ebene in der zweiten Ebene, der IT-Konzept-Ebene, um informationstechnische Elemente erweitert. Hierbei ist das IT-Konzept jedoch noch unabhängig von spezifischen Softwarelösungen. Die Integration und die gegebenenfalls notwendige Anpassung des IT-Konzepts an kommerziell verfügbare Softwarewerkzeuge sind Fokus der dritten Ebene, der so genannten Implementierungsebene. Hier werden die Möglichkeiten der Implementierung der entwickelten Methoden und Konzepte aufgezeigt und eine prototypische Umsetzung in Form einer Erweiterung kommerzieller Softwarewerkzeuge durchgeführt.

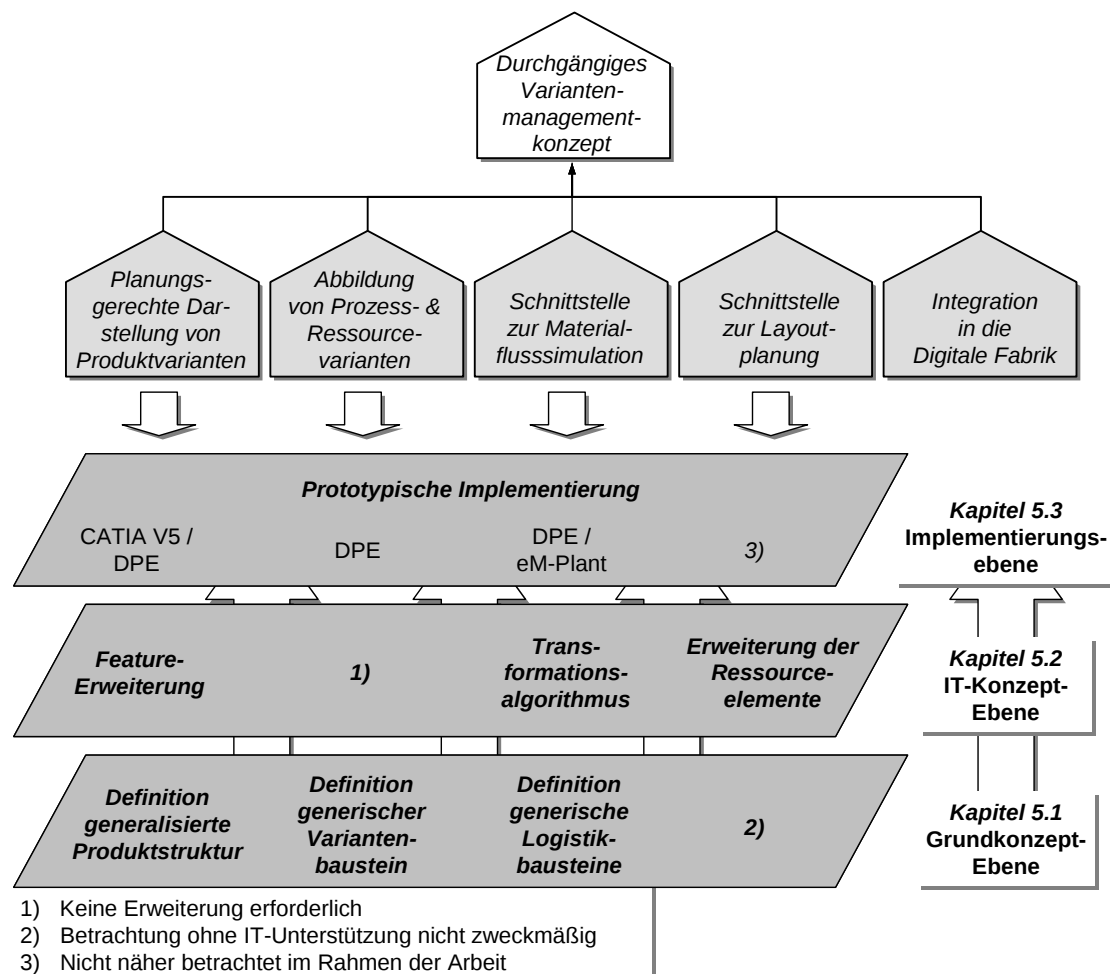


Abbildung 1-3: 3-Ebenen-Modell zur Erreichung der Hauptziele der Arbeit

Zur Illustration der Einsatzmöglichkeiten des entwickelten Variantenmanagementkonzepts sowie zu dessen Verifizierung werden im sechsten Kapitel zwei Praxisszenarien aufgebaut. Das erste Szenario, an dem im Speziellen die Methodik der Variantenplanung dargestellt und die Potentiale des Ansatzes aufgezeigt werden, stammt aus dem Bereich des LKW-Rohbaus. Dem gegenüber wird im zweiten Praxisszenario die Montage verschiedener Baureihen einer Taschenlampe dargestellt. Da das hierbei betrachtete Produkt sowohl hinsichtlich der Zahl zu berücksichtigender Produktvarianten als auch hinsichtlich der Komplexität der Montageprozesse „überschaubar“ ist, kann das im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte Variantenmanagementkonzept von der Produktentwicklung an bis zum Aufbau eines Simulationsmodells dargestellt und erprobt werden.

Basierend auf der Bewertung des erarbeiteten Konzepts anhand der beiden Praxisszenarien werden im siebten Kapitel neben einer Zusammenfassung der Arbeit Ansätze für weitere Forschungsaktivitäten aufgezeigt.

2 Technische Produktionsplanung in der Digitalen Fabrik

Die Situation in der produzierenden Industrie ist heute „einerseits durch nicht vorhersehbare Schwankungen und andererseits durch abnehmende Losgrößen bei steigender Variantenvielfalt gekennzeichnet“ [HeMe03], was zu einer zunehmenden Dynamik des Produktionsumfeldes führt [ZäRW05]. „Planung und Aufbau sowie notwendige Veränderungen in der Produktion müssen [daher] schnell und wirtschaftlich durchgeführt werden, um wettbewerbsfähig zu bleiben“ [BäHa03b]. Somit zeigt sich, dass die Planung der Produktionseinrichtungen neben der Produktentwicklung mehr denn je eine Schlüsselrolle für den Unternehmenserfolg darstellt. Dabei sind neben technologischen Verbesserungen auch organisatorische Aspekte von besonderer Bedeutung [Warn93].

Aufgrund der großen Breite der für die Planung der Produktion notwendigen Tätigkeiten ist das Verständnis über die Inhalte der Planungstätigkeiten teilweise recht unterschiedlich. Ebenso existiert eine Vielzahl teils synonym gebrauchter, teils jedoch auch widersprüchlicher Begriffe für die Planung der Produktion. Daher wird zu Beginn dieses Kapitels der Begriff der Technischen Produktionsplanung im Spannungsfeld zwischen ingenieurwissenschaftlicher und betriebswirtschaftlicher Sicht erläutert und definiert und die Planungsinhalte werden näher beschrieben.

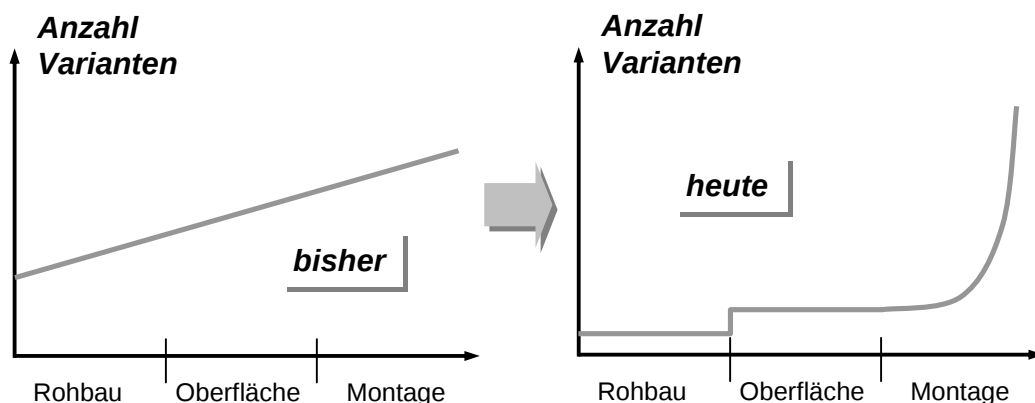


Abbildung 2-1: Späte Variantendifferenzierung im Automobilbau in Anlehnung an [ZuKW01]

Im Rahmen der Produktion wird ein Großteil der zu produzierenden Varianten in der Montage erzeugt, was sich, wie in Abbildung 2-1 illustriert ist, in Zukunft – zumindest im Automobilbau – noch verschärfen wird [ZuKW01]. Somit kommt aus der Sicht der Beherrschung der erforderlichen Varianten der Planung der Montageeinrichtungen eine besondere Bedeu-

tung zu. Daher wird die Montageplanung in diesem Kapitel nochmals im Speziellen betrachtet.

Durch die kontinuierlich steigende Anzahl an Produkt-, Prozess- und Ressourcevarianten und einer damit verbundenen Zunahme des Arbeitsumfanges innerhalb der Planung der Produktionseinrichtungen erhöht sich auch die Komplexität der Planungsaufgaben stetig [ElKU05]. Einhergehend mit stetig kürzer werdenden Lebenszyklen der Produktion einer Baureihe lassen sich die Planungsaufgaben in der geforderten Zeit und Qualität nur noch durch den effektiven Einsatz moderner IT-Systeme lösen. Im Bereich der Planung von Produktionseinrichtungen hat daher in den letzten Jahren der Ansatz der Digitalen Fabrik, auf den zum Abschluss dieses Kapitels näher eingegangen wird, zunehmend an Bedeutung gewonnen.

2.1 Technische Produktionsplanung

Wie bereits erwähnt, werden sowohl in der Literatur als auch in der industriellen Praxis unterschiedliche, teilweise auch gegensätzliche Begriffe für die Planung von Produktionseinrichtungen verwendet [Ever97, Warn95, Meng05a]: Arbeitsvorbereitung, Arbeitsplanung, Fertigungsplanung oder Produktionsplanung, um die häufigsten Nennungen aufzulisten. Daneben wird in produzierenden Unternehmen gerade der Begriff „Produktionsplanung“ für zwei ganz unterschiedliche Vorgänge, nämlich für die Vorbereitung der Leistungserstellung sowie für die laufende Planung des Produktionsprogramms, verwendet.

Losgelöst von unterschiedlichen Sichtweisen und Begrifflichkeiten liefert eine genauere Betrachtung des Begriffs „Planung“ einen ersten Hinweis darauf, was unter der Planung der Produktion ganz allgemein verstanden werden kann. Wöhe beschreibt den Vorgang des Planens als „die gedankliche Vorwegnahme zukünftigen Handelns durch Abwägen verschiedener Handlungsalternativen und Entscheidung für den günstigsten Weg. Planung bedeutet also das Treffen von Entscheidungen, die in die Zukunft gerichtet sind und durch die der betriebliche Prozessablauf als Ganzes und in seinen Teilen festgelegt wird“ [Wöhe96]. Wird hierbei vom „Entscheiden für den günstigsten Weg“ gesprochen, so ist das Finden und Realisieren der wirtschaftlichsten Lösung gemeint, die dann erzielt werden kann, „wenn die Kriterien Qualität, Termin und Kosten in ihrer Gesamtheit ein Optimum erreichen“ [Stie99].

Um für die Arbeit ein einheitliches Verständnis über die Abläufe bei der Planung der Produktion zu gewährleisten, werden im Folgenden die unterschiedlichen Begrifflichkeiten und ihre Inhalte sowohl aus ingenieurwissenschaftlicher als auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht dargestellt. Anschließend wird der Begriff der Technischen Produktionsplanung für die vorliegende Arbeit definiert.

2.1.1 Ingenieurwissenschaftliche Sicht

Mit Beginn des 20. Jahrhunderts erreichte die Überschaubarkeit der Fertigung ihre Grenzen. Dies machte es erforderlich, die Arbeit vorzudenken bzw. vorzubereiten, wodurch der Begriff der Fertigungs- bzw. Arbeitsvorbereitung entstanden ist. Im Laufe der Zeit dehnte sich die Arbeitsvorbereitung auf den gesamten Herstellungsprozess einschließlich der Montage aus. [Ever97, Wien05]

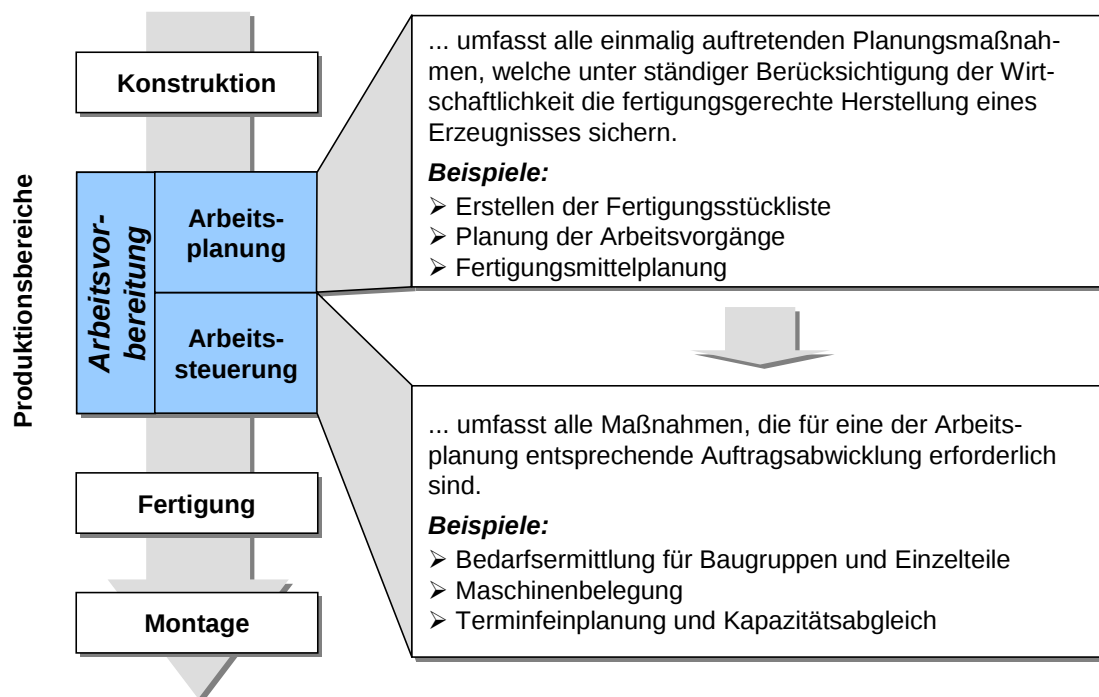


Abbildung 2-2: Gliederung der Arbeitsvorbereitung nach [AWF68, Ever97]

Wie Abbildung 2-2 zeigt, untergliedert sich die Arbeitsvorbereitung nach Eversheim in die beiden Bereiche Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung. Die Arbeitsplanung zielt darauf ab, alle notwendigen Maßnahmen vorzubereiten und durchzuführen, damit der Beginn des Herstellungsprozesses eines Erzeugnisses zu seinem Startzeitpunkt, dem Start of Production (SOP), erfolgen kann. Die Aufgabe der Arbeitssteuerung besteht hingegen in einer reibungslosen Abwicklung der Produktion während ihres gesamten Lebenszyklus. Im Rahmen der

Arbeitsplanung wird somit festgelegt, WAS, WIE und WOMIT hergestellt werden soll, während die Arbeitssteuerung vorgibt, WIE VIEL, WANN, WO und durch WEN herzustellen ist [AWF68]. Aufgrund der vielfältigen Tätigkeiten, die im Rahmen der Arbeitsplanung je nach erforderlichem Detaillierungsgrad durchzuführen sind, wird unter Berücksichtigung des Zeithorizonts der Maßnahmen eine weitere Unterteilung vorgenommen (Abbildung 2-3).

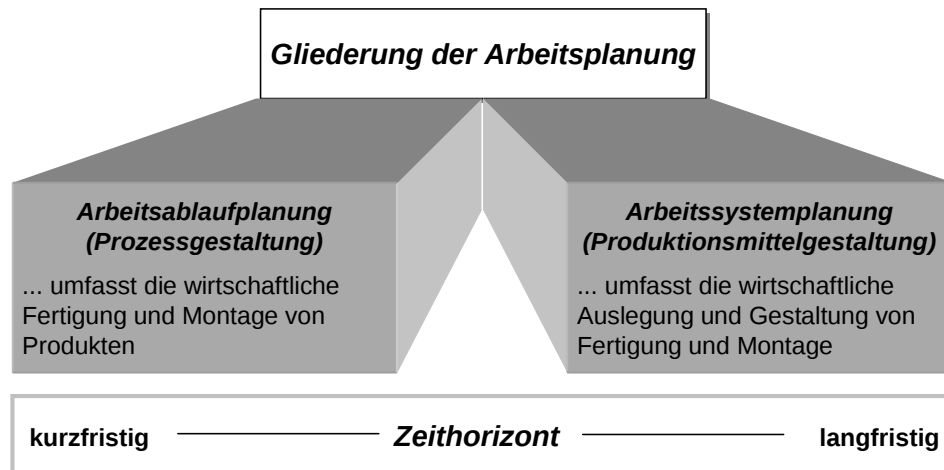


Abbildung 2-3: Gliederung der Arbeitsplanung nach [Ever97]

Die mittel- bis langfristigen Aufgaben der Arbeitsplanung werden unter dem Begriff der Arbeitssystemplanung zusammengefasst. Neben einer langfristigen Planung der für die wirtschaftliche Gestaltung der produzierenden Bereiche erforderlichen Fertigungs- und Montagemittel sowie der Lager- und Transporteinrichtungen stellen die Planung des für die Realisierung der Produktion benötigten Personals sowie die Flächen- und Gebäudeplanung weitere Arbeitspakete innerhalb der Arbeitssystemplanung dar. Die Wirtschaftlichkeit der geplanten Lösungen wird durch die Investitionsrechnung überprüft.

Die kurz- bis mittelfristigen Tätigkeiten der Arbeitsplanung werden innerhalb der Arbeitsablaufplanung durchgeführt. Tabelle 2-1 zeigt die Aufgaben der Arbeitsablaufplanung. Auf der Basis von fertigungs- bzw. montagespezifischen Stücklisten werden in der Prozessplanung die erforderlichen Arbeitsvorgänge sowie deren Reihenfolge festgelegt und die zur Ausführung der Prozesse benötigten Fertigungsmittel bestimmt. Im Rahmen der Operationsplanung erfolgt eine weitere Detaillierung der Arbeitsvorgänge für den Bereich der Teilefertigung, während diese Aufgabe für die Montage in der Montageplanung durchgeführt wird. Basierend darauf und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Prüfplanung erfolgen die Entwicklung von Sonderwerkzeugen und -vorrichtungen sowie die Erstellung von NC- und RC-Programmen.

Aufgaben der Arbeitsablaufplanung (Prozessgestaltung)	
Planungsvorbereitung	- Beratung der Konstruktion - Grobplanung
Stücklistenverarbeitung	- Erstellen von Fertigungs- & Montagestücklisten
Prozessplanung	- Ausgangsteilbestimmung - Prozessfolgeermittlung - Fertigungsmittelauswahl
Operationsplanung	- Spannlagenbestimmung - Werkzeugauswahl - Operationsreihenfolge
Montageplanung	- Grob Ablaufplanung - Feinablaufplanung
Prüfplanung	- Prüfplanerstellung - Prüfanweisungserstellung
Fertigungs- & Prüfmittelplanung	- Entwicklung von Sonderwerkzeugen & -vorrichtungen
NC-/RC-Programmierung	- NC-Programmerstellung - RC-Programmerstellung
Kostenplanung / Kalkulation	- Kalkulation - Verfahrensvergleich - Wirtschaftlichkeitsprüfung

Tabelle 2-1: Aufgaben der Arbeitsablaufplanung nach [Ever97]

Aufgrund der großen Breite an produzierenden Unternehmen sowie zweier unterschiedlicher Arten der Auftragsauslösung, nämlich der kundenanonymen Produktentwicklung und der kundenspezifischen Auftragsabwicklung, unterscheiden sich die Abläufe sowie teilweise auch die Inhalte der Arbeitsvorbereitung (Abbildung 2-4).

Bei der kundenorientierten Auftragsabwicklung wird die Prozesskette durch eine Kundenanfrage, d.h. einen konkreten Kundenwunsch, angestoßen. In diesem Fall erfolgen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung entsprechend der bereits beschriebenen Systematik. Die weitestgehende Nutzung bestehender Fertigungsmittel steht dabei im Mittelpunkt.

Bei der kundenanonymen Produktentwicklung, die durch die Herstellung von Serienprodukten wie PKWs oder Kühlschränke gekennzeichnet ist und den Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit darstellt, muss die Prozesskette bereits vor einer konkreten Kundenbestellung durchlaufen sein. Hierbei existiert im Rahmen der Prozessgestaltung und Produktionsmittelplanung (vgl. Abbildung 2-4) nur eine sehr begrenzte Bindung an die bestehenden Fertigungsmittel mit oftmals sehr weitgehenden Möglichkeiten der Neuanschaffung von Produktionseinrich-

tungen, wenn gleich aktuelle Forschungsansätze darauf abzielen, bestehende Fabriken und Produktionseinrichtungen zunehmend rekonfigurierbar bzw. wandlungsfähig zu gestalten [JoKB03, WiHe04] und damit ihre Lebenszeit zu erhöhen. [Ever97]

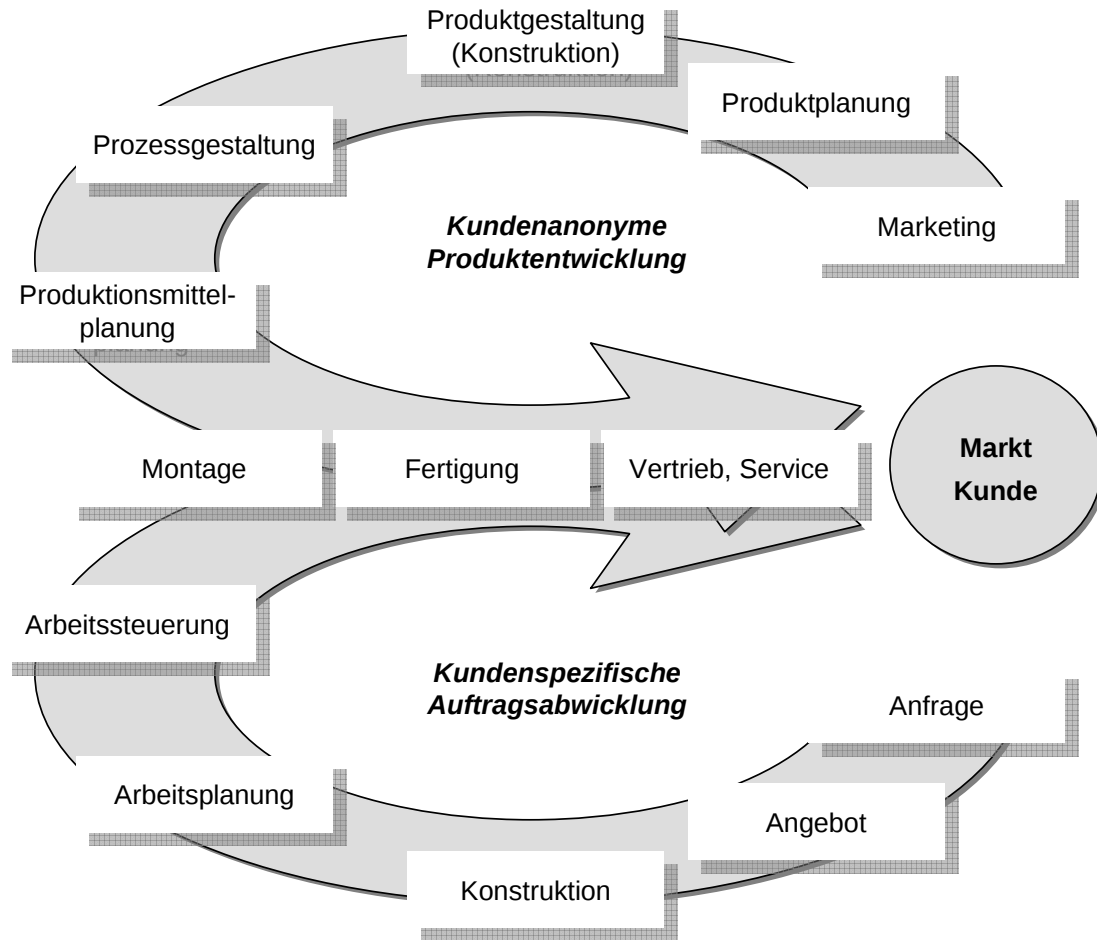


Abbildung 2-4: Prozessketten bei unterschiedlicher Auftragsauslösung in Anlehnung an [EvSc96]

Bei der Planung der Serienproduktion, die aus der Sicht der Auftragsauslösung der kundenanonymen Produktentwicklung entspricht, ergibt sich gegenüber der klassischen Arbeitsplanung im Rahmen der kundenspezifischen Auftragsabwicklung zwischen Arbeitsablaufplanung (Prozessgestaltung) und Arbeitssystemplanung (Produktionsmittelgestaltung) eine veränderte Abfolge. Wie Abbildung 2-4 zeigt, stellen die Ergebnisse der Prozessgestaltung die Grundlage für die Planung der Produktionsmittel dar. Daher zeigt sich, dass die in Abbildung 2-3 dargestellte Unterteilung der Arbeitsplanung in die kurz- bis mittelfristige Prozessgestaltung und die mittel- bis langfristige Produktionsmittelgestaltung für die Planung einer Serienfertigung nicht zweckmäßig ist, da hier der Zeithorizont von Prozessgestaltung und Planung bzw. Gestaltung der Produktionsmittel als langfristig anzusehen ist.

Dieser Widerspruch, dass die „langfristige“ Planung der Produktionsmittel auf den Ergebnissen der „kurzfristigen“ Prozessgestaltung aufbaut, stellt sicherlich auch einen Grund dafür dar, dass der Begriff der Arbeitsplanung gerade in der Automobil- und Zulieferindustrie – aber auch in anderen Branchen der Konsumgüterindustrie – keine große Verwendung findet. Hier findet für die Planung und Entwicklung der zur Herstellung der Serienerzeugnisse erforderlichen Produktionseinrichtungen der Begriff der *Produktionsplanung* breite Anwendung. Inhaltlich decken sich die Aufgaben der Produktionsplanung mit denen der Arbeitsablauf- und Arbeitssystemplanung. Die Reihenfolge der einzelnen Aufgaben sowie ihr Zeithorizont differieren jedoch zum Teil.

2.1.2 Betriebswirtschaftliche Sicht

Unter dem Stichwort der Planung findet sich in der Betriebswirtschaftslehre der Begriff der Produktionsplanung und -steuerung. Nach Wiendahl hat die Produktionsplanung und -steuerung die Aufgabe, „das laufende Produktionsprogramm in regelmäßigen Abständen nach Art und Menge für mehrere Planungsperioden im Voraus zu planen und unter Beachtung gegebener oder zu planender Kapazitäten trotz unvermeidbarer Störungen wie Personalausfall, Lieferverzögerungen oder Ausschuss möglichst gut zu realisieren“ [Wien05]. Während die Planung der Produktionseinrichtungen vor dem eigentlichen Produktionsbeginn durchgeführt wird und damit die Brücke zwischen Produktentwicklung und Produktion schlägt, unterstützt die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) den Ablauf der Produktion (Abbildung 2-5).

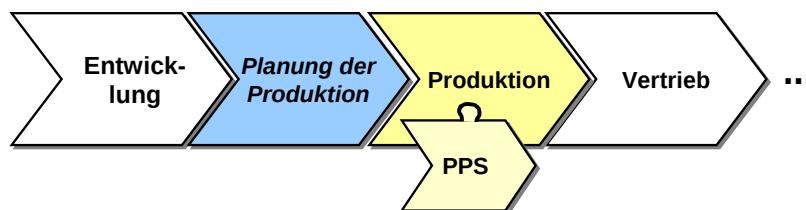


Abbildung 2-5: PPS als Baustein innerhalb der Produktion

Produktionsplanung und -steuerung beschäftigt sich somit mit der operativen zeitlichen und mengenmäßigen Terminierung, Steuerung und Kontrolle und damit zusammenhängend auch mit der Verwaltung aller Vorgänge, die sich in einem bereits existierenden Produktionsbereich eines Unternehmens abspielen. Wie Abbildung 2-6 zeigt, umfasst die PPS dabei „die Gesamtheit von Dispositionen, die auf die Festlegung eines Absatz- bzw. Produktionspro-

gramms und die Bestimmung des Vollzugs dieses Programms in mengenmäßiger und zeitlicher Hinsicht ausgerichtet sind“ [GlGR92].

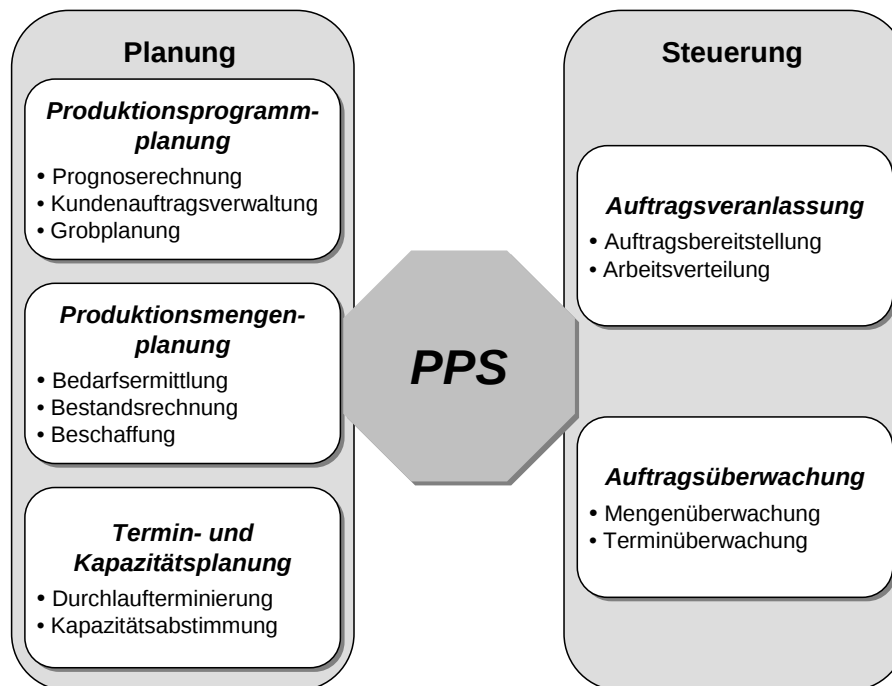


Abbildung 2-6: Funktionen der Produktionsplanung und -steuerung nach [Ever89]

In der Literatur findet sich neben dem Begriff der Produktionsplanung und -steuerung auch der der Arbeitssteuerung (vgl. Abbildung 2-2). Die Inhalte beider Begrifflichkeiten sind die gleichen [Hack89], weshalb sie synonym verwendet werden können. Um zu verdeutlichen, dass im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung keine fabrikplanerischen Aspekte berücksichtigt werden, verwenden Dangelmaier et al. den alternativen Begriff der Fertigungslenkung. Die Aufgabe der Fertigungslenkung besteht im Besonderen darin, für ein gegebenes Fertigungssystem Soll-Daten für einen definierten, zielgerichteten Ablauf des Fertigungsprozesses festzulegen und diesen auf Inkonsistenzen zu überprüfen [DaWa97].

Eine umfassende Darstellung beider Sichten – der ingenieurwissenschaftlichen sowie der betriebswirtschaftlichen – auf die „Produktionsplanung“ bietet das Y-CIM-Modell nach Scheer (Abbildung 2-7). Der linke Ast des Y-CIM-Modells zeigt die Aufgaben der primär betriebswirtschaftlich-planerisch orientierten Produktionsplanung und -steuerung, während der rechte Ast die Leistungsgestaltung beschreibt [Sche98]. Scheer fasst dabei unter dem Begriff der Produktplanung sowohl die Entwicklung des Produktes als auch die Planung und Erstellung der Produktionseinrichtungen zusammen.

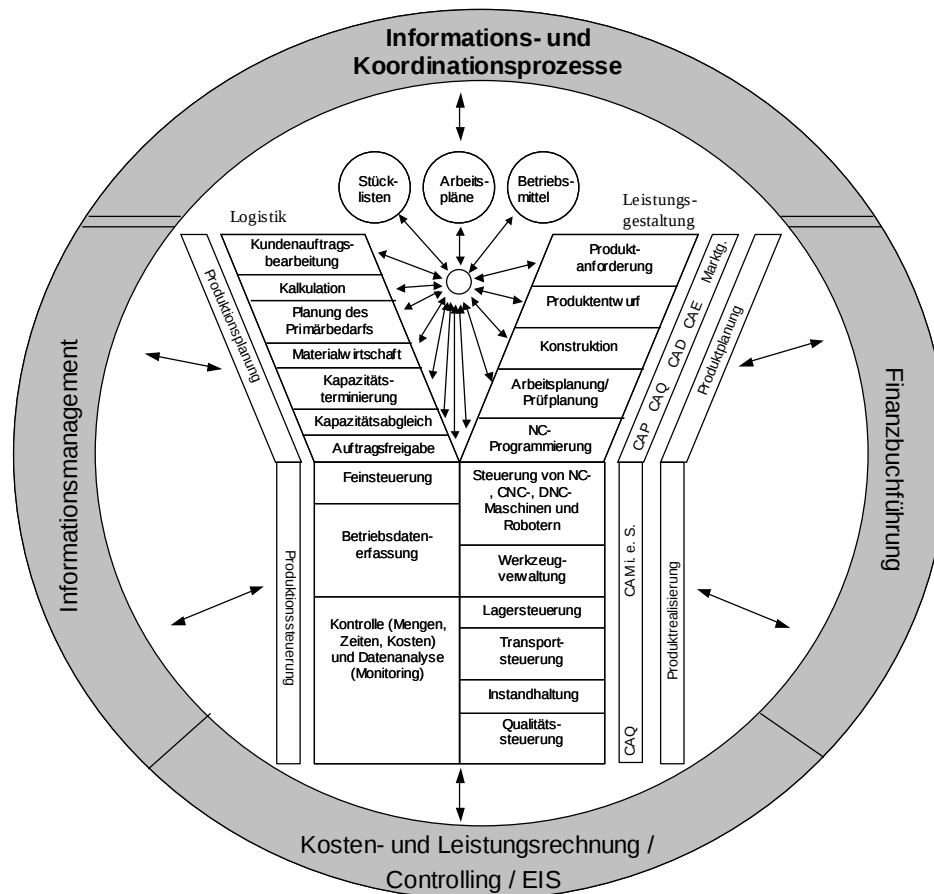


Abbildung 2-7: Y-CIM-Modell nach [Sche98]

2.1.3 Definition der Technischen Produktionsplanung

Aufgrund der in den beiden vorangegangenen Abschnitten erläuterten unterschiedlichen Begrifflichkeiten und der teilweise unterschiedlichen Inhalte der Arbeitsvorbereitung in Abhängigkeit von der Auftragsauslösung wird in Anlehnung an [Bley05] der Begriff der **Technischen Produktionsplanung** eingeführt. Technische Produktionsplanung beschreibt in diesem Zusammenhang die bereits in Abschnitt 2.1.1 erläuterten Aufgaben, die zur Planung und Realisierung eines Produktionssystems für die Serienproduktion, d.h. für die Prozesskette der kundenneutralen Produktentwicklung (vgl. Abbildung 2-4), erforderlich sind.

Der Begriff der Produktionsplanung wird dabei in Anlehnung an den Sprachgebrauch in der industriellen Praxis übernommen. Ein weiteres Argument für seine Verwendung stellt die Tatsache dar, dass er zunehmend sowohl in technischen als auch in wissenschaftlichen Veröffentlichungen gebraucht wird. Um Missverständnisse gegenüber den Aufgaben innerhalb der betriebswirtschaftlichen Sichtweise – der Planung und Steuerung der laufenden Produktion – zu vermeiden und eine klare Abgrenzung dazu zu ermöglichen und zu gewähr-

leisten, wird der Begriff der *Produktionsplanung* um den Zusatz *Technische* ergänzt. Hierdurch soll auch der Bezug zu den technisch-ingenieurwissenschaftlichen Tätigkeiten bei der Planung der vor Produktionsbeginn bereitzustellenden funktionsfähigen Produktionseinrichtungen aufgezeigt werden.

Technische Produktionsplanung wird für das Verständnis dieser Arbeit in Anlehnung an [Ever97, DIN33400] wie folgt definiert:

Die Technische Produktionsplanung beinhaltet alle einmalig auftretenden Planungsmaßnahmen, die das räumliche und zeitliche Zusammenwirken von Mensch und Betriebs- bzw. Arbeitsmittel unter Berücksichtigung der gestellten Anforderungen zur Herstellung von Serienerzeugnissen vorbereiten und sicherstellen.

Unter Planung wird damit neben der Festlegung der erforderlichen Produktionsprozesse und -einrichtungen beispielsweise auch die Entwicklung der erforderlichen Betriebsmittel und SPS-Steuerprogramme verstanden.

Die Technische Produktionsplanung stellt somit einen Oberbegriff für die Planung der Produktionseinrichtungen in speziellen Unternehmensbereichen wie der Teilefertigung, dem Rohbau oder der Montage dar. Die im folgenden Abschnitt näher betrachtete Montageplanung ist somit ein Spezialfall der Technischen Produktionsplanung, da hier im Besonderen die zur Montage von Produkten einzusetzenden Fügetechnologien und Produktionseinrichtungen im Mittelpunkt der Betrachtung stehen.

2.2 Montageplanung

2.2.1 Grundlagen der Montageplanung

Wie bereits erwähnt, kommt der Montage gerade im Rahmen der variantenreichen Serienproduktion eine besondere Bedeutung zu, da ein Großteil der Varianten hier entsteht. Darüber hinaus müssen, da die Montage im Rahmen der Leistungserbringung an der letzten Stelle der Wertschöpfungskette steht, alle Störungen in der Auftragsabwicklung aus vorgelagerten Bereichen in der Montage so weit als möglich kompensiert werden [Schi91]. Somit stellt die Montageplanung aus Sicht der Variantenbeherrschung mehr noch als die Planung der

Teilefertigung das entscheidende Bindeglied zwischen Produktentwicklung und Produktion dar. Wie ebenfalls bereits erläutert, stellt die Montageplanung dabei einen Spezialfall der Technischen Produktionsplanung dar, bei dem die zur Montage eines Produktes erforderlichen Montageabläufe und -einrichtungen geplant werden. Bley et al. beschreiben die Montageplanung als die Planungstätigkeit, „mit deren Hilfe ein technisches System gebildet wird, das in der Lage ist, eine vorgegebene Montagetätigkeit unter Erfüllung bestimmter Randbedingungen durchzuführen“ [BlFo94]. Unter Montage wird dabei „die Gesamtheit aller Vorgänge, die dem Zusammenbau von geometrisch bestimmten Körpern dienen“ [CIRP04] verstanden.

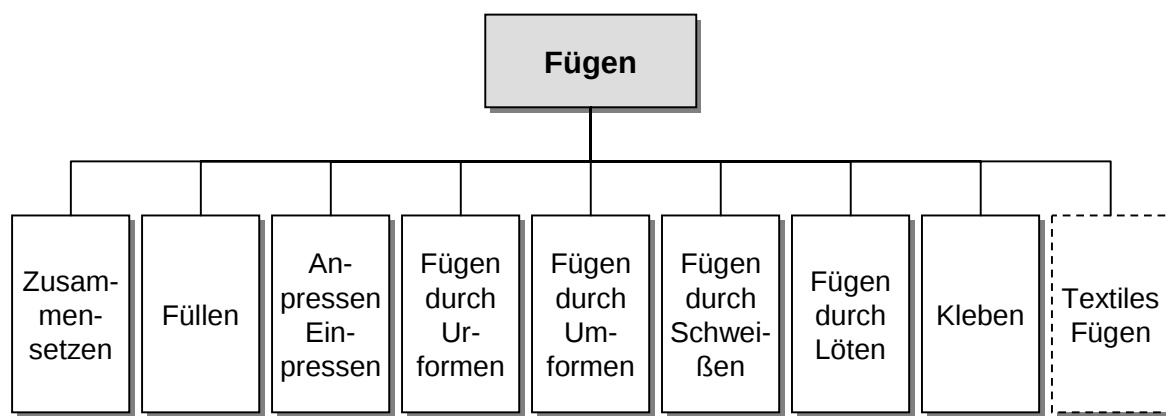


Abbildung 2-8: Einteilung der Fügeverfahren nach [DIN8593]

Dabei umfasst die Montage neben dem eigentlichen Vorgang des Fügens auch die Handhabung der Produkte und Bauteile, das Justieren und Prüfen sowie weitere Sonderfunktionen wie das Erwärmen oder Reinigen [Löhr77]. Die Fügeverfahren werden nach [DIN8593] in neun Kategorien eingeteilt (Abbildung 2-8).

2.2.2 Ablauf der Montageplanung

Die Differenziertheit des durch eine ständig steigende Produktkomplexität verbunden mit einer kontinuierlichen Erhöhung der Typen- und Variantenvielfalt sowie unterschiedlichsten Fertigungsstückzahlen gekennzeichneten Erzeugnissortiments führt zu sehr unterschiedlichen montagetechnischen Lösungen. Daher ist es nicht überraschend, dass es bisher keine für alle Montagebereiche und Montagebedingungen anwendbare einheitliche Planungssystematik gibt. [LoSc94]

Bei einer eingehenden Betrachtung und Analyse verschiedener etablierter Ansätze zur Strukturierung der Tätigkeiten innerhalb der Montageplanung – die Arbeiten von Bullinger [Bull86] und Lotter et al. [LoSc94] seien an dieser Stelle als Beispiele aufgeführt – lassen sich jedoch durchaus Gemeinsamkeiten finden. So zeigt sich trotz unterschiedlicher Benennung und Anzahl an Planungsschritten, dass sich die Inhalte der einzelnen Planungsaufgaben sowie deren zeitliche Abfolge weitestgehend ähneln. Wie bei jeder Planung bilden auch bei der Montageplanung die realen oder prognostizierten Absatzzahlen der zu montierenden Erzeugnisse bzw. Erzeugnisvarianten den Ausgangspunkt für den Aufbau der Montage. Aus den Absatzzahlen lassen sich die Randbedingungen – oftmals als Planungsprämissen bezeichnet – für die nachfolgenden Planungstätigkeiten ableiten. Hierzu gehören in der Regel neben einem ersten Produktionsprogramm und der geplanten zeitlichen Entwicklung der Absatzzahlen, die in so genannten Hochlaufkurven dargestellt werden, auch Kostenvorgaben. Die Vorgaben gelten sowohl für Fixkosten der Montageeinrichtungen als auch für die später zu erzielenden stückzahlabhängigen variablen Kosten, die durch die Montagezeiten und die Materialflusslogistik der gesamten Montage bestimmt werden.

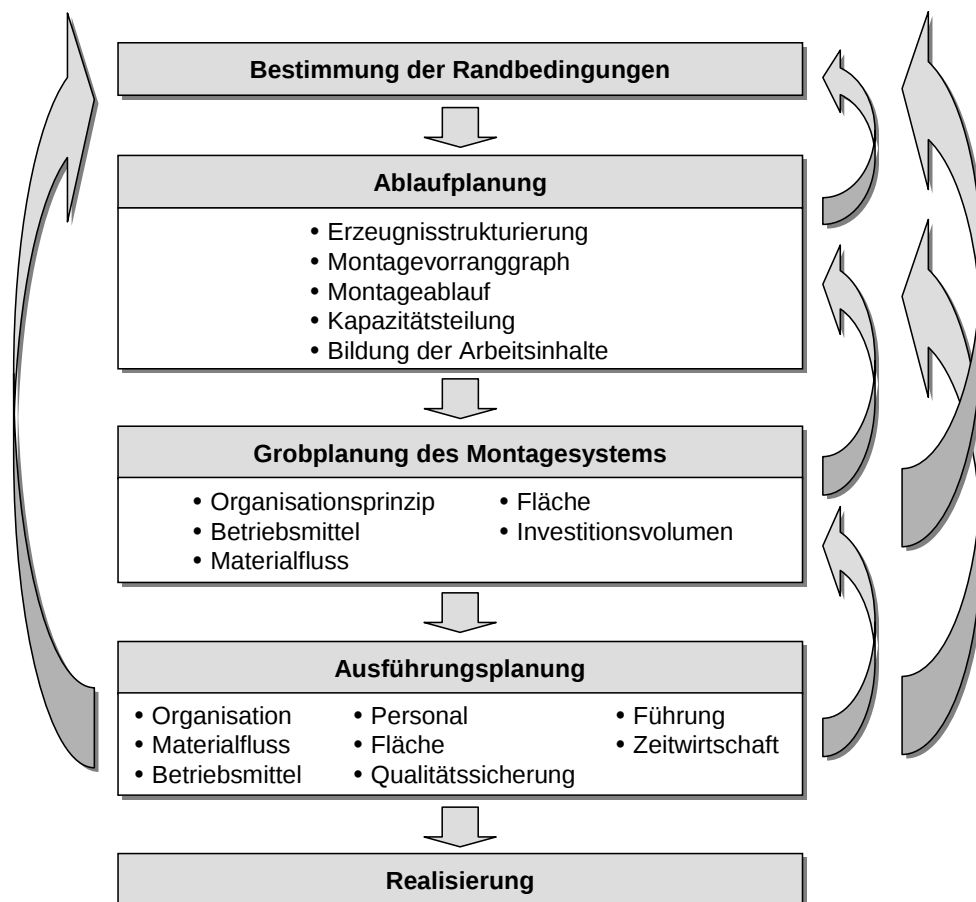


Abbildung 2-9: Ablauf der Montageplanung in Anlehnung an [Bull86, Schi91]

Unter Berücksichtigung der Planungsprämissen wird der Ablauf der Montage geplant (Abbildung 2-9). In der Regel steht hierzu ein erster Entwurf des Erzeugnisses aus der Produktentwicklung zur Verfügung. Falls konstruktionsseitig noch nicht in vollem Umfang erfolgt, wird in einem ersten Schritt eine montageorientierte Erzeugnisgliederung erstellt, die die Basis für die Ermittlung des Montageablaufs bildet [Bull86]. Hierbei zu berücksichtigende Restriktionen hinsichtlich der Vorrangfolge der Montageabläufe können mit Hilfe des Montagevorranggraphen dargestellt werden. Friedmann definiert in diesem Zusammenhang den Begriff des Vorranggraphen wie folgt:

„Der Vorranggraph ist eine graphische Darstellung von Abläufen und deren Abhängigkeiten, aufgebaut aus den Grundelementen Knoten und Kanten. Eine Kante stellt die [...] Verbindung zwischen zwei Knoten dar.“ [Frie89]

Für die Erstellung eines Montagevorranggraphen findet sich in der Literatur eine Vielzahl verschiedener Ansätze, die jedoch weitestgehend auf einem der folgenden Konzepte bzw. Vorgehensweisen beruhen:

- Analyse der Fügeflächen [Gair81, Löhr77, Scho89]
- Erstellung einer Verbindungenliste [Seid98]
- Ermittlung der Demontagefolge [Frie89]
- Montagemerkmale [Amme85]
- Montage- bzw. Demontagesimulation [ChMG05, BlBo06]

Neben den genannten Vorgehensweisen existieren noch weitere Verfahren aus dem Bereich der Produktionsplanung und -steuerung, die auf der Basis von Agenten eine indirekte Berücksichtigung von Vorrangfolgen bei der Planung und Terminierung der Maschinenbelegung erlauben [TöHT02]. Auch die Feature-Technologie, auf die im Abschnitt 5.2.2 noch näher eingegangen wird, liefert entsprechende Ansätze zur Ermittlung einer (optimalen) Montagefolge auf der Grundlage eines existierenden Produktmodells.

In der industriellen Praxis, speziell auch bei Unternehmen mit weniger komplexen Produktstrukturen, wird oftmals auf die Erstellung eines Montagevorranggraphen verzichtet und direkt der Montageablauf aus der Erzeugnisgliederung in Form einer Zusammenbaufolge ermittelt. Wird die Zusammenbaufolge noch um weitere Tätigkeiten, die nicht dem Prinzip des Teilezuwachses entsprechen, – Prüfen oder Justieren seien hier als Beispiele genannt –

ergänzt, ergibt sich die Abfolge der Montageprozesse. Diese können beispielsweise in einem Prozessgraphen dargestellt und durch das Hinzufügen weiterer Prozessattribute wie der geschätzten Bearbeitungszeit näher spezifiziert werden.

Im Anschluss an die Ablaufplanung erfolgt, wie Abbildung 2-9 illustriert, die Grobplanung des Montagesystems. Auf der Basis eines weitestgehend lösungsneutralen – sowohl bezüglich der einzusetzenden Technologie als auch bezüglich der zu verwendenden Montageeinrichtungen und -mittel – Prozessgraphen werden nach der Festlegung des Organisationsprinzips des Montagesystems die zur Realisierung der Montageaufgaben erforderlichen Betriebsmittel ausgewählt. Durch die Festlegung des Layouts werden der Materialfluss sowie die benötigte Fläche bestimmt. Unter Berücksichtigung dieser Daten wird eine erste Abschätzung des Investitionsvolumens der zu planenden Anlage möglich. In der anschließenden Ausführungsplanung werden die in der Grobplanung bestimmten Vorgaben und Lösungen weiter detailliert, bevor die Realisierung und der Anlauf des Montagesystems erfolgen.

Die Aufgaben der Ablaufplanung sowie der nachfolgenden Grobplanung decken sich damit weitestgehend mit den bereits zuvor aufgeführten Aufgaben der Prozessgestaltung (vgl. Tabelle 2-1).

Innerhalb der Montageplanung werden die in Abbildung 2-9 dargestellten Phasen mehrfach durchlaufen, da Zwischenergebnisse Änderungen der Vorgaben der vorangegangenen Planungsschritte erforderlich machen. Je stärker hierbei eine Parallelisierung von Produktentwicklung und Montageplanung im Rahmen des Simultaneous Engineering erfolgt, desto häufiger werden ohne eine verbesserte Abstimmung der Produktentwicklungs- und Planungstätigkeiten Iterationen innerhalb des Planungsablaufs erforderlich.

2.2.3 Werkzeuge und Methoden der Montageplanung

Wie der vorherige Abschnitt zeigt, kann eine Klassifizierung der Betrachtungsgegenstände der Montageplanung im Speziellen sowie der Technischen Produktionsplanung im Allgemeinen in die drei Gruppen

- Produkt,
 - Prozess und
 - Ressource
-

erfolgen. Als Basis für die Ausführungsplanung ist es die Aufgabe des bzw. der Planungsexperten, eine Verknüpfung zwischen zu montierenden Komponenten, durchzuführenden Montagetätigkeiten und hierzu erforderlichen Werkern und Betriebsmitteln (Ressourcen) herzustellen. Zur Beschleunigung der iterativen Durchführung der Montageplanung wird zunehmend der Einsatz moderner IT-Werkzeuge angestrebt, auf die in den folgenden Abschnitten sowie im Kapitel 3 näher eingegangen wird. Eine detaillierte Darstellung und Erläuterung der Anforderungen an eine rechnerunterstützte Montageplanung sowie eine Übersicht mit abschließender Bewertung über bestehende Ansätze zur Rechnerunterstützung speziell in der Montageplanung finden sich in [Fran03].

Zur Verringerung der in der Montageplanung erforderlichen Iterationen wird parallel zur Einführung der Rechnerunterstützung die Definition und Verwendung von Standards sowohl im Bereich einheitlicher und mit der Produktentwicklung abgestimmter Planungsworkflows als auch beim Einsatz standardisierter Montageprozesse und Ressourcen vorangetrieben. Hierbei muss jedoch stets beachtet werden, dass Innovationen durch die Standardisierungsbemühungen nicht behindert oder sogar verhindert werden.

Grundlage für die Darstellung der Montageprozesse bildet die Netzplantechnik. Größtenteils finden bei der Planung der Prozesse sowohl für die Montage als auch für die Fertigung MPM (Meta Potential Method) Netzpläne Anwendung. Wie in Abbildung 2-10 dargestellt, werden hierbei Vorgänge durch Knoten repräsentiert; aus den Pfeilen sind Anordnungs- und Reihenfolgebeziehungen zwischen Vorgängen ersichtlich. Ferner lassen sich mit Hilfe der Pfeile auch die bereits angesprochenen Fertigungs- bzw. Montagerestriktionen in Form von Reihenfolgeabhängigkeiten abbilden. Nähere Informationen zur Netzplantechnik und ihren Einsatzmöglichkeiten in der Montageplanung finden sich in [Fran03, Götz72].

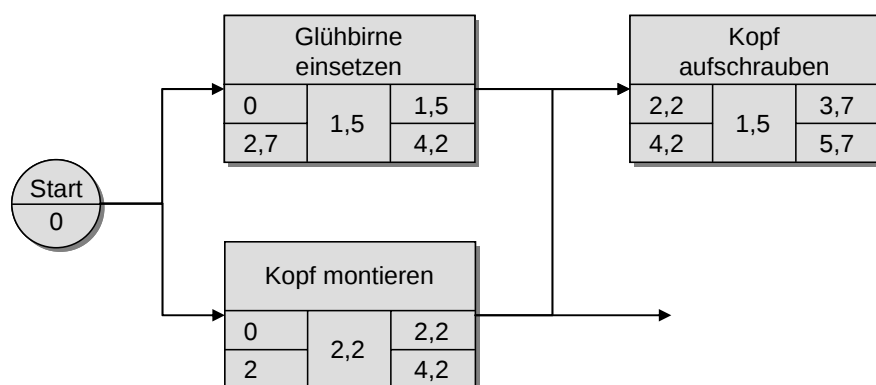


Abbildung 2-10: Beispiel eines MPM-Netzplans

Ein weiterer Aspekt, der sich aufgrund der zunehmenden Verkürzung der Produktionszyklen eines Produktes und immer unvorhersagbarer Märkte gerade im Bereich der Montage bzw. der Montageplanung bemerkbar macht, ist die Forderung nach der Gestaltung schlanker, hybrider und wandlungsfähiger Produktionssysteme [BuKo05]. Ein Ansatz hierzu ist der stufenweise Aufbau eines skalierbaren Produktionssystems über dessen Lebenszeit. Dies ermöglicht es, die Produktionssysteme sowohl bei steigenden als auch bei sinkenden Stückzahlen eines Produktes sukzessive an die neuen Gegebenheiten anpassen und dadurch jederzeit wirtschaftlich produzieren zu können ohne kostspielige Überkapazitäten vorhalten zu müssen. Neben der Schaffung der notwendigen technologischen und organisatorischen Rahmenbedingungen zum Aufbau wandlungsfähiger Produktionssysteme ist es darüber hinaus erforderlich, alternative Produktions- bzw. Fertigungskonzepte planen, vergleichen und bewerten zu können [BuKW04].

2.3 Digitale Fabrik

Da sich die zunehmende Komplexität der Planungstätigkeiten sowie die kontinuierliche Verkürzung der zur Verfügung stehenden Planungszeiten nur noch durch den effektiven Einsatz moderner IT-Technologie bewältigen lassen, wird ihrer Einführung in vielen Unternehmen aktuell eine hohe Bedeutung beigemessen.

„Die Feststellung, dass Produktionssysteme heute flexibler und reaktionsschneller geplant werden müssen, ist [ebenfalls] unbestritten. Als Universalwerkzeug zur Revolutionierung produktionstechnischer Planungsprozesse ist die Digitale Fabrik gegenwärtig Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher und industrieller Veröffentlichungen und Veranstaltungen.“ [ZäPF03]

Während manche die Realisierung der Digitalen Fabrik bereits in greifbarer Nähe sehen [Dowi02], für andere ihre Potentiale noch nicht ausgeschöpft [Bran05] sind, ist sie gerade für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) noch eine Zukunftsvision. So vielfältig die Nutzenpotentiale der Digitalen Fabrik von ihren Anwendern gesehen werden, so unterschiedlich ist teilweise auch das Verständnis darüber, was genau unter der Digitalen Fabrik zu verstehen ist. Daher werden im Folgenden der Begriff der Digitalen Fabrik näher beleuchtet und ihre Ziele aufgezeigt. Da die Digitale Fabrik gerade für KMU noch eine Hürde darstellt, werden ihre Einsatzmöglichkeiten speziell im Umfeld kleiner und mittlerer Unternehmen nochmals näher

betrachtet. Abschließend werden die zukünftig noch zu bearbeitenden Handlungsfelder aufgezeigt.

2.3.1 Begriffsbestimmung und -definition

Wie bereits erwähnt, existieren auch bezüglich des Begriffs der Digitalen Fabrik unterschiedliche Auffassungen. Eine Auflistung und Gegenüberstellung verschiedener Verständnisse liefern Zäh et al. [ZäPF03]. Nach der nahezu einhelligen Meinung der Autoren wird der Zweck der Digitalen Fabrik in der Erstellung einer mehr oder weniger vollständigen, realitätsnahen Abbildung der realen Produktionsstätte im Rechner gesehen [DoTB01, GeRe04, Marc04, Schr03, Siem02]. Dabei herrscht auch in einer Vielzahl der Beiträge Einigkeit darüber, dass die Implementierung einer Digitalen Fabrik eng mit der Integration der bisher nur als Insellösungen eingesetzten Softwarewerkzeuge zur Planungsunterstützung verknüpft ist. Darüber hinaus müssen die Einführung sowie der Einsatz moderner Softwarewerkzeuge auch methodisch unterstützt werden. Eng verflochten mit den „neuen“ IT-Tools sind in diesem Zusammenhang auch neue Planungsmethoden, da nur so die vorhandenen Potentiale überhaupt genutzt werden können. Die Umsetzung der Digitalen Fabrik muss somit im Einklang mit der Einführung und Entwicklung von Planungsmethoden erfolgen, deren Umsetzung softwaretechnisch unterstützt werden muss. Dabei untermauert die Einschätzung von Reinfelder et al., dass 20 Prozent des Fortschritts durch neue Softwarelösungen, 80 Prozent jedoch durch veränderte Arbeitsabläufe und Denkweisen der Mitarbeiter erreicht werden können [ReKo02], die Auffassung, dass die Digitale Fabrik Werkzeug und (vor allem) Methode ist und dies auch sein muss.

Diese Einschätzung wird auch durch die in Vorbereitung befindliche VDI-Richtlinie 4499 unterstützt, die den Begriff *Digitale Fabrik* wie folgt definiert:

„Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u.a. der Simulation und 3D-Visualisierung –, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden.“ [VDI4499]

Neben *Digitaler Fabrik* finden sich in aktuellen Berichten aus Forschung und Praxis auch oftmals die Begriffe *Virtuelle Fabrik* bzw. synonym verwendet *Virtuelle Produktion*. Auch hierbei gibt es eine uneinheitliche, teilweise auch widersprüchliche Verwendung der Begriffe. Westkämper verwendet in diesem Zusammenhang den Begriff *Digitale Fabrik* für „ein

digitales Abbild, eine Simulation, der Einrichtungen und Objekte der Fabriken und der Werkzeuge für das Industrial Engineering“ [West05]. Reinhart et al. hingegen formulieren eine klare Abgrenzung zwischen der Digitalen und der Virtuellen Fabrik. Die Virtuelle Produktion bezeichnet für sie „die durchgängige, experimentierfähige Abbildung von Produktionsprozessen und -anlagen mit Hilfe digitaler Modelle“ [ReBF02], während die Digitale Fabrik „die Gesamtheit der Mitarbeiter, Softwarewerkzeuge und Prozesse [darstellt], die zur Erstellung der virtuellen und [der] realen Produktion notwendig ist“ [ReBF02]. Die Trennung zwischen den Methoden und Werkzeugen in der Digitalen Fabrik und der digitalen Abbildung der Produktion in Form der Virtuellen Produktion erlaubt dabei eine klare Abgrenzung der Begriffe. Die Digitale Fabrik stellt somit für das Verständnis dieser Arbeit das Bindeglied zwischen realer und virtueller Produktion [ZäPF03] dar.

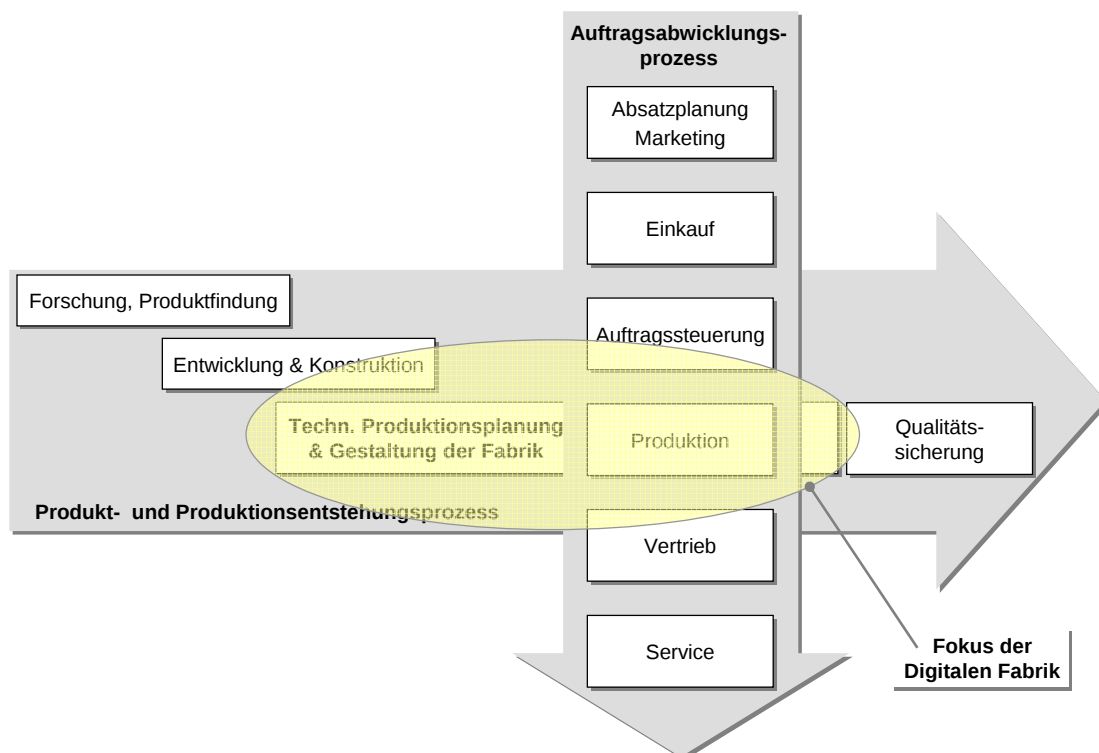


Abbildung 2-11: Fokus der Digitalen Fabrik in Anlehnung an [BIFZ03, VDI4499]

Wie Abbildung 2-11 zeigt, liegt der Fokus der Digitalen Fabrik auf dem Bereich der Technischen Produktionsplanung. Hierdurch ergeben sich im Bereich des Produkt- und Produktionsentstehungsprozesses auf der einen Seite Schnittstellen zur Entwicklung und Konstruktion, auf der anderen Seite bestehen Schnittstellen zur Produktion selbst sowie zu der nachgelagerten Qualitätssicherung. Hier sei jedoch erwähnt, dass der Fokus der Digitalen Fabrik im Rahmen der Produktion hauptsächlich auf der laufenden Optimierung der Produktionsabläufe und -einrichtungen sowie auf einem Abgleich zwischen realer und virtueller Produktion liegt.

Für den Bereich der Produktionsplanung und -steuerung stellt die Digitale Fabrik lediglich die aus dem Bereich der Planung der Produktionseinrichtungen benötigten Daten zur Verfügung, wenngleich auch die digitalen Modelle der Produktion, beispielsweise aus dem Bereich der Materialflusssimulation, für die Planung des Produktionsprogramms sowie für die Produktionssteuerung verwendet werden können [Selk05].

2.3.2 Ziele der Digitalen Fabrik

Die VDI-Richtlinie 4499 sieht das Ziel der Digitalen Fabrik in der „ganzheitliche[n] Planung, Evaluierung und laufende[n] Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt“ [VDI4499]. Unabhängig vom spezifischen Einsatzbereich und der jeweiligen Sicht der unterschiedlichen Anwender wird mit der Nutzung der Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik die Optimierung von Zeit, Kosten und Qualität verfolgt.

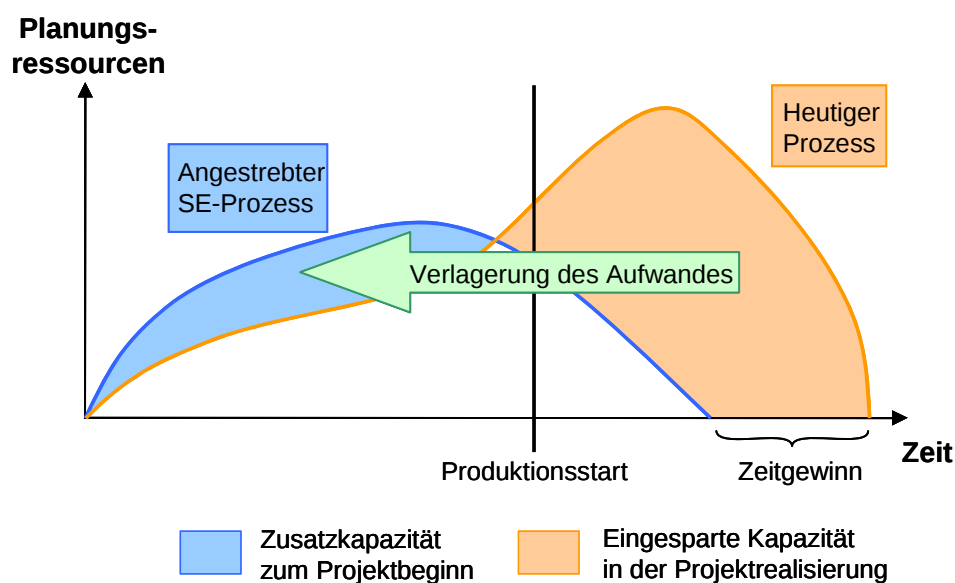


Abbildung 2-12: Angestrebter Nutzen der Digitalen Fabrik nach [Schi03]

Durch den frühzeitigen Einsatz digitaler Planungswerkzeuge sowie die dadurch ermöglichte effektive Parallelisierung von Produktentwicklung und Technischer Produktionsplanung wird, wie Abbildung 2-12 zeigt, ein Zeitgewinn bei der Projektrealisierung und dem Produktionsanlauf angestrebt. Der hierfür zu Projektbeginn benötigten Zusatzkapazität stehen erhebliche Kapazitätseinsparungen zum Projektende gegenüber. Somit kann die Digitale Fabrik einen entscheidenden Beitrag zur Verkürzung des Produktionsanlaufs, dessen Beschleunigung unter

dem Stichwort des Fast Ramp-Up Gegenstand vielfältiger aktueller Forschungsaktivitäten ist, liefern. [Kuhn02, FLSL04] seien hierzu als Beispiele genannt.

Durch den Einsatz der Digitalen Fabrik soll sich die benötigte Planungszeit um bis zu 40% bei gleichzeitig höherer Planungsqualität verkürzen lassen [ScSe02, ReKo02]. Gleichzeitig verspricht man sich eine Verkürzung des Produktionsanlaufs um mehr als 30% und eine Reduzierung des Planungsaufwands um bis zu 40% [Meng05b]. Auch wenn diese Aussagen kritisch zu hinterfragen sind, zeigen sie doch das große Potential, das die Digitale Fabrik in sich birgt.

Neben einer Zeitverkürzung zielt die Digitale Fabrik auch auf die Senkung der Planungskosten bei einer gleichzeitigen Steigerung der Planungsqualität ab. Dabei haben sowohl die Verkürzung der Planungszeit als auch die Erhöhung der Planungsqualität einen entscheidenden Einfluss auf die sich einstellenden Kosten. Durch den Einsatz digitaler Werkzeuge können Planungsergebnisse bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt vor der Realisierung der Einrichtungen und Anlagen im Rechner überprüft werden. Hierdurch wird es möglich, Planungsfehler nahezu kostenneutral zu beheben. Gerade auch bei immer wieder erforderlichen Änderungen sowohl am Produkt als auch an den Produktionsprozessen und -einrichtungen lassen sich mit Hilfe der Digitalen Fabrik aufgrund ständig aktueller Planungsdaten erhebliche Vorteile gegenüber der konventionellen Planung erzielen. Darüber hinaus können mögliche Planungsalternativen durch vernetzte Datenbankstrukturen und ein entsprechendes Wissensmanagement effizient erzeugt werden.

Weitere Ziele, die mit der Einführung und Nutzung von Werkzeugen und Methoden der Digitalen Fabrik verfolgt werden, sind:

- eine verbesserte Kommunikation aller an der Planung beteiligten Unternehmen, Abteilungen und Personen,
- Standardisierung sowie
- ein erweitertes Wissensmanagement.

Eine ausführliche Beschreibung dieser Ziele findet sich in [VDI4499].

In diesem Zusammenhang muss noch erwähnt werden, dass der erzielbare Nutzen bei der Einführung der Digitalen Fabrik nur schwer quantifizierbar ist. Ein erster Ansatz zur Bewertung von Nutzen und Aufwand der Digitalen Fabrik unter Einsatz objektiver und subjektiver

Kriterien wird von Zäh et al. vorgestellt. Ist eine monetäre Bewertbarkeit, eine zeitnahe Auswirkung und eine direkte Messbarkeit bzw. Beurteilbarkeit gegeben, wird von einer objektiven Bewertung gesprochen; für die subjektive Bewertung werden Kriterien berücksichtigt, die nur qualitativ bewertbar sind bzw. die sich erst mittel- bzw. langfristig monetär bewerten lassen [ZäCS05].

2.3.3 Digitale Fabrik für KMU

Ausgangssituation

Während nahezu alle größeren Industrieunternehmen die Unterstützung ihrer Planungsprozesse mit Hilfe digitaler Werkzeuge vorantreiben, stellt die Einführung der Digitalen Fabrik insbesondere kleine und mittlere Unternehmen vor erhebliche Schwierigkeiten. Zulieferer der Großunternehmen stehen dabei oftmals noch vor dem zusätzlichen Problem, ihre Softwareprogramme auf die unterschiedlichen Lösungen ihrer Kunden abstimmen zu müssen [Düra03]. Im ungünstigsten Fall kann dies bei fehlenden Datenschnittstellen dazu führen, dass ein Zulieferer zwangsläufig mehrere Planungswerkzeuge verschiedener Softwareanbieter parallel einsetzen muss, um keine Kundenaufträge zu verlieren. In [Schm03] werden verschiedene Lösungsansätze der Zuliefererintegration aufgezeigt und gegenübergestellt. Trotz der technischen Realisierbarkeit der dort vorgeschlagenen Lösungen zeichnet sich eine allgemeingültige und standardisierte Vorgehensweise bisher noch nicht ab.

Neben den hohen Kosten – sowohl Softwarekosten als auch Kosten für Beratungs- und Schulungszwecke –, die mit der Einführung der Digitalen Fabrik verbunden sind, muss ein Unternehmen zusätzlich auch erhebliche personelle Ressourcen an hochqualifizierten und damit auch kostenintensiven Fachkräften zur Verfügung stellen, um neben der Softwareeinführung auch die unternehmensinternen Planungsabläufe anzupassen. Bedingt durch die ohnehin knappen Ressourcen und den steigenden Kostendruck in kleinen und mittleren Betrieben [Bern05] ist eine konsequente Einführung der Digitalen Fabrik hier fast nicht zu bewerkstelligen.

Daher werden die Werkzeuge der Digitalen Fabrik gerade im Bereich kleinerer Anlagenbauer oftmals nur für eine Art „Schattenplanung“ eingesetzt. Dies bedeutet, dass die Unternehmen ihre Planungsaufgaben wie bisher hauptsächlich mit „einfacher“ Standardsoftware – MS

Excel und MS Powerpoint seien hier als Beispiele genannt – und CAD-Systemen durchführen. Die Werkzeuge der Digitalen Fabrik werden lediglich eingesetzt, um die auf konventionellem Weg erzielten Planungsergebnisse in einer vom Kunden geforderten Form zu dokumentieren. Diese Vorgehensweise mündet jedoch über kurz oder lang in einen Teufelskreis. Dadurch, dass es den Unternehmen nicht möglich wird, die Potentiale der Digitalen Fabrik für sich zu erschließen, wird die geforderte Verkürzung der Planungszeiten nur mit einem überproportional hohen Einsatz an personellen Ressourcen zu bewerkstelligen sein, wobei Qualitätsaspekte der Planung noch nicht berücksichtigt sind. Bedingt durch die Auslastung der Mitarbeiter mit dem Tagesgeschäft fehlt die Zeit, die Einführung digitaler Werkzeuge und die damit verbundene Anpassung der Planungsabläufe voranzutreiben.

Lösungsansätze

Ein Lösungsweg, um kleinen und mittleren Unternehmen bei der Einführung der Digitalen Fabrik eine Hilfestellung zu geben, wird von Dombrowski et al. mit der Installation so genannter Digitaler-Fabrik-Zentren (DFZ) beschrieben. Ziel ist es dabei, dem KMU die benötigten Planungswerkzeuge und -leistungen direkt und speziell für sein Unternehmen maßgeschneidert zur Verfügung zu stellen, so dass es mit seinen verfügbaren Planungswerkzeugen weiterarbeiten und lediglich eine Schnittstelle zur Digitalen Fabrik seiner Kunden bedienen muss. Die Besonderheit hierbei ist, dass während des Planungszeitraums ein kontinuierlicher Wissenstransfer vom Digitale-Fabrik-Zentrum zum KMU erfolgt, so dass mittelfristig der Planungsanteil mit modernen Werkzeugen der Digitalen Fabrik bei gleich bleibender Planungskapazität des Unternehmens erhöht werden kann. Langfristig soll das DFZ nur noch einen geringen Anteil an Beratungsfunktionen ausüben und gegebenenfalls die benötigten Planungswerkzeuge bereitstellen. [DoTQ05]

Hier stellt sich jedoch die Frage, inwieweit die Einführung der Digitalen Fabrik, einem „umfassenden Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen [...], die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden“ [VDI4499], für ein mittleres Unternehmen überhaupt Sinn macht. Westkämper et al. definieren die folgenden Anforderungen an digitale Planungswerkzeuge als Voraussetzung für ihre Integration in ein mittleres Unternehmen [WeBK03]:

- Skalierbarkeit in Bezug auf Einsatzbereich und Datenmodell
 - handhabbare Komplexität
-

- Integrationsfähigkeit vorhandener Software
- kostengünstige Realisierung durch abgestimmten Funktionsumfang

Darüber hinaus benötigt gerade ein KMU eine zusätzliche Workflow-Komponente in der Software, die es bei der schrittweisen Abarbeitung der jeweils erforderlichen Planungsschritte unterstützt. Ein Ansatz zur Erfüllung der oben genannten Anforderungen besteht in der Implementierung einer Integrationsplattform, die sowohl die „Standardwerkzeuge“ der Digitalen Fabrik als auch spezielle, auf die Belange von kleinen und mittleren Unternehmen abgestimmte Planungswerkzeuge über eine einheitliche Datenverwaltung verknüpft. Eine prototypische Lösung hierzu wird von Westkämper et al. in [WeBK03] präsentiert.

Da die Einführung der digitalen Planung in der Regel grundlegende Änderungen in den Planungsabläufen eines Unternehmens nach sich zieht, muss die Wichtigkeit der Anforderung der Integrationsfähigkeit vorhandener Software kritisch hinterfragt werden. Weitaus wichtiger als die Verwendung der bisher genutzten Planungsstandardsoftware aus dem Bereich der Office-Anwendungen, die auch Ausdruck der bisherigen konventionellen Planungsweise ist, muss die Forderung nach der intuitiven Bedienbarkeit der Planungswerkzeuge bzw. des Planungswerkzeugs angesehen werden. So stellt sich die Frage, ob aufgrund der zunehmenden Schnittstellenproblematik zu den Werkzeugen der Digitalen Fabrik der großen OEMs bei Einsatz mehrerer Einzellösungen ein einzelnes, rudimentäres Planungswerkzeug für ein KMU nicht ausreichend ist. Dabei muss jedoch sichergestellt werden, dass sich die Bedienung an die bekannten Office-Anwendungen und zur Implementierung des geänderten Planungsworkflows an bestehende Projektmanagementwerkzeuge wie beispielsweise MS Projekt anlehnt.

Wie bereits im Abschnitt 2.2.3 ausgeführt, ist es das Ziel der der Technischen Produktionsplanung und im Speziellen der Montageplanung, eine Verknüpfung zwischen zu produzierenden Komponenten, durchzuführenden Prozessen und hierzu erforderlichen Ressourcen herzustellen. Den Planungsprozess effektiv zu unterstützen bedeutet in diesem Zusammenhang, den Planungsexperten mittels digitaler Werkzeuge bei der Erstellung dieser Verknüpfungen eine Hilfestellung zu geben. Betrachtet man darüber hinaus den Planungsprozess von KMU – sowohl im Bereich der Komponenten- als auch der Anlagenlieferanten – näher, zeigt sich, dass für eine zielführende Planungsunterstützung oftmals einfachste statische Hilfsmittel zur Materialflussoptimierung sowie zur Kapazitäts- und Kostenberechnung fehlen. Abbildung 2-13 zeigt in Form einer Mind-Map einen Entwurf für den Aufbau sowie den Funktionsum-

fang eines digitalen Planungswerkzeugs, das auf die Belange von kleinen und mittleren Unternehmen angepasst ist.

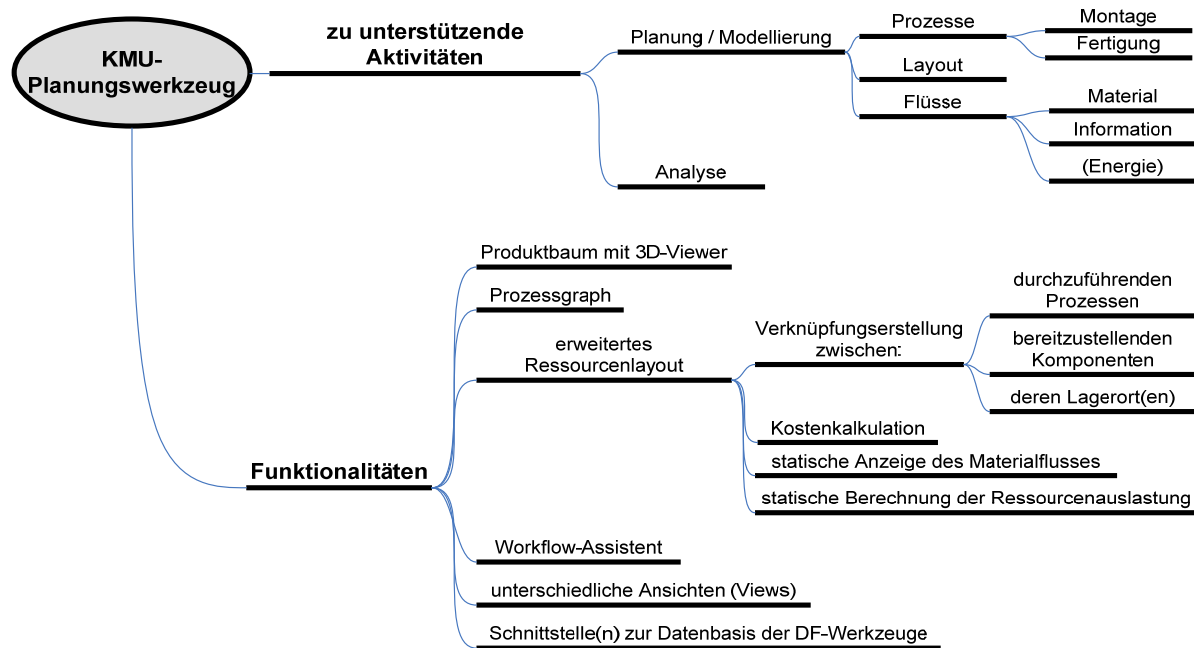


Abbildung 2-13: Umfang eines digitalen Planungswerkzeugs für KMU

2.3.4 Handlungsfelder

Konkrete Lösungen für den Einsatz digitaler Planungswerkzeuge in kleinen und mittleren Unternehmen existieren bisher noch nicht [WeBK03]. Darüber hinaus konnte die Frage, „wie viel“ Digitale Fabrik ein KMU überhaupt benötigt, noch nicht abschließend beantwortet werden. Daher stellt gerade die Einführung digitaler Planungswerkzeuge bei KMU ein zentrales Handlungsfeld in der zukünftigen Entwicklung der Digitalen Fabrik dar.

Jedoch ist das Thema der Digitalen Fabrik auch bei den großen OEMs heute alles andere als gelöst [ZäSC05]. Die Ursachen hierfür liegen zum einen im Bereich der Softwarewerkzeuge. Neben noch unzureichenden Funktionalitäten verschiedener IT-Tools stellt die Verknüpfung der vormals isolierten Werkzeuge die Systemanbieter vor teilweise noch nicht befriedigend gelöste Probleme. Zum anderen stellen die notwendige Umgestaltung bestehender Planungsabläufe und die oftmals fehlende Einführungsunterstützung im methodischen sowie im organisatorischen Bereich noch eine Einführungshürde dar.

Während die Werkzeuge der Digitalen Fabrik im folgenden Kapitel nochmals näher betrachtet werden, sind nachfolgend die zukünftigen Handlungsfelder losgelöst von der konkreten softwaretechnischen Umsetzung noch einmal etwas näher beleuchtet.

Soll sich die Digitale Fabrik nahtlos in den Simultaneous Engineering Prozess einfügen, so muss in einem ersten Schritt auch eine Parallelisierung der verschiedensten Planungstätigkeiten ermöglicht werden. Hierzu ist es erforderlich, dass für die Durchführung einer Planungsaufgabe stets der Zugriff auf alle verfügbaren Daten in ihrer jeweils aktuellsten Form gewährleistet ist.

Gerade im Bereich der 3D-Planung zeigen sich hierbei jedoch noch deutliche Defizite. Innerhalb der verschiedensten Disziplinen der Technischen Produktionsplanung werden teils aus historischen und teils aus technischen Gründen unterschiedliche CAD-Werkzeuge eingesetzt. Um die verschiedensten Geometriemodelle in einem gemeinsamen Modell nutzen zu können, müssen diese aus dem nativen Format in ein gemeinsames Format überführt werden. Hierdurch entstehen jedoch neben einem teils erheblichen Zeitverlust auch immer noch Informationsverluste durch die Konvertierung. [ZäFN04]

In diesem Zusammenhang spielt neben der Implementierung von Schnittstellen zwischen einzelnen Softwarewerkzeugen auch die Entwicklung geeigneter, abgestimmter Planungsprozesse und Methoden – auch zur Ermöglichung einer verbesserten Kommunikation der an der Technischen Produktionsplanung beteiligten Bereiche untereinander – eine wichtige Rolle [ZäPF03].

Darüber hinaus ist für eine zielgerichtete Parallelisierung von Produktentwicklung und Technischer Produktionsplanung eine Brücke zwischen diesen beiden Bereichen zu spannen (vgl. Abbildung 2-14). Auch hierbei geht es nicht nur darum, entsprechende Schnittstellen zur Übertragung der Produktgeometrien bereitzustellen. Vielmehr ist es erforderlich, Produkt- und Produktionsmodell miteinander zu verzahnen, um den jeweiligen Entwicklungs- und/oder Planungsfortschritt auf beiden Seiten effektiv aufeinander abstimmen zu können. Hierzu bietet sich auf Seiten der Technischen Produktionsplanung die Prozessplanung an, deren Aufgabe die Ermittlung und Spezifizierung der erforderlichen Produktionsprozesse sowie der hierzu benötigten Ressourcen ist, da sie in der Regel den Startpunkt der eigentlichen Planung der Produktionseinrichtungen darstellt. Die Verzahnung von Produkt- und Produktionsmodell kann jedoch nur dann umgesetzt werden, wenn entweder die Datenmodelle der Produktentwicklung um planungsrelevante Informationen oder die der Technischen Produktionsplanung

um Daten der Produktentwicklung erweitert werden. Gerade auch vor dem Hintergrund, ein funktionsfähiges Änderungsmanagement im Rahmen des SE-Prozesses zu gewährleisten, ist die Brücke zwischen Produktentwicklung und Technischer Produktionsplanung auf der einen und darüber hinaus zwischen den Werkzeugen der Technischen Produktionsplanung auf der anderen Seite von entscheidender Bedeutung.

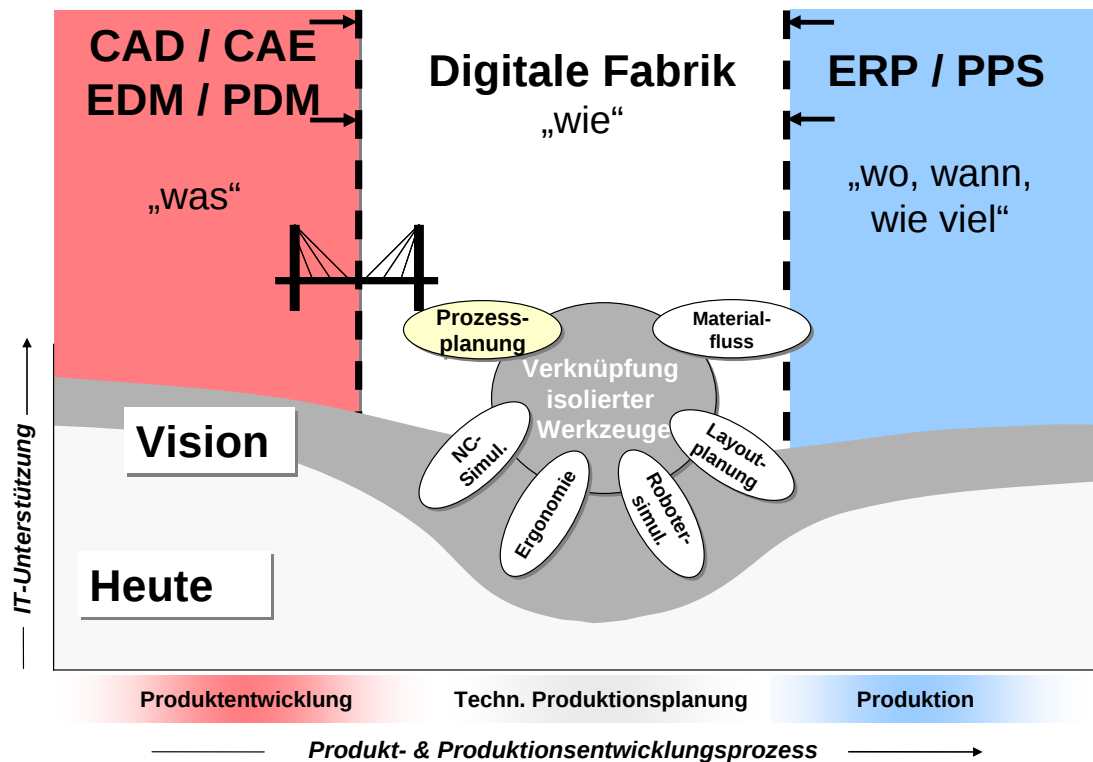


Abbildung 2-14: Handlungsfelder der Digitalen Fabrik

Für die erfolgreiche Einführung der Digitalen Fabrik in einem Unternehmen ist es ferner unabdingbar, geeignete „Einführungsleitfäden“ und „Best Practice Lösungen“ sowohl im softwaretechnischen als auch im planungsmethodischen Bereich zur Verfügung zu stellen. Hierzu werden Beiträge sowohl von Softwareherstellern und Industrieunternehmen als auch von Seiten der Wissenschaft benötigt. Erste Hilfestellungen für die Einführung digitaler Planungswerkzeuge finden sich dabei bereits in [VDI4499].

3 IT-Unterstützung in der Technischen Produktionsplanung

Um bei der Erarbeitung eines Variantenmanagementkonzepts für die Planung von Produktionseinrichtungen die hierzu verfügbaren Planungswerkzeuge zu berücksichtigen bzw. um den zu entwickelnden Ansatz mit dem bereits existierenden Funktionsumfang der bereits bestehenden IT-Lösungen abgleichen zu können, wird in diesem Kapitel die IT-Unterstützung in der Technischen Produktionsplanung näher betrachtet und analysiert.

Hierzu werden nach einer Einführung in die Thematik sowohl kommerzielle Anwendungen als auch Anwendungen aus den Bereichen Forschung und Entwicklung berücksichtigt. Aufgrund der Vielzahl der von einem Planungswerkzeug bereitzustellenden Funktionalitäten erscheint es nicht zweckmäßig, für die prototypische Implementierung eines Ansatzes zur effektiven Berücksichtigung von Varianten in der Technischen Produktionsplanung eine eigenständige IT-Lösung zu erstellen. Vielmehr bietet es sich an, bestehende Lösungen zu erweitern. Auf der Grundlage der Analyse des Einsatzbereichs und der Funktionalitäten der bestehenden IT-Werkzeuge und -Lösungen werden daher abschließend geeignete Werkzeuge für die Implementierung des Variantenmanagementkonzepts ermittelt.

3.1 Einführung

Während die CAD-Unterstützung im Bereich der Produktentwicklung heute zu einem festen und unabdingbaren Bestandteil in nahezu allen Unternehmen in den unterschiedlichsten Branchen geworden ist, steckt eine durchgängige und flächendeckende IT-Unterstützung bei der Planung der Produktionseinrichtungen noch in ihren Anfängen.

Wie eine repräsentative Studie zum CAD-Einsatz in der saarländischen Wirtschaft [Müll03] zeigt, ist der Softwareeinsatz innerhalb der Produktentwicklung sowohl im 2D als auch im 3D Bereich auf eine überschaubare Anzahl an CAD-Systemen begrenzt. Demgegenüber zeigt sich bei der IT-Unterstützung der Planung von Produktionseinrichtungen ein deutlich anderes Bild. Aufgrund der vielfältigen Fragestellungen innerhalb der Technischen Produktionsplanung, die anhand von Abbildung 3-1 illustriert sind, ist die IT-Landschaft in diesem Bereich deutlich unübersichtlicher. Aus diesem Grund stellt sich auch die Realisierung der Digitalen Fabrik, für die gerade die Verknüpfung bzw. die Integration der Werkzeuge der

Technischen Produktionsplanung auf der Basis eines durchgängigen Datenmanagements ein wichtiges Ziel ist, als ein komplexes Unterfangen dar.

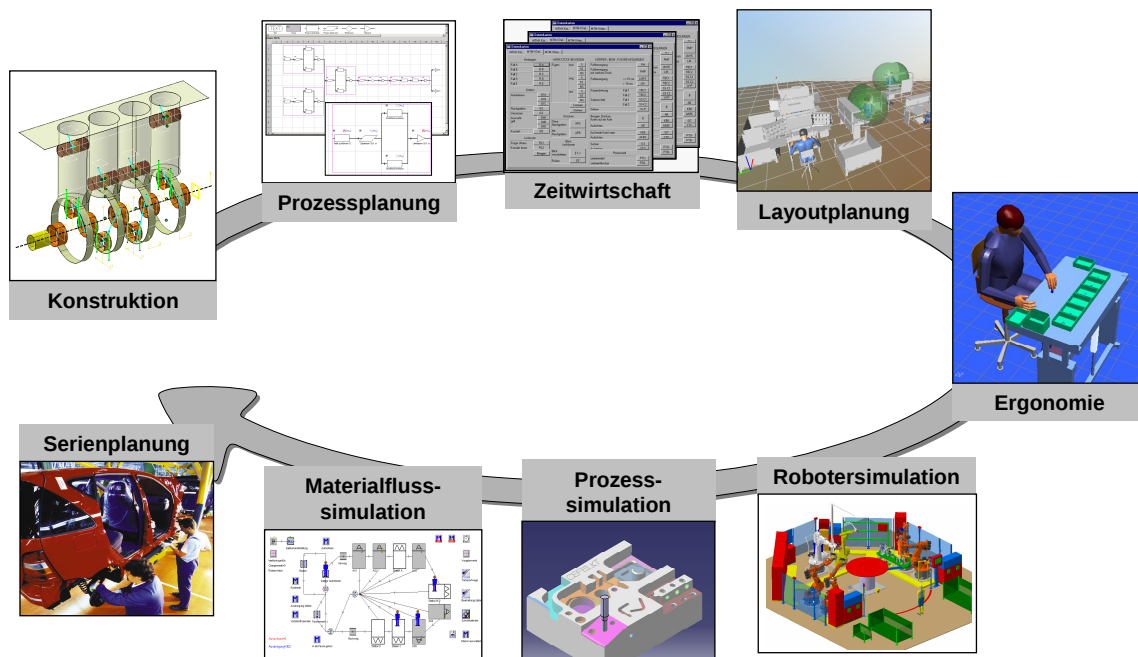


Abbildung 3-1: Softwareeinsatz im Produkt- und Produktionsentstehungsprozess in Anlehnung an [BäHa03b]

Wie auch die obige Abbildung 3-1 zeigt, bilden vor allem Simulationswerkzeuge eine wichtige Säule innerhalb des Planungsprozesses und damit auch in der Digitalen Fabrik. Nach VDI-Richtlinie 3633 wird in diesem Zusammenhang unter Simulation „die Nachbildung eines dynamischen Prozesses in einem Modell [verstanden], um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind“ [VDI3633]. In Abhängigkeit von der jeweils zu betrachtenden Hierarchieebene kommen dabei unterschiedliche Simulationswerkzeuge, die Tabelle 3-1 entnommen werden können, zum Einsatz.

Auf der obersten Ebene, der Fabrikebene, werden Geschäftsprozesse, die „die inhaltlich abgeschlossene, zeitlich-sachlogische Abfolge von Funktionen [darstellen] [...], die zur Bearbeitung eines für die Leistungserbringung des Unternehmens relevanten Objekts erforderlich sind“ [Mert01], simuliert. Das heißt, auf der Fabrikebene lässt sich das dynamische Verhalten aller relevanten Vorgänge, die zur Leistungserstellung innerhalb eines Unternehmens erforderlich sind, simulieren. Oftmals werden hierzu Schnittstellen zur Ablaufsimulationssoftware genutzt. Die Ablaufsimulation wird dabei grundlegend zur Modellierung von Material- und Informationsflüssen eingesetzt, „um zur Prognose, Validierung oder Optimierung von geplanten oder bestehenden Systemen beizutragen“ [Fran03]. Auf der Zellen- und Komponentenebene kommen verschiedene graphische 3D-Simulationen

sowie Simulationen technologischer Produktionsprozesse beispielsweise zur Simulation von Umformprozessen zum Einsatz. Eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Simulationsanwendungen findet sich in [Fran03].

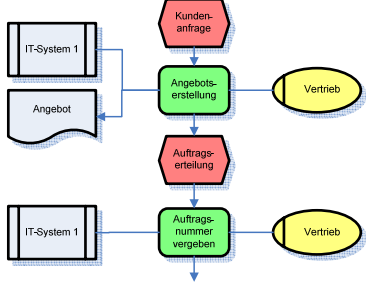
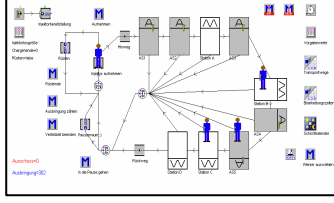
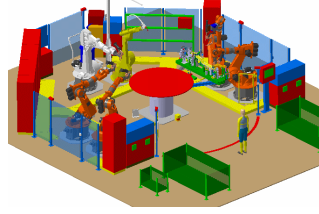
Abstraktionsniveau	Simulationsgebiet	Beispiel
Fabrik	Geschäftsprozess-simulation	
Linie	Ablaufsimulation	
Zelle	Graphische 3D-Simulation • NC-Simulation • RC-Simulation • Ergonomiesimulation	
Komponente / technologischer Prozess	Finite-Elemente-Simulation, Prozesssimulation	

Tabelle 3-1: Simulationswerkzeuge in der Digitalen Fabrik in Anlehnung an [BIFr01]

Neben sehr umfassenden Lösungen, die einen Großteil der potentiell auftretenden Planungsaufgaben abdecken, existiert eine Vielzahl an Spezialanwendungen zur Durchführung einzelner Planungsaufgaben. Diese Spezialanwendungen stammen sowohl aus dem kommerziellen Bereich als auch aus dem Bereich der Forschung und Entwicklung.

3.2 Kommerzielle Anwendungen

Aufgrund der großen Breite an zur Verfügung stehenden kommerziellen Planungswerkzeugen stellt sich die Frage, welche dieser Werkzeuge gerade im Bereich der Serienproduktion, die den Fokus dieser Arbeit darstellt, eingesetzt werden. Zur Beantwortung dieser Frage wurde am Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM eine Unternehmensbefragung unter Automobilherstellern und Zulieferern durchgeführt. Auf der Seite der Zulieferer wurden dabei sowohl Komponenten- als auch Anlagenlieferanten berücksichtigt. Wenngleich die Ergebnisse der Befragung aufgrund geringer Rückläufe als nicht uneingeschränkt repräsentativ anzusehen sind, decken sich die Aussagen der Firmen doch weitestgehend mit denen, die aktuellen Fachbeiträgen von Unternehmen entnommen werden können.

Bezüglich des Softwareeinsatzes lassen sich zwei scheinbar gegensätzliche Tendenzen beobachten. Einerseits werden in einzelnen Teilbereichen der Technischen Produktionsplanung einige wenige Standardwerkzeuge der beiden bedeutenden Softwareanbieter DELMIA und UGS, die sich nach einem Konzentrationsprozess in den vergangenen Jahren behauptet haben, von einer großen Anzahl an Unternehmen eingesetzt. Andererseits setzen die Unternehmen in verschiedenen Planungsbereichen auch vielfach spezielle, teils auch eigene, unternehmensspezifische Werkzeuge ein. Die Gründe für die Entscheidung für eine bestimmte Software innerhalb der einzelnen Planungsbereiche sind dabei prinzipiell sehr vielseitig; die bedeutendsten sind dabei nach [BlFZ06]:

- der Funktionsumfang der Software,
- die Verbreitung der Software, was besonders aus Sicht der Zulieferer bedeutsam ist, und
- die Vorgabe von Geschäftsleitung oder Kunden.

Hierbei sei noch erwähnt, dass beispielsweise die Durchgängigkeit der Werkzeuge sowie die Erweiterungsfähigkeit der Software eher von geringer Bedeutung sind.

Im Folgenden werden die Lösungen der beiden großen Systemanbieter DELMIA und UGS (Tecnomatix) näher betrachtet und gegenübergestellt.

DELMIA

Kernelement des Lösungsansatzes der Firma DELMIA, einer hundertprozentigen Tochtergesellschaft des Systemhauses Dassault Systèmes, bildet der so genannte Manufacturing Hub. Er dient zur persistenten Speicherung und Verwaltung von Produkt-, Prozess- und Ressourcendaten sowie als integrierte Datenbasis für die verschiedenen Planungswerkzeuge aus dem Hause DELMIA. Für die einzelnen Planungsaufgaben innerhalb der Technischen Produktionsplanung stehen, wie Abbildung 3-2 zeigt, verschiedene Werkzeuge bereit. Aufgrund ihrer Zugehörigkeit zu Dassault Systèmes bieten die Planungswerkzeuge von DELMIA eine recht gute Integration zu dem weit verbreiteten parametrischen CAD-System CATIA V5.

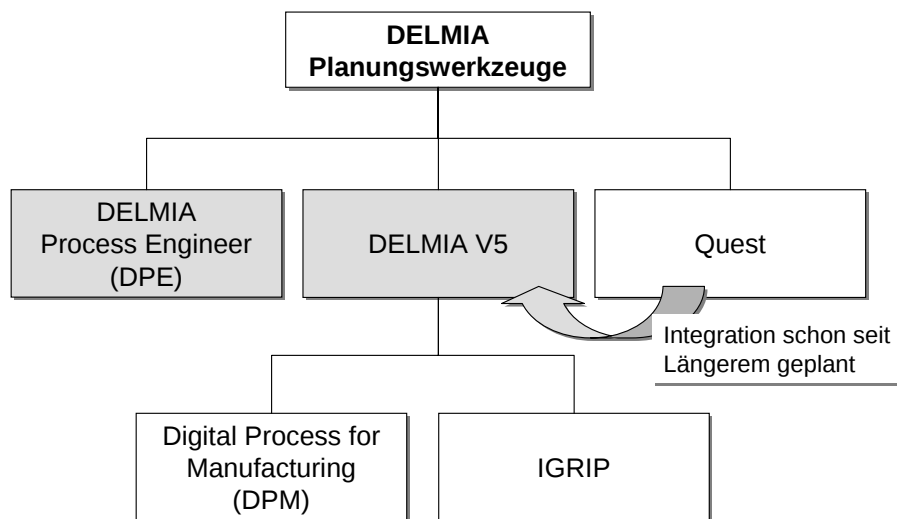


Abbildung 3-2: DELMIA Planungswerkzeuge

Neben dem Ablaufsimulationswerkzeug Quest, dessen Integration in die DELMIA V5 Lösungen schon seit längerem geplant ist, bisher jedoch noch nicht realisiert wurde, stellt DELMIA mit DELMIA Process Engineer (DPE) und DELMIA V5 zwei (Prozess-) Planungswerkzeuge bereit, die sich von ihren Funktionalitäten her teils überschneiden und teils ergänzen. Während DELMIA V5 auch aufgrund seiner Integration in die Oberfläche von CATIA V5 den Bereich der graphikorientierten 3D-Planung besser unterstützt, eignet sich DPE eher für statische Berechnungen. Zudem erlaubt DPE im Gegensatz zu den DPM-Lösungen, benutzerspezifische Anpassungen der Planungsobjekte vorzunehmen. Eine umfassende Übersicht über den Funktionsumfang der DELMIA-Lösungen findet sich in [Kief03].

Das beiden DELMIA-Lösungen zugrunde liegende Planungskonzept sieht eine klare Trennung zwischen Prozess- und Ressourcensicht vor, wenngleich Prozesse und Ressourcen miteinander verknüpft werden können.

UGS (Tecnomatix)

Mit der Übernahme von Tecnomatix Technologies Ltd. durch UGS im Jahre 2005 werden die eM-Power Produkte nun in der Produktlinie Tecnomatix von UGS vertrieben. Während bei DELMIA der Manufacturing Hub die Datenbasis für die verschiedenen Planungswerkzeuge darstellt, erfolgt hier die Datenspeicherung und Verwaltung zum größten Teil dezentral. Durch den Zusammenschluss mit UGS bleibt jedoch abzuwarten, ob mittel- bis langfristig nicht das PLM-System Teamcenter als zentrale Datenbasis für alle Planungsanwendungen aus dem Hause UGS genutzt wird.

Kernelement der Tecnomatix-Lösungen ist das Softwarewerkzeug eM-Planner. Mit ihm können in einer gemeinschaftlichen Arbeitsumgebung parallel Produktionsprozesse inklusive der hierzu erforderlichen Einrichtungen und Betriebsmittel geplant und verwaltet werden. Die Planungsergebnisse werden dabei in Form von eBOPs (electronic Bill Of Processes – elektronisches Prozessdatenmodell) gespeichert, die durch die Erfassung der Prozesslogik und -abfolge sowie durch die Beziehungen zwischen Prozessen, Produkten und Ressourcen generiert werden. Die eBOPs sind auf dem internetbasierten eM-Server, der die grundlegende Infrastruktur zur Zusammenarbeit aller Informationsersteller darstellt, gespeichert. Eine vollständige Übersicht über die Tecnomatix-Werkzeuge findet sich unter [Tec06].

Darüber hinaus bietet UGS beispielsweise mit der NX-Produktlinie noch weitere Werkzeuge an, die einzelne Aspekte der Technischen Produktionsplanung abdecken.

Vergleich der kommerziellen Anwendungen

Um einen objektiven Vergleich der kommerziellen Planungslösungen zu gewährleisten, werden im Folgenden Anforderungen an die Softwarewerkzeuge aus unterschiedlichen Sichtweisen definiert. Aus Anwendersicht ergeben sich an die einzusetzenden Softwarewerkzeuge Anforderungen bezüglich der Datendurchgängigkeit (Tabelle 3-2) sowie des operativen Einsatzes (Tabelle 3-3).

Anforderung	Erläuterung
Versionierung	Erlaubt die Software die Erstellung mehrerer Versionen der zu planenden Objekte?
Produktdaten	Inwieweit können Produktdaten aus externen Systemen eingelesen und „verarbeitet“ werden? Inwieweit werden verschiedene CAD-Formate unterstützt?
Projekt-Im- und -Export	Können Projekte oder auch nur Teile davon importiert bzw. exportiert werden?
Schnittstellen zu anderen Werkzeugen	Sind Standardschnittstellen zu anderen Werkzeugen vorhanden?

Tabelle 3-2: Anforderungen bezüglich der Datendurchgängigkeit

Anforderung	Erläuterung
Anwendbarkeit	Welche Restriktionen sind bei der Anwendung zu beachten?
Benutzerfreundlichkeit	Wie komplex sind die einzelnen Werkzeuge und wie weit kann die Oberfläche an die Anforderungen des Anwenders – auch zur Reduzierung der Komplexität – angepasst werden?
Ergebnisdarstellung	In welcher Form lassen sich die Planungsergebnisse darstellen?
Vergleich unterschiedlicher Lösungsstrategien	Welche Funktionalitäten bietet die Software, um unterschiedliche Lösungsstrategien zu planen bzw. zu vergleichen?
Mehrbenutzerfähigkeit	Inwieweit ist die Software mehrbenutzerfähig?
Administration	Inwieweit bzw. mit welchen Funktionalitäten ist die Administration der Software hinsichtlich der Verwaltung der Benutzer sowie der Vergabe von Rechten möglich?
Definition von Standards	Inwieweit unterstützt die Software die Definition von Standards – sowohl im Bereich von Standardprozessen oder -ressourcen als auch hinsichtlich einer standardisierten Planungsmethodik?

Tabelle 3-3: Anforderungen bezüglich des operativen Softwareeinsatzes

Für eine erfolgreiche Implementierung eines neuartigen Variantenmanagementansatzes ist darüber hinaus die Möglichkeit, benutzerspezifische Softwareerweiterungen durchführen zu können, von Bedeutung (Tabelle 3-4). Die bestehenden Möglichkeiten, mit Hilfe der Werkzeuge Varianten zu planen, werden dabei im folgenden Kapitel nochmals näher betrachtet.

Anforderung	Erläuterung
Konfigurierbarkeit	Inwieweit kann die Software an unterschiedliche Unternehmensanforderungen angepasst werden?
Scripting	Bietet die Software die Möglichkeit, benutzerspezifische Erweiterungen bspw. durch Skripte vorzunehmen?

Tabelle 3-4: Anforderungen bezüglich der Erweiterbarkeit der Software

Da bei den DELMIA-Lösungen DPM bezüglich der benutzerspezifischen Erweiterbarkeit der Software im Gegensatz zu DPE nur sehr begrenzte Möglichkeiten bereitstellt, wird im Weiteren nur DPE auf Seiten der DELMIA-Produkte berücksichtigt.

Ein Vergleich der Funktionalitäten der beiden Lösungen DELMIA Process Engineer und eM-Planner anhand der zuvor definierten Anforderungen ist in der nachfolgenden Übersicht (Tabelle 3-5) dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der jeweiligen Umsetzung der gestellten Anforderungen findet sich im Anhang A. Die Bewertungen beziehen sich dabei auf DPE in der Release 12 unter Berücksichtigung der Neuerung in Release 14 sowie eM-Planner in der Version 7.1.

Als Vorgriff auf die Zusammenfassung im Abschnitt 3.4 lässt sich an dieser Stelle bereits festhalten, dass für die im Rahmen dieser Arbeit durchzuführende prototypische Implementierung auf der Seite der kommerziellen Anwendungen DPE aufgrund der weitergehenden Möglichkeiten in den Bereichen Konfigurierbarkeit und Scripting als am besten geeignet erscheint.

Hierbei sei noch darauf hingewiesen, dass die in Tabelle 3-5 aufgeführte Bewertung der beiden Planungslösungen von DELMIA und UGS nur eine bedingte Grundlage für die Kaufentscheidung eines der beiden Werkzeuge darstellt. Zum einen ist die dreistufige Bewertung (Anforderung wird erfüllt, Anforderung wird bedingt erfüllt und Anforderung wird nicht erfüllt) zu grob, um die Funktionalitätsunterschiede beider Werkzeuge im Detail zu vergleichen. Darüber hinaus stellt der Vergleich der beiden Lösungen auch nur eine Momentaufnahme dar. Zum anderen unterscheidet sich die Bedeutung der definierten Anforderungen unternehmens- und gegebenenfalls auch branchenspezifisch, wodurch für einen objektiven Vergleich der Lösungen eine auf die speziellen Bedürfnisse des jeweiligen Unternehmens angepasste Gewichtung der einzelnen Anforderungen notwendig wird.

Anforderung	DELMIA Process Engineer	UGS – eM-Planner
Versionierung	●	●
Produktdaten	◐	◐
Projekt-Im- und -Export	◐	●
Schnittstellen zu anderen Werkzeugen	◐	●
Anwendbarkeit	●	●
Benutzerfreundlichkeit	◐	◐
Ergebnisdarstellung	◐	●
Vergleich unterschiedlicher Lösungsstrategien	◐	◐
Mehrbenutzerfähigkeit	◐	●
Administration	◐	◐
Definition von Standards	◐	◐
Konfigurierbarkeit	●	◐
Scripting	●	◐

 Anforderung wird erfüllt
 Anforderung wird bedingt erfüllt
 Anforderung wird nicht erfüllt

Tabelle 3-5: Vergleich DELMIA Process Engineer und eM-Planner

3.3 Anwendungen aus den Bereichen Forschung und Entwicklung

In den Bereichen Forschung und Entwicklung lassen sich eine Vielzahl von prototypischen Werkzeugen zur punktuellen Unterstützung einzelner Aspekte der Technischen Produktionsplanung finden. Da der Fokus dieser Arbeit vor allem auf der Entwicklung eines durchgängigen Variantenmanagementansatzes liegt, erscheint es nicht zweckmäßig, im Folgenden eine umfassende Übersicht über alle verfügbaren Lösungsansätze zu erstellen. Mit Bezug auf die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit werden daher in diesem Abschnitt nur solche

Lösungen betrachtet, die auf die Integration von IT-Werkzeugen im Rahmen des Planungsprozesses bzw. auf die durchgängige Verwaltung von Planungsdaten abzielen.

Wuttke präsentiert in seiner Arbeit hierzu einen Ansatz für ein effektives Modellmanagement sowie die Einbindung der Simulation in die Abläufe des Unternehmens mit Hilfe eines Wissensmanagement-Konzepts [Wutt00]. Der Grundgedanke des Modellmanagements wurde dabei insbesondere im Bereich der Ablaufsimulation bereits bis zur Implementierung umgesetzt und auch erfolgreich auf andere Anwendungsbereiche der Simulation übertragen [BIFW00].

Leitprojekt iViP des BMB+F

Das von 1998 bis 2002 vom BMB+F geförderte Leitprojekt iViP (integrierte Virtuelle Produktentstehung) verfolgte das vorrangige Ziel, eine IT-Systemwelt für die virtuelle Produktentstehung zu schaffen. Die IT-Systemwelt musste dabei vor allem den Anforderungen für den Einsatz in bestehenden heterogenen IT-Umgebungen gerecht werden und darüber hinaus innovative Integrationskonzepte realisierbar machen [KrBB02]. Hierzu wurde die in Abbildung 3-3 dargestellte Systemarchitektur entwickelt. Die iViP-Integrationsplattform baut dabei, soweit vorhanden, auf international anerkannte Standardschnittstellen wie beispielsweise STEP auf.

Durch einen Zusammenschluss von iViP mit dem bisherigen ProSTEP Verein im Jahre 2002 ist der ProSTEP iViP Verein [ProS06] entstanden, der die Ziele von iViP, den Aufbau einer Plattform für eine gemeinschaftliche Verständigung über den industriellen Einsatz der internationalen Produktdatennorm STEP, weiter voran treibt.

Trotz der Tatsache, dass der Fokus von iViP hauptsächlich im Bereich der Produktentwicklung und im Austausch von Produktdaten liegt, finden sich dennoch im Projektcluster 5.1 erste Ansätze zur Verifizierung der Produktentwicklung durch die Entwicklung und Vernetzung von Werkzeugen zur virtuellen Fertigungserprobung. Darüber hinaus befassen sich die aktuellen Entwicklungen der STEP-Schnittstelle zunehmend auch damit, neben verschiedensten Geometrieinformationen Planungsdaten austauschen zu können. Eine Anbindung der bestehenden kommerziell verfügbaren Werkzeuge der Technischen Produktionsplanung an die iViP-Plattform ist jedoch nicht realisiert.

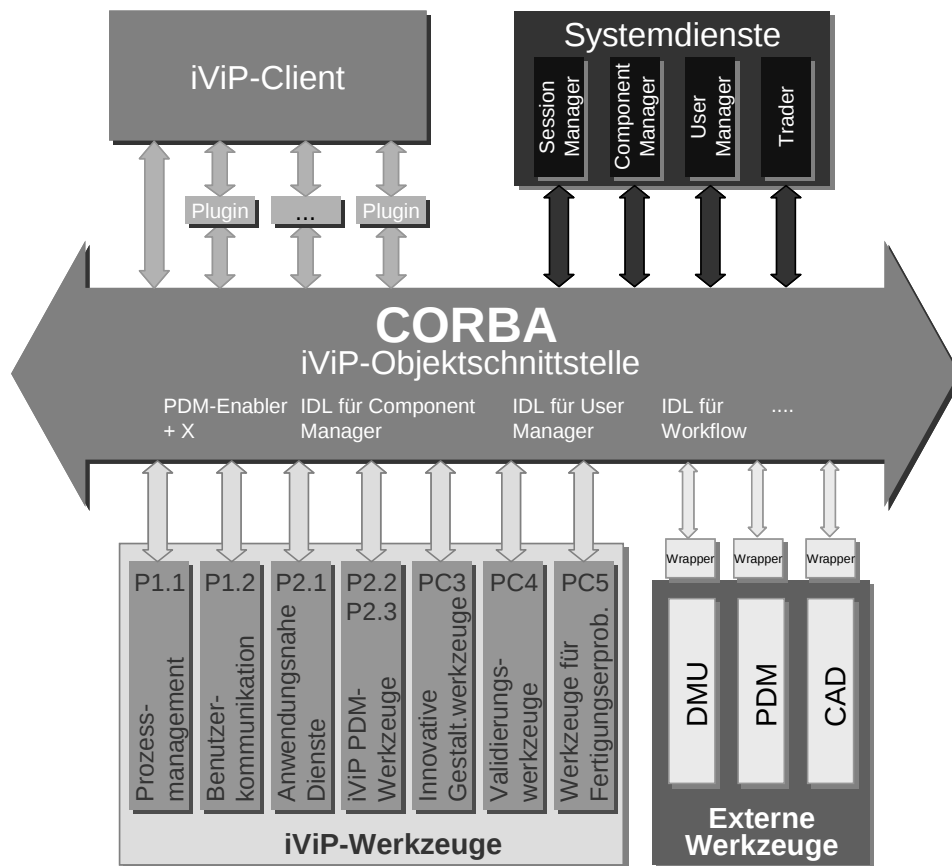


Abbildung 3-3: iViP-Systemarchitektur nach [KrBJ01]

e-Industrial Services

Das Ziel dieses von der Fraunhofer Gesellschaft geförderten Projekts ist es, so genannte internetbasierte Mehrwertdienste für die Planung und Optimierung von Fabriken, für die Instandhaltung von Fertigungseinrichtungen sowie für die Schulung und Weiterbildung der Mitarbeiter bereitzustellen. Hierzu existiert eine Serviceplattform, die neben der Bereitstellung der erforderlichen Dienste und der Anbindung von verschiedenen Werkzeugen vor allem auch die sichere Übertragung kritischer Daten beispielsweise in Form von CAD-Modellen gewährleistet. Die Grundlage der Serviceplattform bildet ein flexibles Geschäftsmodell. Durch das Internet als Kommunikationsmedium stehen die verschiedenen Serviceleistungen weltweit zur Verfügung. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass den Kunden eine breite Palette an Diensten zugänglich ist, sie jedoch nur jeweils für die genutzten Dienste zahlen müssen (Pay on demand). [HeJW03, SiGr03]

Im Rahmen der e-Industrial Services stehen für die Technische Produktionsplanung vor allem Lösungen aus dem Bereich der Logistik sowie zur 3D-Modellierung der Produktion zur

Verfügung (vgl. [eInd06]). Die Serviceplattform erlaubt darüber hinaus die Anbindung bzw. Integration weiterer Planungswerkzeuge. Für die Anbindung kommerziell verfügbarer Planungswerkzeuge sind geeignete Schnittstellen erforderlich.

SFB 336 – Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 336 wurden sowohl Methoden als auch Werkzeuge für eine gemeinsame Entwicklung von Produkten und der Planung der notwendigen Produktionseinrichtungen sowie zur Gestaltung flexibler, reaktionsfähiger Entwicklungs- und Planungsprozesse entwickelt [ReDü00]. Hierbei ermöglicht ein übergeordnetes Projektleit-system die Koordination der im Rahmen einer verzahnten Konstruktion und Montageplanung durchzuführenden Aufgaben. Auf der Grundlage eines gemeinsamen objektorientierten Datenmodells für Produkt- und Montagedaten können die im Entwicklungsprozess eingesetzten Werkzeuge wie zum Beispiel CAD-Systeme und Simulationstools integriert werden. Darüber hinaus stellt die Entwicklung von Softwareprototypen ein Ergebnis des Sonderforschungsbereichs dar. Cuiper et al. beschreiben in diesem Zusammenhang die Implementierung eines Designkonzepts zur räumlich verteilten Entwicklung und Planung von Montageanlagen auf der Grundlage der kommerziell verfügbaren eM-Power Softwarefamilie [CuPa00].

Über die weiteren Möglichkeiten, existierende Planungswerkzeuge in die entwickelte Systemlandschaft zu integrieren, werden keine Aussagen getroffen. Durch die Realisierung einer Datenintegration zwischen Konstruktion und Montageplanung mittels eines objektorientierten Datenmodells scheint diese Integration nicht ohne weiteres umsetzbar zu sein.

3.4 Zusammenfassung

Vielfach arbeiten die Hersteller kommerzieller Lösungen – auch durch ständig neue Anforderungen ihrer Kunden an die Software getrieben – daran, bestehende Funktionalitäten der IT-Werkzeuge zu verbessern, zu erweitern oder neue Funktionalitäten hinzuzufügen. Dabei ist jedoch ein wirklich durchgängiges Konzept, gerade auch in Bezug auf die Datenspeicherung und -verwaltung, von der Produktentwicklung über die Technische Produktionsplanung bis hin zur Produktion selbst in noch nicht ausreichendem Maße umgesetzt. Dies liegt unter anderem darin begründet, dass gerade die existierenden umfassenden Lösungen ursprünglich

ebenfalls aus mehreren unterschiedlichen Werkzeugen zusammengesetzt wurden. Ein signifikanter Forschungsbedarf besteht in diesem Zusammenhang vor allem in der Entwicklung effektiver, benutzergerechter Konzepte zur Überbrückung der Lücke zwischen Produktentwicklung/CAD und Prozessplanungsaufgaben der Digitalen Fabrik. Nur so lässt sich eine Verkürzung der Planungszeit bei gleich bleibender bzw. verbesserter Planungsqualität im Rahmen einer Parallelisierung von Produktentwicklung und Technischer Produktionsplanung erreichen.

Für die Nutzung bzw. Erweiterung bestehender Planungswerkzeuge lässt sich für die vorliegende Arbeit feststellen, dass eine praxistaugliche Implementierung eines Konzepts zur Berücksichtigung von Produkt-, Prozess- und Resourcevarianten vor dem Hintergrund der großen Breite an unterschiedlichen Softwarelösungen nur als Erweiterung der kommerziellen „Standardplanungswerkzeuge“ sinnvoll erscheint. Um darüber hinaus die Implementierung eines Variantenmanagementkonzepts auf eine breite Basis zu stellen, bietet sich die Nutzung der Lösungen von DELMIA oder UGS an. Unter Berücksichtigung der Erweiterungsmöglichkeiten der Softwarewerkzeuge durch den Benutzer (vgl. auch Tabelle 3-5) erscheint, wie bereits erwähnt, die DELMIA Lösung und hier im Speziellen das Tool DPE für die im Rahmen dieser Arbeit durchzuführende prototypische Implementierung als am besten geeignet.

4 Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung

Als Folge einer steigenden Wettbewerbsintensität – auch bedingt durch eine Sättigung in vielen Absatzmärkten – „hat eine kontinuierliche Veränderung des Marktverständnisses vom Anbieter- zum Käufermarkt stattgefunden“ [ScSc01]. Kennzeichen eines solchen Marktes ist die drastische Zunahme von produkt- und prozessesseitiger Vielfalt. Neben diesen unternehmensexternen Ursachen für eine hohe Anzahl an Varianten gibt es noch unternehmensinterne Gründe wie methodische oder organisatorische Defizite. Während Varianten, die externe Ursachen besitzen, überwiegend nicht vermeidbar sind, führen unternehmensinterne Gründe oftmals zu einer unnötigen Variantenzunahme.

Im Folgenden werden nach einigen grundlegenden Erläuterungen zum Thema des Variantenmanagements bestehende Konzepte für die Reduzierung und Beherrschung von Varianten vorgestellt. Dabei werden sowohl produkt- als auch produktionsbezogene Ansätze berücksichtigt. Abschließend wird auf der Basis zuvor definierter Anforderungen an ein durchgängiges Variantenmanagementkonzept für die Technische Produktionsplanung eine Bewertung der vorgestellten Lösungen vorgenommen und der bestehende Handlungsbedarf abgeleitet.

4.1 Grundlagen

4.1.1 Variante und Variantenvielfalt

Nach DIN 199 sind Varianten „Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion mit in der Regel hohem Anteil identischer Gruppen oder Teile“ [DIN199]. Da sich diese Definition jedoch rein auf Produktvarianten bezieht, wird von Franke et al. die folgende Definition verwendet:

„Eine Variante eines technischen Systems ist ein anderes technisches System gleichen Zwecks, das sich in mindestens einer Beziehung oder einem Element unterscheidet. Ein Element unterscheidet sich von einem anderen Element in mindestens einer Eigenschaft.“ [FrFi98]

Mit Hilfe dieser Definition können neben der Unterscheidung in Produkt- und Prozessvarianten auch Ressourcevarianten – beispielsweise der Einsatz verschiedener Produktionseinrichtungen an unterschiedlichen Standorten, wobei jeweils der gleiche Bearbeitungsprozess ausgeführt wird – berücksichtigt werden. Darüber hinaus können Varianten auch durch unterschiedliche Vertragsbedingungen, z.B. durch verschiedene Gewährleistungsmodelle, oder durch verschiedenartige, zugeordnete Dienstleistungen, wie sie im Rahmen von Product-Service Systems (vgl. hierzu [Ste05]) zu finden sind, entstehen.

Für eine Variante als geringfügige Abweichung von einem Grundtyp [Broc89b, Schu88] kann die Abweichung, wie Abbildung 4-1 zeigt, prinzipiell auf drei verschiedene Weisen auftreten, nämlich nach Zeit, Menge und Art der Varianz.

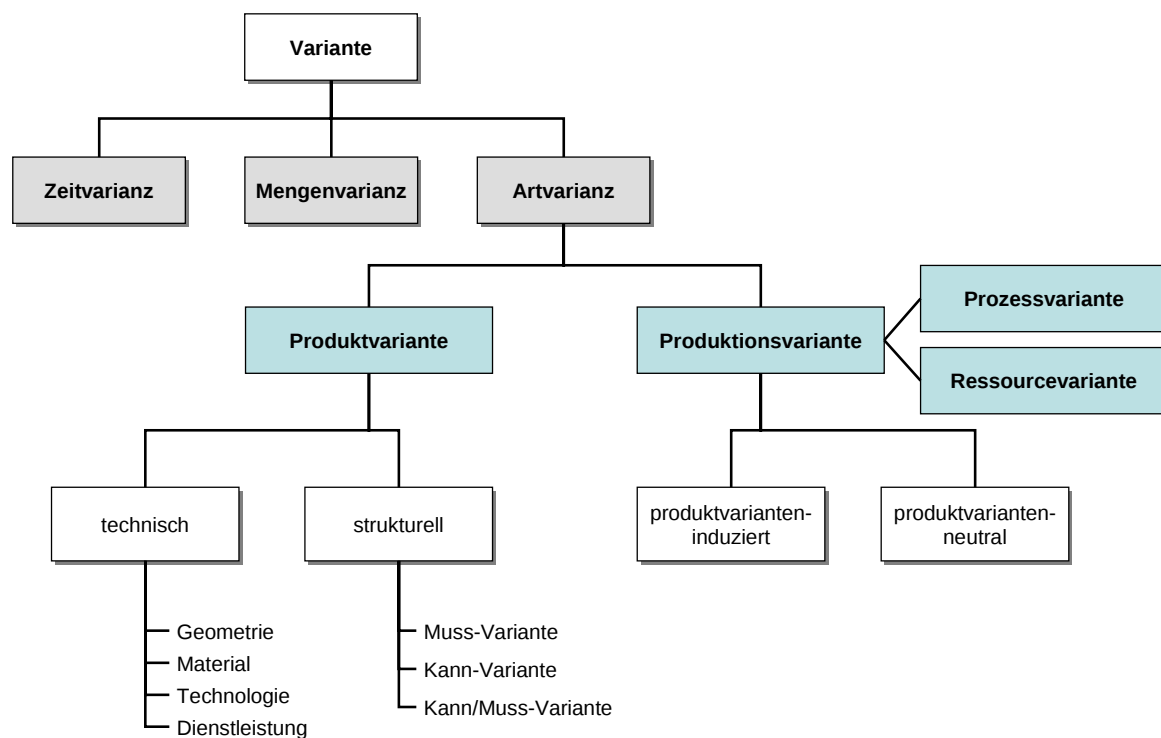


Abbildung 4-1: Unterscheidung der Varianz in Anlehnung an [Bart95, Meng01, Schu88]

Von zeitlicher Varianz wird gesprochen, wenn ein Produkt über einen bestimmten Zeitraum hinweg in ungleichen Abständen produziert wird. Bei der Mengenvarianz wird von unterschiedlichen Mengen beispielsweise durch die Ungleichheit der produzierten Stückzahl ausgegangen. [Schu88]

Bei der Artvarianz, in deren Zusammenhang häufig auch der Begriff der Variantenvielfalt genannt wird, ist eine Unterteilung nach der Art der Variante in Produkt- und Produktionsvariante möglich. Eine Produktionsvariante stellt dabei entweder eine Prozess- und/oder

Ressourcevariante dar. So kann beispielsweise ein alternativer Montageprozess auch ein alternatives Betriebsmittel nach sich ziehen; der gleiche Montageprozess kann an zwei unterschiedlichen Montagelinien mittels verschiedenartiger Montageeinrichtungen realisiert werden.

Unter dem Begriff der Variantenvielfalt verstehen sowohl Schuh als auch Bartuschat die Artungleichheit der einzelnen Ausführungen eines Produktes [Schu88, Bart95]. Menge beschreibt die Variantenvielfalt als „die Anzahl der Varianten eines Bauteils, einer Baugruppe oder eines Produktes“ [Meng01]. Variantenvielfalt entsteht also durch das Auftreten verschiedener Varianten. Da Varianten jedoch sowohl bei Produkten als auch bei Prozessen und Ressourcen auftreten können (vgl. Abbildung 4-1), wird in Ergänzung zu den zuvor aufgeführten Verständnissen die Variantenvielfalt im Rahmen dieser Arbeit nicht nur auf die einzelnen Ausführungen eines Produktes, sondern auch auf die Produktion bezogen.

Bei der Berücksichtigung von Prozess- und Ressourcevarianten muss darüber hinaus zwischen produktvarianten-induzierten und produktvarianten-neutralen Varianten unterschieden werden. Produktvarianten-induzierte Prozessvarianten werden dabei ausschließlich durch Produktvarianten verursacht. Produktvarianten-neutralen Prozessvarianten sind unabhängig von etwaig vorhandenen Produktvarianten.

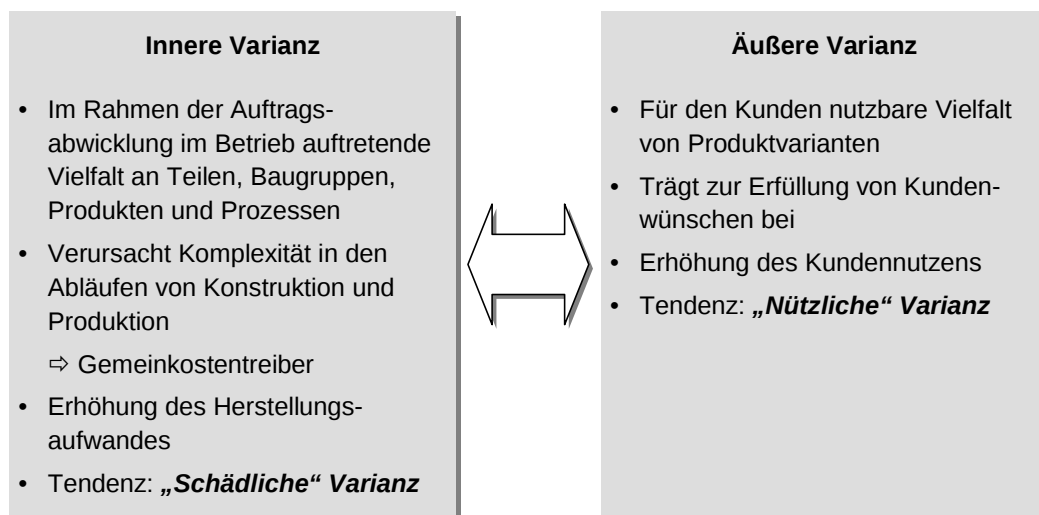


Abbildung 4-2: Gegenüberstellung innerer und äußerer Varianz nach [Meng01]

Bei der Betrachtung von Varianten muss zudem zwischen äußerer und innerer Varianz differenziert werden. Wie Abbildung 4-2 zeigt, beschreibt die äußere Varianz die für den Kunden nutzbare Vielfalt an Produktvarianten, die sich tendenziell nützlich für ein Unternehmen auswirkt, „solange sie die vom Markt geforderte Vielfalt nicht übersteigt“ [FrHH02].

Falsch verstandene Kundenorientierung kann in diesem Zusammenhang zu explodierenden Variantenzahlen und dadurch zu starken wirtschaftlichen Problemen führen [BoSS97]. Die innere Varianz beschreibt die im Rahmen der Auftragsabwicklung auftretende Vielfalt an Produkten und Prozessen, die zur Erfüllung der äußeren Varianz erforderlich ist. Die durch die innere Varianz bedingte Komplexität und die damit verbundenen erhöhten Herstellungskosten wirken sich negativ auf das Unternehmen aus [HeOM00].

4.1.2 Variantenmanagement

In der Unterscheidung zwischen innerer und äußerer Varianz zeigt sich bereits die Stoßrichtung für ein wettbewerbsfähiges Unternehmen. Eine an die Bedürfnisse des Marktes angepasste äußere Varianz ist mit Hilfe einer so gering wie möglichen inneren Varianz zu produzieren, was in Abbildung 4-3 nochmals illustriert ist.

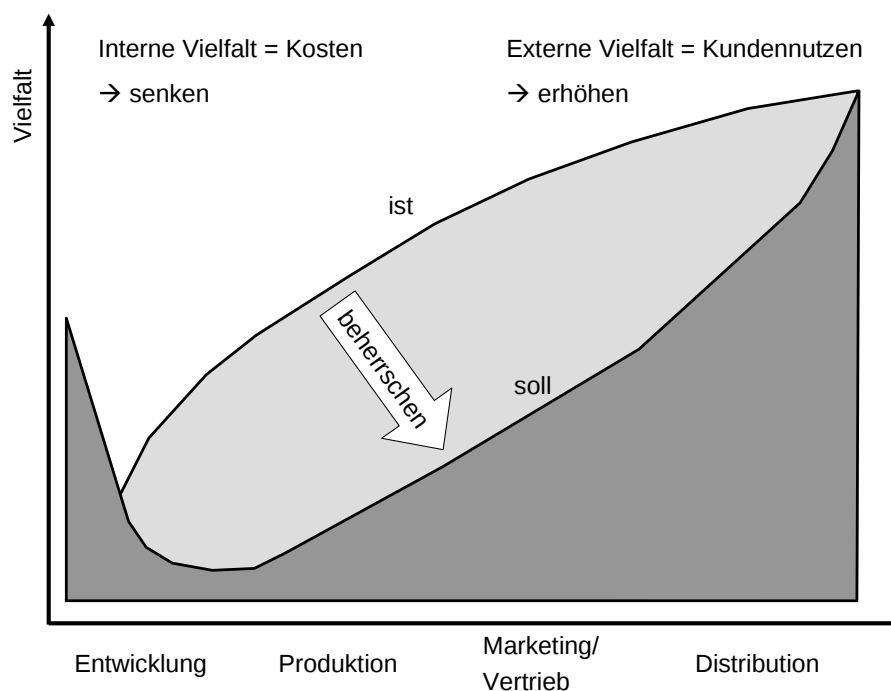


Abbildung 4-3: Ziele des Variantenmanagements in Anlehnung an [FrFS01]

Zur Übertragung des Begriffs der inneren Varianz auf den Bereich der Technischen Produktionsplanung, die bei der zuvor beschriebenen Unterscheidung bisher nicht berücksichtigt wurde, kann der Begriff wie folgt definiert werden:

Die innere Varianz beschreibt die für die Herstellung der Produkte eines Unternehmens erforderliche Vielfalt an Teilen, Baugruppen, Produkten sowie an Prozessen und Ressourcen.

Hierbei gilt es, neben der Verringerung und Beherrschung der inneren Varianz bei der Auftragsabwicklung, die zur Herstellung der Produkte und Produktvarianten erforderliche Varianz der Produktionsabläufe (Prozesse) sowie die Varianz der hierzu erforderlichen Mitarbeiter, Betriebsmittel und Einrichtungen (Ressourcen) effizient zu planen und dadurch so gering wie möglich zu halten.

Nach Menge umfasst das Variantenmanagement „alle Steuerungsvorgänge zur Optimierung der Variantenvielfalt und zur Beherrschung der Auswirkungen variantenreicher Produktspektren“ [Meng01]. Für das Management der Variantenvielfalt stehen nach [Fran98] die beiden grundsätzlich verschiedenen, sich jedoch teilweise auch ergänzenden Ansätze

- unnötige Varianten vermeiden und
- notwendige Varianten beherrschen

zur Verfügung. Dabei konzentrieren sich nach Franke et al. bekannte Lösungsansätze zur Beherrschung variantenreicher Produkte, auf die im Abschnitt 4.2 nochmals gesondert eingegangen wird, meist nur auf Einzelaspekte. Die bedeutendsten sind dabei in Anlehnung an [FrHH02]:

- montagegerechte Aufbereitung von Produktstrukturen
- variantengeeignete Stücklisten
- Baukasten- und Baureihenstrukturen
- Erstellung von Variantenarbeitsplänen durch Ähnlichkeitsplanung
- flexible Produktionssysteme sowie Bildung von dezentralen, weitgehend selbstständig operierenden Organisationseinheiten in der Produktion
- Variantenbewertung unter betriebswirtschaftlicher Betrachtung

Der Begriff des Variantenmanagements muss dabei von dem oftmals fälschlicherweise synonym verwendeten Begriff des Komplexitätsmanagements abgegrenzt werden, da die Variantenvielfalt nur einen von zahlreichen Komplexitätstreibern in einem Unternehmen darstellt [FrHH02].

4.2 Bestehende Ansätze des Variantenmanagements

Aufgrund der Vielzahl an Ansätzen und Konzepten, die unter dem Oberbegriff des Variantenmanagements zusammengefasst werden, ist die Analyse dieser Ansätze im Folgenden in Anlehnung an die Unterteilung der Artvarianz in zwei Bereiche unterteilt. Zum einen werden im Abschnitt 4.2.1 die Konzepte berücksichtigt, deren Fokus auf der Vermeidung und Beherrschung von Produktvarianten liegt. Abschnitt 4.2.2 hingegen beschäftigt sich mit Ansätzen, die sich auf Prozess- und Ressourcevarianten beziehen.

4.2.1 Produktbezogene Ansätze

Die Darstellung der Produktstruktur erfolgt zum größten Teil in Form unterschiedlich strukturierter Stücklisten, da diese IT-technisch einfach verarbeitet werden können. Die Unterschiede in den Stücklisten entstehen in der Regel dadurch, dass die Anforderungen an sie bereichs- und unternehmensspezifisch sind. Während die Konstruktion ein Hilfsmittel zur Erstellung einer systematisch-funktionalen Strukturdarstellung benötigt, liegt der Fokus der Montage auf einer Untergliederung der Produktstruktur in vormontierbare und vorprüfbare Baugruppen. [ScSc01]

Variantenstücklisten

Die am weitesten verbreiteten Formen von Stücklisten für Einzelerzeugnisse sind die Mengen-, die Struktur- sowie die Baukastenstückliste. Eine nähere Beschreibung dieser Stücklistenarten findet sich beispielsweise in [EiSt01]. Da es bei vorhandenen Produktvarianten jedoch nicht sinnvoll ist, für jede Variante eine eigene Stückliste zu erstellen, werden so genannte Variantenstücklisten in Form einer Gleichteile- oder einer Plus/Minus-Stückliste verwendet. Bei der Gleichteilestückliste wird für Artikel, die in allen Varianten enthalten sind, eine fiktive Gleichteilebaugruppe gebildet. Jede Variante besteht dann aus der fiktiven Gleichteilebaugruppe sowie aus zusätzlichen Bauteilen und Baugruppen. Die Gleichteilestückliste ist besonders dann hilfreich, wenn die Gleichteile über einen längeren Zeitraum konstant bleiben, da bei ihrer Änderung in der Regel alle Stücklisten betroffen sind. Darüber hinaus besitzt die fiktive Gleichteilebaugruppe keinen Bezug zur Fertigung oder Montage

[EiSt01]. Dem gegenüber flexibler sind Plus/Minus-Stücklisten, bei denen eine spezielle Variante als Grunderzeugnis definiert wird. Unterschiede gegenüber dem Grunderzeugnis werden durch Plus- bzw. Minusteile ausgedrückt. Plus/Minus-Stücklisten eignen sich besonders für Produkte mit komplexen Variantenstrukturen. Auch hierbei kann der Bezug zur Produktion nicht ohne weiteres garantiert werden. Abbildung 4-4 zeigt die Gleichteile- sowie die Plus/Minus-Stückliste eines Erzeugnisses mit drei Varianten.

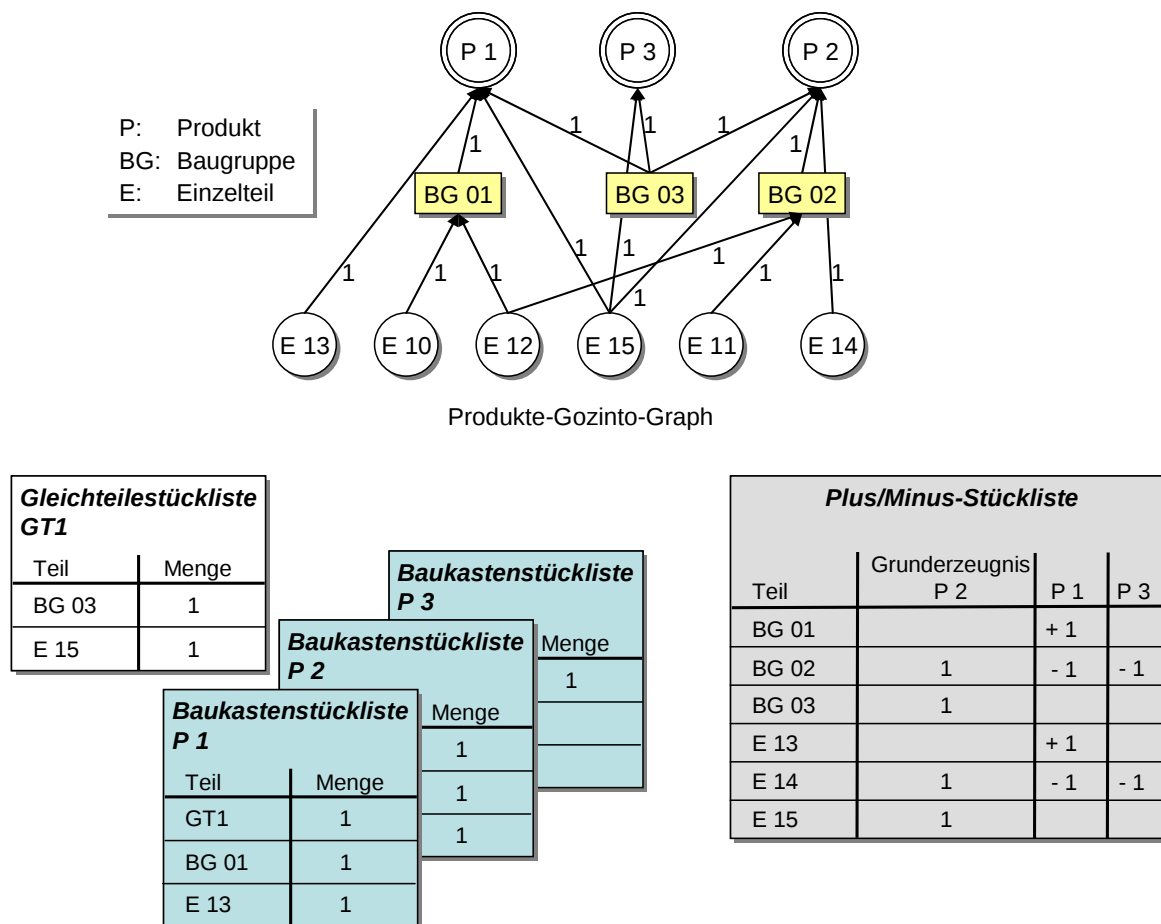


Abbildung 4-4: Gleichteile- und Plus/Minusstückliste

Ein Nachteil beider Stücklistenformen besteht vor allem darin, dass Varianten in der Regel nicht über mehrere Hierarchieebenen hinweg berücksichtigt werden können. So werden die Baugruppen „01“ und „02“ in der obigen Abbildung jeweils getrennt betrachtet, obwohl sie sich nur in einem Einzelteil (E 10 bzw. E 11) unterscheiden.

IT-geeignete Variantenstückliste nach Eigner et al.

Eigner et al. beschreiben in Erweiterung der beiden konventionellen Variantenstücklisten einen Ansatz zum Aufbau einer Variantenstruktur durch das Zusammenfassen mehrerer

Variantenausprägungen mit Hilfe von Variantenplatzhaltern. Kennzeichen einer derartigen Variantenstrukturierung sind dabei unter anderem die Abbildung mehrerer Variantenausprägungen unter einer Sachnummer, wobei deren Eindeutigkeit durch andere identifizierende Merkmale zu gewährleisten ist, sowie das Auftreten mehrstufiger Varianten [EiSt01]. Abbildung 4-5 zeigt ein Beispiel für eine IT-geeignete Variantenstückliste, bei der die konkreten Ausprägungen des Variantenplatzhalters „BG“ in einer Variantenleiste näher spezifiziert werden.

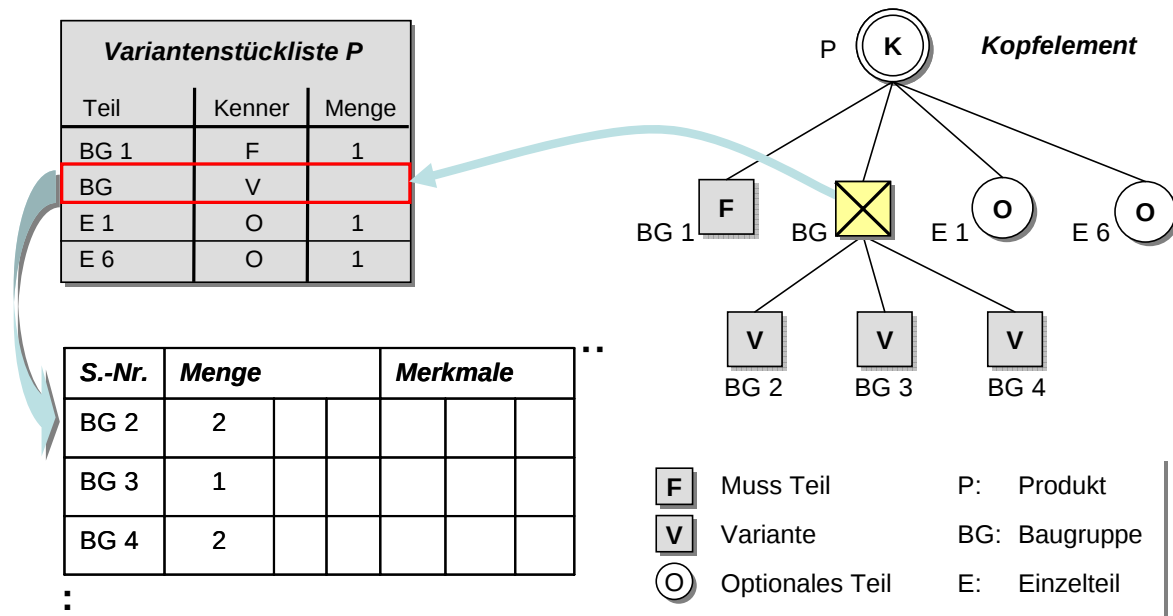


Abbildung 4-5: IT-geeignete Variantenstückliste nach [EiSt01]

Die Stückliste einer konkreten Variantenausprägung kann entweder über die Festlegung von zusätzlichen Auswahlkriterien oder von Auswahllogiken erfolgen. Dies stellt jedoch einen zusätzlichen Aufwand dar. Ferner lässt sich die Abbildung mehrerer Variantenausprägungen unter einer Sachnummer oftmals nur durch eine Umorganisation der Daten des eingesetzten EDM/PDM-Systems realisieren.

Variantenbaumstruktur nach Schuh

Zur vollständigen Dokumentation von Varianteninformationen hat Schuh die vertikale Erzeugnisgliederung mit einer geeigneten Beschreibung der Produktvarianz im Variantenbaum®, der beispielhaft in Abbildung 4-6 zu sehen ist, kombiniert. Ausgehend von einem Grund- oder Trägerbauteil werden alle weiteren Anbauteile entsprechend ihrer Montage-

reihenfolge angeordnet und durch Linien verbunden [Schu88]. Nach jedem Teilvorgang wird zudem die bis dahin erreichte Baugruppenvielfalt dargestellt.

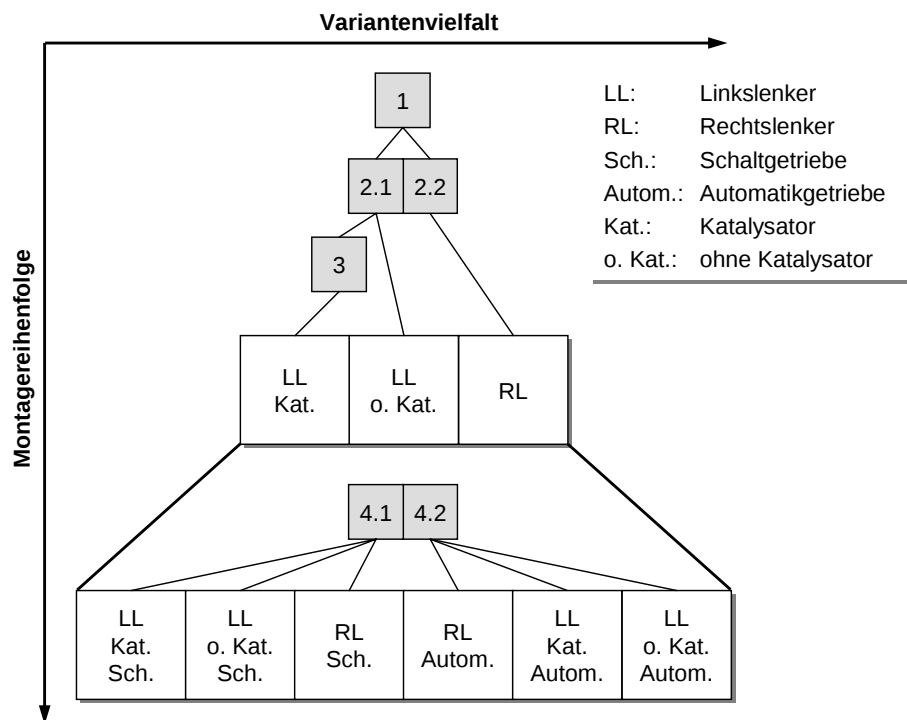


Abbildung 4-6: Variantenbaumstruktur am Beispiel einer Auspuffanlage nach [Schu88]

Als Grundlage für die Erstellung eines Variantenbaums dienen eine Merkmals-Ausprägungsmatrix, in der alle relevanten, variantenerzeugenden Merkmale eines Produktes mit ihren dazugehörigen Ausprägungen aufgelistet sind, sowie eine Kombinationsmatrix [ScSc01]. In der Kombinationsmatrix werden Kombinationszwänge und -verbote der verschiedenen Merkmalsausprägungen berücksichtigt.

Der Variantenbaum® eignet sich neben der eigentlichen Darstellung der Varianten insbesondere dafür, eine gegebene Produktstruktur bezüglich ihrer Anzahl an Varianten sukzessive in einen optimierten Soll-Zustand, in dem die Baugruppenvielfalt aus Sicht der Montagereihenfolge möglichst lange gering ist, zu überführen. Für die Erstellung eines Variantenbaums müssen neben der Produktstruktur die Merkmals-Ausprägungsmatrix, die Kombinationsmatrix sowie die Montagereihenfolge bekannt sein. Als Hilfsmittel zur Planung von Produktionseinrichtungen ist die Nutzung eines Variantenbaums mit einem nicht unerheblichen zusätzlichen Aufwand verbunden. Darüber, wie die zur Erstellung einer Variantenbaumstruktur erforderliche Montagereihenfolge, die aus Sicht der Technischen Produktionsplanung das Ergebnis der Produktanalyse darstellt, auf der Basis eines aus der Konstruktion vorgegebenen Produktmodells ermittelt werden kann, werden keine Angaben gemacht.

Verbindungsdokumentation

Der von Sailer et al. beschriebene Ansatz der Verbindungsdokumentation erlaubt eine integrierte Produkt- und Prozessdokumentation. Durch die Einführung einer neuen Schlüsselbegriffsklasse, der so genannten Verbindungsposition, können sämtliche Informationen abgelegt werden, die sich nicht direkt auf ein Bauteil, sondern auf die Verbindung von zwei Teilepositionen beziehen [SaMH04]. Durch die Zuordnung von Prozess- und Ressourcedaten zur Verbindungsposition wird es möglich, diese Informationen mit den Produktdaten zu verknüpfen [Broc03]. Die Fertigungsreihenfolge wird dabei durch eine Vorrangbeziehung zwischen den Verbindungspositionen abgebildet. Zur Berücksichtigung von Varianten können, wie Abbildung 4-7 zeigt, die Teile- und/oder Verbindungspositionen um zusätzliche Elemente erweitert werden.

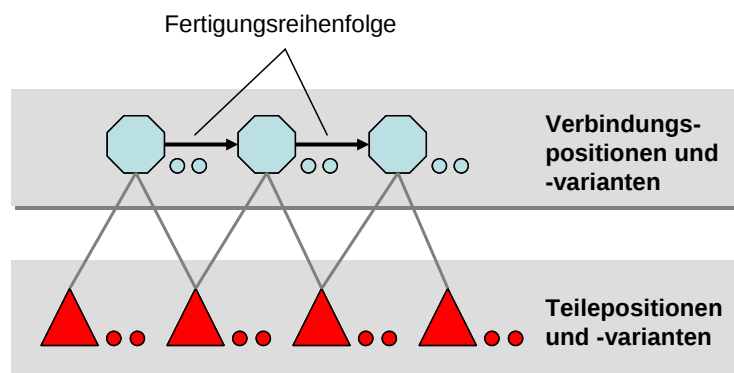


Abbildung 4-7: Aufbau einer Verbindungsdokumentation in Anlehnung an [SaMH04]

Durch die Anwendung der Verbindungsdokumentation geht die herkömmliche Stücklistenstruktur verloren, wodurch auch die für die Technische Produktionsplanung hilfreiche Untergliederung eines Produktes beispielsweise in vormontierbare Baugruppen verloren geht. Variantenbedingte Unterschiede in den Fertigungsabläufen ebenso wie komplexe Zusammenhänge zwischen mehreren Produkt-, Prozess- und Resourcevarianten sind mit Hilfe der Verbindungsdokumentation nur schwerlich abzubilden.

Weitere produktbezogene Ansätze

Zur konstruktiven Verringerung der Anzahl an theoretisch möglichen Produktvarianten sind im Laufe der Zeit verschiedene Produktstrukturierungsstrategien entwickelt worden. Zur Reduzierung der Variantenvielfalt kann ein Produkt in weitgehend standardisierte Elemente

aufgeteilt werden. Die Varianten entstehen dabei durch die Kombination der standardisierten Elemente. Baureihen, Module, Baukästen und Produktplattformen sind die bekanntesten Vertreter dieses Ansatzes. Eine Produktplattform besteht dabei aus standardisierten Elementen sowie aus individualisierten Elementen, die die Variantenvielfalt des Produktprogramms bestimmen [Krau05]. Die standardisierten Elemente bilden eine für alle Produkte beispielsweise für mehrere Produktreihen einer Automobilmarke stabile Basis. In diesem Zusammenhang seien noch zwei unterschiedliche Bauweisen erwähnt. Die Differentialbauweise basiert auf der Zerlegung von Funktionsträgern in mehrere Anbauteile, wodurch sich der Gleichteileumfang erhöhen lässt. Je nach zu realisierenden, vom Kunden gewünschten Funktionen können bei der Montage die unterschiedlichen Anbauteile kombiniert werden. Bei der Integralbauweise wird der Teileumfang durch das Zusammenfassen mehrerer Funktionen in einem Bauteil reduziert.

In [ScSc01] finden sich darüber hinaus noch weitere Ansätze, deren Fokus auf der Bewertung und Bereinigung von Produktvarianten liegt. Da der Schwerpunkt dieser Arbeit jedoch auf der Berücksichtigung von Varianten im Rahmen der Technischen Produktionsplanung liegt, wird an dieser Stelle auf eine nähere Beschreibung der zuvor genannten Ansätze verzichtet.

4.2.2 Produktionsbezogene Ansätze

Gruppentechnologie

Die von Mitrofanov vorgestellte Methode der Gruppentechnologie basiert auf der Zusammenfassung von Werkstücken, die geometrische Ähnlichkeiten bzw. gleiche oder ähnliche Bearbeitungsvorgänge erfordern, zu Teilefamilien [Mitr60]. Hierdurch lässt sich auch innerhalb der variantenreichen Produktion der Anteil der Serienproduktion an der gesamten Fertigung erhöhen, was zu einer wirtschaftlicheren Fertigung führt.

Die klassischen Lösungen der Gruppentechnologie (beispielsweise die Zuordnungsmatrix zwischen zu bearbeitenden Teilen und Maschinen) liefern nur eine statische Betrachtung. Die immer wieder auftretende dynamische Situation in der Fertigung ebenso wie bestehende Restriktionen der Fertigungslinie werden dabei außer Acht gelassen [HoLo02]. Darüber hinaus liegt das eigentliche Anwendungsgebiet der Gruppentechnologie in der Fertigung,

wenngleich neuere Ansätze auch mit Blick auf die Montage darauf abzielen, eine größere Anzahl an Variablen bei der Auslegung einer Fertigungszelle zu berücksichtigen [WoLe01].

Die Gruppentechnologie liefert somit einen Beitrag zur wirtschaftlichen Herstellung von Produktvarianten. Die Planung und Berücksichtigung von Produkt-, Prozess- und Ressourcenvarianten werden hierbei nicht behandelt.

Ansatz nach Friedmann

Die von Friedmann [Frie89] vorgestellte Methodik zielt darauf ab, ein „Vergleichsverfahren“ für Montagevorranggraphen verschiedener Produktvarianten zu konzipieren. Hierzu wird eine Betrachtung des Problems auf zwei Ebenen, der Vorgangs- sowie der Strukturebene, vorgenommen. Innerhalb der Strukturebene werden strukturelle Unterschiede zwischen den zu vergleichenden Montagevorranggraphen berücksichtigt und in einem Vergleichsgraphen durch Vorgänge mit der Bezeichnung „Strukturunterschied“ dargestellt. Zur Implementierung des Vergleichsalgorithmus hat Friedmann darüber hinaus eine umfassende Klassifizierung der Strukturunterschiede in Varianten-Vorranggraphen erarbeitet. In der Vorgangsebene werden die Merkmale der Montageoperationen verglichen. Hierbei lässt sich zwischen variantenneutralen Grundoperationen, die für alle Produktvarianten durchgeführt werden müssen, und variantenspezifischen Zusatzoperationen unterscheiden. Bei den variantenneutralen Grundoperationen können allerdings noch Unterschiede zwischen der Geometrie der zu montierenden Bauteile, der Anzahl der Teile usw. vorhanden sein. Der Aspekt der eigentlichen Planung von Varianten im Rahmen der Technischen Produktionsplanung wird von Friedmann nicht betrachtet.

Ansatz der hochflexiblen Produktionsendstufen

Röhrig beschreibt einen Ansatz zur Trennung zwischen variantenneutraler und variantenspezifischer Produktion mit Hilfe von hochflexiblen Produktionsendstufen [Röhr02]. Der Kerngedanke dieses Ansatzes besteht darin, „eine möglichst späte Variantenbildung durch die Integration von variantenbildenden Fertigungsprozessen in die Montage zu erzielen“ [MüOl03]. Die klassische Aufteilung der Produktion in Fertigung und Montage wird dabei durch eine Aufteilung in Produktionsvorstufe und Produktionsendstufe ersetzt. Während in der Produktionsvorstufe eine variantenneutrale Fertigung der Bauteile und Baugruppen

stattfindet, werden in der Produktionsendstufe die variantenspezifischen Fertigungs- und Montagetätigkeiten durchgeführt. Die hochflexiblen Produktionsendstufen liefern damit einen Ansatz zur Verlagerung der Varianz möglichst weit ans Ende der Produktion. Eine Methodik zur Berücksichtigung alternativer Fertigungs- und Montageprozesse in den Produktionsendstufen wird nicht behandelt.

Variantenmanagement in DELMIA Process Engineer (DPE)

Zur Berücksichtigung von Varianten stellt DPE verschiedene Möglichkeiten bereit, die jedoch alle als recht rudimentär angesehen werden können. Zum einen lassen sich über kundenspezifische Referenzen zwischen Produkten, Prozessen oder Ressourcen Alternativen definieren. Prozess- und Resourcevarianten lassen sich darüber hinaus über das Aktivieren bzw. Deaktivieren von Planungsobjekten darstellen. Zum anderen können Varianten über so genannte SA-Codes (Sonderausstattungs-codes), Coderegeln, Produktionsnummern und Label berücksichtigt werden, die den entsprechenden Produkten, Prozessen und Ressourcen zugewiesen werden. Dabei ist es möglich, ein Planungsprojekt nach diesen Elementen zu filtern.

Mit zunehmender Projektgröße und ansteigender Variantenzahl sind das Aufstellen sowie das Zuweisen von SA-Codes, Coderegeln usw. mit einem erheblichen zusätzlichen Aufwand verbunden. Darüber hinaus wird die hierdurch ermöglichte Darstellung der Varianten gerade bei Prozess- und Resourcevarianten bereits ab einer geringen Anzahl an Varianten sehr unübersichtlich.

Variantenmanagement mit eM-Planner

eM-Planner ermöglicht die Berücksichtigung von Varianten über so genannte „Variant Sets“, die den einzelnen Planungsobjekten (Produkt, Prozess und Ressource) zugeordnet werden können. Die Variant Sets werden dabei durch die Kombination von Varianten-Kriterien, wie z.B. Radio, Radio mit Kassettenspieler und Radio mit CD-Spieler, mittels boolescher Operationen gebildet. Über Varianten-Filter ist es möglich, jeweils nur die interessierenden Varianten im Projekt anzeigen zu lassen.

Im Fall vieler unterschiedlicher „Ausstattungs-möglichkeiten“ eines Produktes kann das Anlegen der Varianten-Kriterien beliebig umfangreich werden. So müssen nicht nur alle

Ausstattungsmöglichkeiten im System eingelesen werden, sondern auch mögliche Kombinationen dieser Ausstattungen in Variant Sets definiert werden. Darüber hinaus können mit Hilfe von Variant Sets nur produktvarianten-induzierte Prozess- und Ressourcevarianten berücksichtigt werden. Die Berücksichtigung von produkt-neutralen Varianten ist nicht möglich.

Weitere produktionsbezogene Ansätze

Für die Verringerung sowie für die Beherrschung der Variantenvielfalt ist eine kostenmäßige Bewertung der bestehenden sowie neu zu entwickelnder oder zu produzierender Varianten von entscheidender Bedeutung. Hierzu finden sich in der Literatur mehrere Ansätze. Die Arbeiten von Schuh [Schu88], Bartuschat [Bart95] und Korreck [Korr02] seien exemplarisch aufgeführt. Bei der Berücksichtigung der varianteninduzierten Kosten, d.h. der Kosten, die durch eine bestimmte Variante verursacht werden, muss in diesem Zusammenhang neben der Produktvarianz auch die Produktionsvarianz betrachtet werden. Als Grundlage für die Durchführung einer Variantenkostenrechnung oder Variantenkalkulation ist das Wissen um die Auswirkungen einer bestimmten Variante von entscheidender Bedeutung. Aus der Sicht der Produktionsvarianz müssen hierfür sowohl produktvarianten-induzierte als auch produktvarianten-neutrale Prozess- und Ressourcevarianten berücksichtigt werden, da beispielsweise die Einführung eines alternativen Fertigungsverfahrens als Prozessvariante ebenfalls kostenmäßig bewertet werden muss.

Neben den bereits vorgestellten, in Beziehung zur Technischen Produktionsplanung stehenden produktionsbezogenen Konzepten des Variantenmanagements existieren noch weitere Ansätze, deren Fokus auf Teilbereichen des Produkt- und Produktionslebenszyklus liegt. So stellt Menge in seiner Arbeit [Meng01] einen Ansatz zur Beherrschung der Variantenvielfalt beim Auftragsdurchlauf vor. Der Fokus liegt hierbei vor allem im Bereich der Einzel- und Kleinserienfertigung, für den Vollmer et al. eine Erweiterung der Wertstromdesign-Methode vorstellen. Mit Hilfe von Variantenwertströmen können die Material- und Informationsflüsse von Produktfamilien in einem Produktionsunternehmen visualisiert, verstanden und gegebenenfalls optimiert werden [VoSc04]. Auch im Bereich der technischen Dienstleistungen gewinnt das Thema des Variantenmanagements zunehmend an Bedeutung [LuLi04].

4.3 Zusammenfassung und Handlungsbedarf

Aus der Sicht der Technischen Produktionsplanung ergeben sich für die durchgängige Berücksichtigung von Produkt-, Prozess- und Resourcevarianten die folgenden Anforderungen an das Produktmodell (Tabelle 4-1) sowie an das Prozess- und Ressourcenmodell (Tabelle 4-2).

Anforderungen
Unterstützung bei der Vorbeugung bzw. Vermeidung von Produktvarianten
Vollständige, übersichtliche Darstellung aller relevanten Produktvarianten als Grundlage für die Technische Produktionsplanung
Bezug zur Montage bzw. Fertigung
Softwareintegration

Tabelle 4-1: Anforderungen an das Produktmodell

Anforderungen
Planung der Produktionsvarianz • Berücksichtigung von Prozess- und/oder Resourcevarianten • Übersichtliche Darstellung von Prozess- und/oder Resourcevarianten • Berücksichtigung der Varianz bei der Abfolge der Produktionsprozesse • Möglichkeit der Unterscheidung zwischen „alternativen“ Prozess- bzw. Resourcevarianten • Bewertung alternativer Variantenlösungen • Auswirkungen von Produkt-, Prozess- und Resourcevarianten erkennbar bzw. darstellbar
Konzeptdurchgängigkeit • Schnittstelle zum Produktmodell • Durchgängigkeit innerhalb des gesamten Planungsprozesses (Anwendbarkeit innerhalb der verschiedenen Planungstätigkeiten, vgl. Abbildung 3-1)
Softwareintegration

Tabelle 4-2: Anforderungen an das Prozess- und Ressourcenmodell

Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen lassen sich die in Abschnitt 4.2 näher beschriebenen Ansätze und Konzepte gegenüberstellen und bewerten. Hierzu findet sich in der folgenden Tabelle 4-3 eine Übersicht über die in Beziehung zur Technischen Produktionsplanung stehenden Lösungen hinsichtlich der Erfüllung der gestellten Anforderungen.

Ansatz	Anforderungen an					
	Prozess- & Ressourcmodell			Produktmodell		
	Planung der Produktionsvarianz	Konzeptdurchgängigkeit	Softwareintegration	Vorbeugung bzw. Vermeidung von Produktvarianten	Darstellung aller relevanten Produktvarianten	Bezug zur Montage und Fertigung
Variantenstücklisten			●		◐	◐
IT-geeignete Variantenstückliste			●		◐	◐
Variantenbaumstruktur			◐	●	◐	●
Verbindungsdokumentation			◐	○	○	○
Gruppentechnologie	○		◐	◐		●
Friedmann	◐	○	◐			
Hochflexible Produktionsendstufen	○			◐		
DELMIA Process Engineer	○	◐	●		◐	◐
eM-Planner	○	◐	●		◐	◐

Tabelle 4-3: Vergleich der bestehenden Ansätze des Variantenmanagements

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für die Bewertung und Vermeidung von sowohl Produktvarianten als auch Produktionsvarianten praxistaugliche Konzepte existieren, wenngleich diese Ansätze oftmals nur Einzelaspekte behandeln. Durch eine sinnvolle Produktgestaltung können Varianten vermieden bzw. durch eine spätere Umgestaltung der Produkte und Bereinigung der Produktpalette bestehende Varianten verringert werden. Neben geeigneten Ansätzen hierzu existieren verschiedene Hilfsmittel, die zum einen die Darstellung von Produktvarianten ermöglichen und zum anderen die Analyse und Reduktion der Produktvarianten unterstützen. Im Bereich der Produktion finden sich vielfältige Konzepte zur

Verlagerung und Beherrschung der Varianz beispielsweise durch die Einführung von Produktionsendstufen, die Gestaltung von rüstarmen bzw. rüsfreien Produktionsprozessen oder durch eine variantengerechte Produktionslogistik (vgl. auch [Röhr02]).

Es lässt sich jedoch ebenfalls feststellen, dass aus der Sicht der Technischen Produktionsplanung keiner der aufgeführten Ansätze die gesamte Breite der zu erfüllenden Anforderungen abdeckt bzw. praxistaugliche Lösungen hierzu bereitstellt. Ein signifikanter Forschungsbedarf besteht darin, die Produktion der notwendigen, unvermeidbaren Produktvarianten ganzheitlich zu planen und dazu benötigte Methoden und Werkzeuge bereitzustellen. Neben einer für die Technische Produktionsplanung geeigneten Darstellungsform der zu berücksichtigenden Produktvarianten fehlt es trotz erster IT-basierter Lösungen an praxistauglichen Konzepten, die eine effektive Variantenplanung unter Einbeziehung von Prozess- und Ressourcevarianten unterstützen und den in Tabelle 4-2 und Tabelle 4-1 formulierten Anforderungen gerecht werden.

5 3-Ebenen-Konzept des Variantenmanagements

Wie das vorhergehende Kapitel zeigt, beschäftigt man sich mit dem umfangreichen und komplexen Thema des Variantenmanagements nicht erst seit gestern. Sowohl die Vermeidung bzw. Verringerung als auch die Beherrschung der Varianz stellen schon seit einiger Zeit den Gegenstand verschiedener Arbeiten aus Industrie und Forschung dar. Trotz seiner langen Historie hat das Thema auch bedingt durch die weltwirtschaftlichen Entwicklungen der vergangenen Jahre keineswegs an Aktualität verloren, sondern ist heute mehr denn je zu einem Schlüsselfaktor für den Erfolg produzierender Unternehmen geworden.

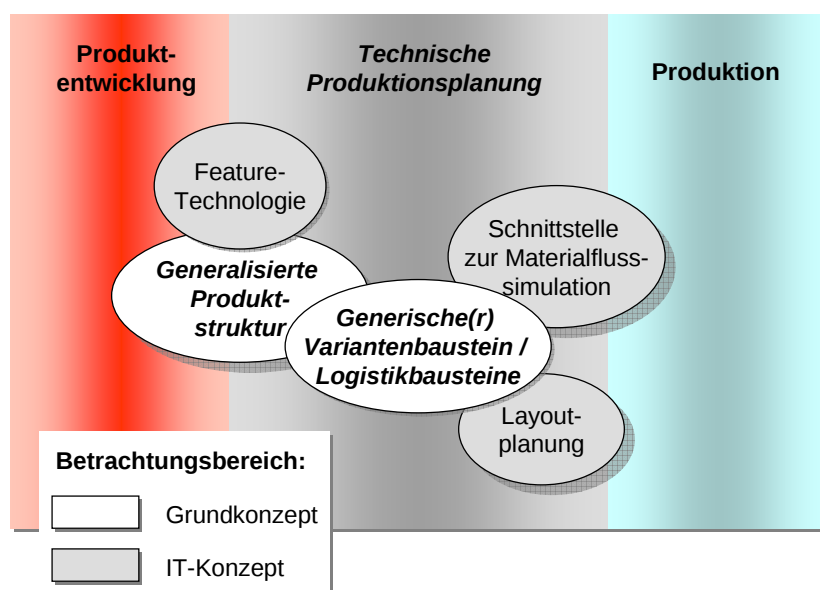


Abbildung 5-1: Umfang und Wirkbereich des Variantenmanagementansatzes

Innerhalb der Technischen Produktionsplanung, die die Brückenfunktion zwischen Produktentwicklung und Produktion bildet, werden dabei die Weichen für die Beherrschung der Varianz im Produktionsprozess gestellt. Dabei ist es, auch zur Verringerung der Varianz, von entscheidender Bedeutung, die zu handhabenden Produkt-, Prozess- und Resourcevarianten vollständig beschreiben und somit planen zu können. Aus diesem Grund wird im Folgenden ein durchgängiges Konzept zur effektiven Berücksichtigung von Varianten in der Technischen Produktionsplanung entwickelt, das die Schnittstellen sowohl zur Produktentwicklung als auch zur Produktion mit einbezieht. Abbildung 5-1 zeigt die Zuordnung der verschiedenen Elemente des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Variantenmanagementkonzepts, die im Folgenden näher beschrieben und erläutert werden, sowie ihre Zuordnung innerhalb des Produkt- und Produktionsentstehungsprozesses.

Die Umsetzung des Ansatzes wird in Form eines 3-Ebenen-Konzepts beschrieben (Abbildung 5-2), das den aktuellen Entwicklungen der IT-Unterstützung im Bereich der Technischen Produktionsplanung Rechnung trägt. Hierzu wird das grundlegende Konzept, das auch unabhängig von entsprechender Softwareunterstützung genutzt werden kann, in der Grundkonzept-Ebene beschrieben. Die IT-technische Integration in die Digitale Fabrik ist Gegenstand der beiden darauf aufbauenden Ebenen. In der IT-Konzept-Ebene wird das Grundkonzept losgelöst von der Nutzung konkreter Softwarewerkzeuge an die sich durch den Einsatz digitaler Planungswerkzeuge ergebenden Randbedingungen angepasst und um zusätzliche, durch die IT-Unterstützung nutzbare Elemente erweitert. Die Implementierungsebene hingegen behandelt die konkrete softwaretechnische Umsetzung des entwickelten Variantenmanagementkonzepts. Abgerundet wird das 3-Ebenen-Konzept durch zwei umgebende Praxisszenarien (vgl. Kapitel 6), mit denen seine Anwendbarkeit untersucht und nachgewiesen wird.

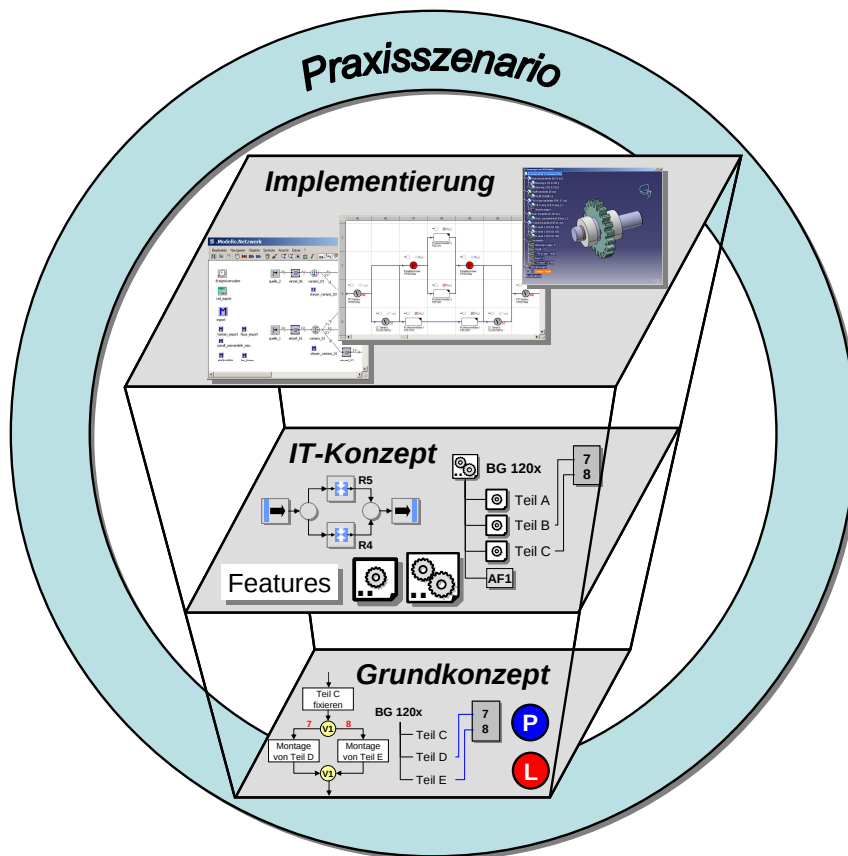


Abbildung 5-2: 3-Ebenen-Konzept des Variantenmanagements

Ein Ziel des 3-Ebenen-Konzepts ist es dabei auch, einen flexiblen, anwenderspezifischen Grad der Nutzung zu ermöglichen. Die einzelnen Bausteine des Konzepts erlauben es, Produkt-, Prozess- und Resourcevarianten innerhalb der Technischen Produktionsplanung

durchgängig zu berücksichtigen. Darüber hinaus ist es ebenfalls möglich, einzelne Bausteine allein zu nutzen, falls ein Unternehmen nur Teilbereiche der bei der Konzepterstellung berücksichtigten Aufgaben abdeckt oder das Thema Variantenmanagement nur punktuell innerhalb seines Planungsprozesses berücksichtigen möchte.

5.1 Grundkonzept

Für die Erarbeitung eines Grundkonzepts zur Berücksichtigung von Produkt-, Prozess- und Resourcevarianten im Rahmen der Arbeitsinhalte der Technischen Produktionsplanung ergeben sich zwei grundlegende Anforderungen, die es umzusetzen gilt:

1. Alle relevanten Produktvarianten sind in einer geeigneten Form, d.h. vollständig und übersichtlich, für die Planung darzustellen.
2. Sowohl Prozess- als auch Resourcevarianten sind innerhalb des Planungsprozesses im Allgemeinen sowie im Speziellen in der Prozessplanung zu berücksichtigen und darzustellen.

Zur Erfüllung der ersten Anforderung werden die Vorteile der verschiedenen Variantenstücklisten bei gleichzeitiger Vermeidung ihrer Nachteile in einer generalisierten Produktstrukturierung vereint. Für die Berücksichtigung und übersichtliche Darstellung von Prozess- und Resourcevarianten wird ein generischer Variantenbaustein als zusätzliches, neuartiges Prozess- und Ressourcenelement definiert. Darüber hinaus erlaubt die Definition von zwei generischen Logistikbausteinen eine eindeutige Darstellung der zur Herstellung der Produkte bzw. Produktvarianten erforderlichen Abfolge der Prozesse und Ressourcen, die die Grundlage für die IT-gerechte Weiterentwicklung des Variantenansatzes bildet.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass im Folgenden unter dem Begriff „Prozesse“ (technologische) Produktionsprozesse wie Montieren, Prüfen oder Transportieren verstanden werden. Geschäftsprozesse wie Marketing, Konstruktion oder Vertrieb werden dabei nicht berücksichtigt. Unter Ressourcen werden alle für die Durchführung der Prozesse erforderlichen Anlagen und Betriebsmittel subsumiert. Auch Werker, die an der Produkterstellung beteiligt sind, werden unter dem Begriff der Ressource zusammengefasst.

5.1.1 Generalisierte Produktstruktur

Ausgangssituation

Durch die zunehmende Parallelisierung von Produkt- und Produktionsentwicklung ist die Konstruktion der Produkte mit Beginn der Technischen Produktionsplanung im Allgemeinen noch nicht abgeschlossen. Daher liegt zu diesem Zeitpunkt in der Regel noch kein vollständiges Produktmodell, sondern vielmehr nur ein erstes Skelett der Produktstruktur vor. Aus der Sicht der Technischen Produktionsplanung wird in einer frühen Phase zumindest ein erstes Grundgerüst der Produktstruktur benötigt, das, wenngleich auch noch nicht alle Produktvarianten ausdetailliert sind, einen Überblick über die zu erwartenden Varianten und ihre Zusammensetzung liefert. Zwar kann – wie beispielsweise in der Automobilindustrie üblich – in frühen Planungsphasen auf die Produktdaten des Vorgängermodells zurückgegriffen werden, die Gefahr von Planungsfehlern aufgrund neuartiger Komponenten und zusätzlicher bzw. modifizierter Varianten darf dabei aber keineswegs außer Acht gelassen werden.

Da die Herstellung von Produktvarianten in der Regel den Einsatz unterschiedlicher Prozesse und Ressourcen erfordert, ist es im Allgemeinen für die Planung der Produktion nicht ausreichend, nur einige wenige „Basisvarianten“ zu berücksichtigen. Eine Verkürzung der Planungszeit bei gleichzeitiger Steigerung der Planungsqualität lässt sich in diesem Zusammenhang auch unter Zuhilfenahme geeigneter IT-Unterstützung nur dann erzielen, wenn von Beginn an alle relevanten Produktvarianten berücksichtigt werden können. Hierdurch wird erreicht, dass eine Vielzahl von Produktvarianten nicht erst nachträglich in eine bereits geplante Anlage integriert werden muss, sondern von Anfang an berücksichtigt werden kann.

Um während der Planung der Produktionseinrichtungen alle relevanten Produktvarianten auch bereits in einer frühen Phase des Planungsprozesses zu berücksichtigen, muss ein Produktmodell aus der Sicht der Planung die drei folgenden Anforderungen erfüllen [BlZe05a]:

- Die Produktstruktur muss entsprechend ihres jeweiligen Entwicklungsstandes vollständig in einer für die Planung nutzbaren Form bereitgestellt werden.
 - Um dem SE-Prozess Rechnung zu tragen, muss die Produktstruktur mit dem Fortschritt von Produktentwicklung und Planung sukzessive detaillier- und erweiterbar sein.
-

- Dort, wo eine Reduzierung der Planungskomplexität notwendig ist, muss diese auch möglich sein. Daher muss die Produktstruktur unterschiedliche Detaillierungsgrade aufweisen.

Zur Erfüllung dieser drei Anforderungen wird die für die Technische Produktionsplanung weitestgehend verwendete konventionelle Produktstruktur in ein umfassendes Produktmodell überführt. Unter konventioneller Produktstruktur ist in diesem Zusammenhang die Darstellung der Zusammensetzung eines Erzeugnisses in einem Produktbaum zu verstehen. Hierbei existiert in der Regel für jede Variante ein eigener Produktbaum, der aus den verschiedensten Variantenstücklisten abgeleitet bzw. erstellt werden kann. Zum Aufbau einer umfassenden Produktstruktur wird die auf der Grundlage der unterschiedlichen Variantenstücklistenformen entwickelte generalisierte Produktstruktur, wie sie in Abbildung 5-3 auf der rechten Seite zu sehen ist, genutzt.

Erstellung der generalisierten Produktstruktur

Aus der Sicht des Konstrukteurs kann eine solche generalisierte Produktstruktur sowohl zu Beginn des Konstruktionsprozesses als auch zu jedem anderen Zeitpunkt beispielsweise mit Beginn der Produktionsentwicklung erstellt werden. Wird sie von Beginn an eingesetzt, bildet sie während des Konstruktionsprozesses eine Art Produktgerippe, das sukzessive mit Bauteilen, Baugruppen bzw. Bauteil- und Baugruppenvarianten gefüllt und erweitert wird. Daneben ist es, wie bereits erwähnt, ebenfalls möglich, eine konventionelle Produktstruktur, in der für jede Variante ein getrennter Produktbaum existiert, in ein generalisiertes Produktmodell zu überführen. Dies lässt sich mit Hilfe einer zweistufigen Vorgehensweise (Abbildung 5-3) durchführen. Die Anzahl an Produktvarianten bzw. Produktbäumen ist dabei beliebig.

- In einem ersten Schritt werden alle zu berücksichtigenden Produkt- und Baugruppenvarianten jeweils zu einem variantenneutralen Produkt bzw. zu einer variantenneutralen Baugruppe zusammengefasst.
 - In einem zweiten Schritt wird die generalisierte Produktstruktur beginnend auf der obersten Hierarchieebene schrittweise bis zum Erreichen der untersten Ebene aufgebaut.
-

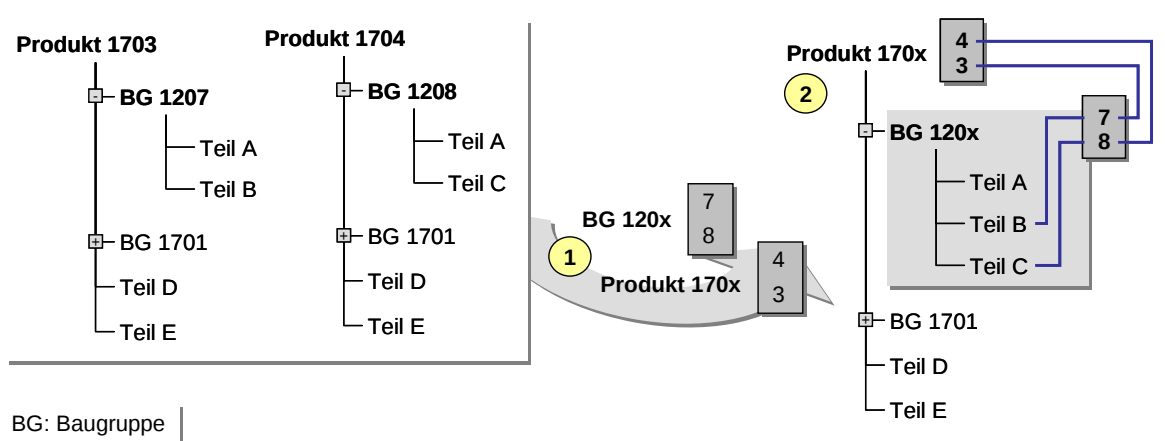


Abbildung 5-3: Aufbau der generalisierten Produktstruktur

Die genaue Anwendung des Transformationsalgorithmus lässt sich dabei am Einfachsten anhand eines Beispiels beschreiben. Ausgangspunkt für die Erstellung einer generalisierten Produktstruktur sind die in Abbildung 5-3 dargestellten zwei Varianten eines Produktes, z.B. zwei Varianten einer Einspritzpumpe. Die Baugruppen- und Bauteilstruktur ist für jede der beiden Produktvarianten P 1703 und P 1704 in einem eigenen Produktbaum hinterlegt. Der Unterschied zwischen den beiden Varianten besteht lediglich darin, dass im Produkt 1703 die Baugruppe 1207 verbaut ist, während 1704 stattdessen die Baugruppe 1208 enthält. Der Unterschied zwischen den beiden zuvor genannten Baugruppen liegt nur im Bauteil B bzw. C. Die Baugruppe 1701 sowie die beiden Bauteile D und E sind in beiden Varianten enthalten.

Um nun die beiden Varianten in einer generalisierten Produktstruktur zusammenfassen zu können, werden sowohl die beiden Produktvarianten (Produkt 1703 und Produkt 1704) als auch die beiden Baugruppenvarianten (BG 1207 und BG 1208) jeweils in einem varianten-neutralen Element, einem generalisierten Produkt bzw. einer generalisierten Baugruppe zusammengefasst. Hierzu wird der variantenspezifische Teil der Produkt- bzw. Baugruppen-ID durch einen Platzhalter ersetzt. Da mehr Buchstaben als einstellige Zahlen existieren, werden für die Platzhalter Buchstaben („x“ im obigen Beispiel) verwendet; und weil eine Identifikationsnummer in der Regel neben Zahlen maximal noch aus Buchstaben besteht, ist somit sichergestellt, dass auch bei einer sehr großen Anzahl an unterschiedlichen Varianten die Platzhalter nicht „ausgehen“. Um nach dieser Zusammenfassung die vorhandenen Varianten noch unterscheiden zu können, werden die variantenspezifischen Informationen in einer zum jeweiligen generalisierten Element gehörenden Variantenliste gespeichert. Neben dem variantenspezifischen Teil der Produkt- oder Baugruppen-ID kann die Variantenliste noch weitere, der jeweiligen Variante zugeordnete benutzer- oder unternehmensspezifische Informationen wie beispielsweise einen beschreibenden Text enthalten. Der formale Ablauf

zur Erzeugung generalisierter Produkt- und Baugruppenelemente auf der Grundlage bestehender Produktvariantenbäume ist im folgenden Flussdiagramm (Abbildung 5-4) dargestellt.

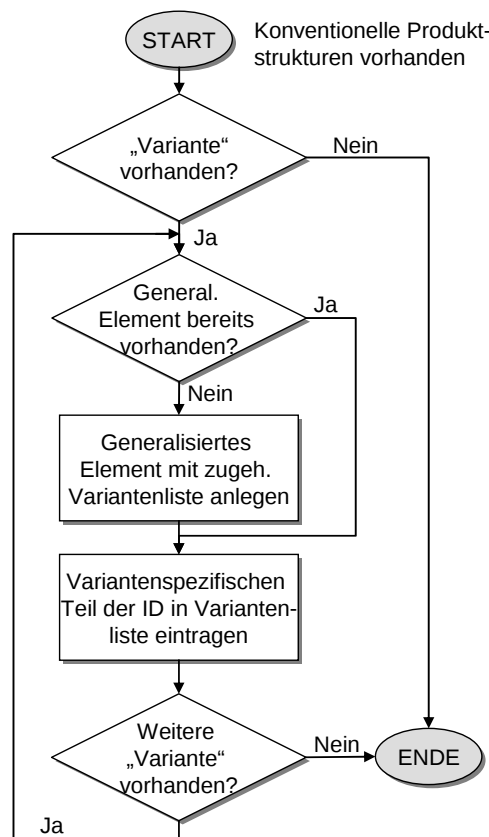


Abbildung 5-4: Flussdiagramm zur Erstellung generalisierter Produkte und Baugruppen

Voraussetzung für den oben beschriebenen ersten Schritt zur Erstellung einer generalisierten Produktstruktur ist die Möglichkeit, Produkt- und Baugruppenvarianten eindeutig identifizieren zu können. Ist es nicht möglich, zusammengehörende Varianten zum Beispiel über ihre Identifikationsnummer (ID) einander zuzuordnen, kann ihre Zusammenfassung zu einem generalisierten Element nicht automatisiert erfolgen, sondern muss manuell durchgeführt werden. [BIFZ05]

Nachdem die verschiedenen Produkt- und Baugruppenvarianten zusammengefasst worden sind, wird im nächsten Schritt die generalisierte Produktstruktur erstellt, indem die konventionellen Produktbäume der einzelnen Varianten nacheinander in die generalisierte Struktur überführt bzw. integriert werden.

Zu Beginn wird eine Kopie der konventionellen Baumstruktur einer beliebigen Variante erstellt. Jedes Element, das zuvor in ein generalisiertes Objekt eingegangen ist, wird anschließend durch dieses ersetzt. Zur Erstellung der benötigten Referenzen zwischen einer Varian-

tenliste und den unmittelbar untergeordneten Elementen wird die neue Produktstruktur vom Vaterknoten ausgehend nach unten durchlaufen. Hierbei wird bei jeder Variantenliste der entsprechende Eintrag mit den untergeordneten Bauteilen und Baugruppen bzw. den Variantenlisten der untergeordneten Baugruppen über eine Referenz verknüpft. Mit Hilfe der Referenzen kann innerhalb der Produktstruktur für jede Hierarchieebene die Zuordnung der Bauteile und Baugruppen zur übergeordneten Produkt- bzw. Baugruppenvariante berücksichtigt werden.

Für das in Abbildung 5-3 dargestellte Beispiel bedeutet dies, dass beispielsweise der Produktbaum von Produkt 1703 zur Erstellung der generalisierten Produktstruktur kopiert wird. Anschließend wird das Produkt 1703 durch das generalisierte Element Produkt 170x und die Baugruppe BG 1207 durch BG 120x ersetzt. Um die Zuordnung der Bauteile und Baugruppen zur Produktvariante 1703 darzustellen, wird der Listeneintrag „3“ der Variantenliste des generalisierten Produktes mit allen auf der nachfolgenden Ebene befindlichen Elementen (Eintrag „7“ der Variantenliste der generalisierten Baugruppe BG 120x, BG 1701 sowie Teil D und E) über Referenzen verbunden. Aus Übersichtlichkeitsgründen sind in Abbildung 5-3 jedoch die Referenzen zu den Elementen, die in allen Varianten enthalten sind, nicht dargestellt. Abbildung 5-5a zeigt den beschriebenen Ablauf in formaler Form. Nach dem Aufbau einer ersten generalisierten Produktstruktur mittels einer Produktvariante können die übrigen Varianten entsprechend dem in Abbildung 5-5b dargestellten Algorithmus, der auf der obersten Hierarchieebene beginnend nach unten durchlaufen wird, ergänzt werden.

Auf das obige Beispiel angewandt, liefert der Algorithmus für das Hinzufügen weiterer Varianten das auf der rechten Seite in Abbildung 5-3 gezeigte Ergebnis. Da die Baugruppe 1208 bereits durch die generalisierte Baugruppe 120x repräsentiert wird, muss nur der Eintrag „8“ der Variantenliste mit dem Eintrag „4“ der übergeordneten Variantenliste über eine Referenz verbunden werden. Die Baugruppe 1701 sowie die beiden Bauteile D und E sind in der generalisierten Struktur bereits vorhanden, so dass für sie nur Referenzen zum Eintrag „4“ in der übergeordneten Variantenliste erstellt werden müssen. Innerhalb der generalisierten Baugruppe ist das Bauteil A ebenfalls bereits vorhanden, so dass auch hier nur eine Referenz zur „8“ der übergeordneten Variantenliste erstellt werden muss. Da das Bauteil C unter der generalisierten Baugruppe noch nicht vorhanden ist, muss es neu erzeugt und referenziert werden. Auch hier sei nochmals erwähnt, dass die Referenzen zu den Elementen, die in allen Varianten enthalten sind, aus Übersichtlichkeitsgründen in Abbildung 5-3 nicht dargestellt sind.

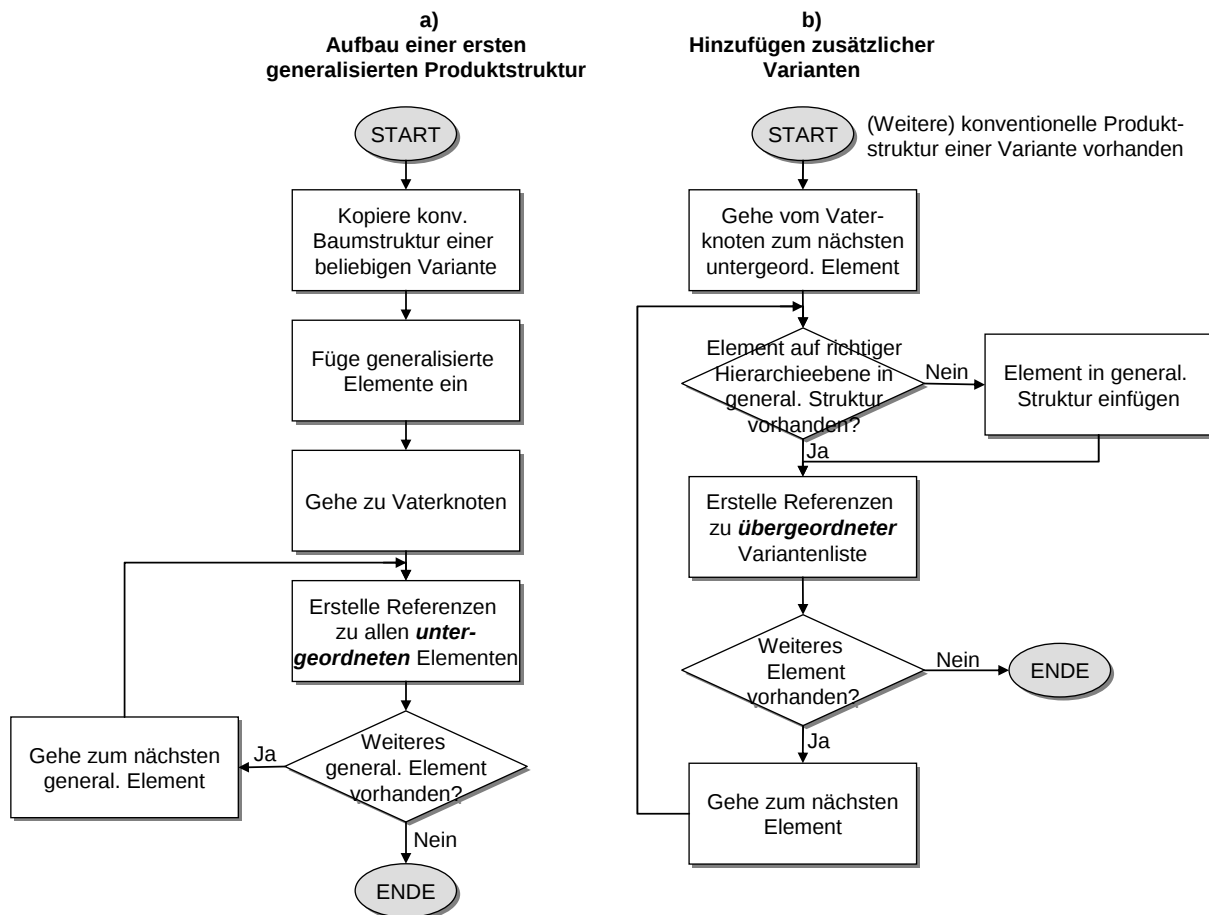


Abbildung 5-5: Flussdiagramm zum Aufbau einer generalisierten Produktstruktur

Zur Ablage bzw. Speicherung der generalisierten Produktstruktur kann neben der graphischen auch die tabellarische Darstellung, wie sie in relationalen Datenbanken verwendet wird, genutzt werden. Neben den eigentlichen Bauteil- und Baugruppeninformationen sowie der Aufbaustruktur der Produkte sind dabei zusätzlich die Informationen der Variantenlisten sowie die Referenzen zwischen übergeordneter Variantenliste und untergeordneten Elementen in Tabellen abzulegen.

Einsatz der generalisierten Produktstruktur

Da bei einer variantenreichen generalisierten Produktstruktur eine Vielzahl von Referenzen erforderlich ist, kann die graphische Darstellung dieser Struktur unübersichtlich werden. Daher kann aus Gründen der Übersichtlichkeit innerhalb der graphischen Darstellung der generalisierten Struktur auf die Referenzen von Bauteilen und Baugruppen, die in allen übergeordneten Varianten enthalten sind, verzichtet werden.

In dem im vorherigen Abschnitt beschriebenen Beispiel, dessen generalisierte Produktstruktur nochmals in Abbildung 5-6a dargestellt ist, wird auf die Referenzen zwischen Bauteil A und der übergeordneten Variantenliste der generalisierten Baugruppe 120x verzichtet, da Bauteil A in allen Varianten der Baugruppe enthalten ist. Ebenso kommen die Baugruppe 1701 sowie die beiden Bauteile D und E in allen Produktvarianten vor, d.h. sowohl in P 1703 als auch in P 1704, weshalb auch hier keine Referenzen erforderlich sind. Um darüber hinaus die Übersichtlichkeit der generalisierten Produktstruktur zu erhöhen, können die Referenzen zu der übergeordneten Variantenliste, wie Abbildung 5-6b zeigt, durch die Angabe des übergeordneten bzw. der übergeordneten Variantenlisteneinträge hinter dem jeweiligen Bauteil oder Listeneintrag erfolgen.

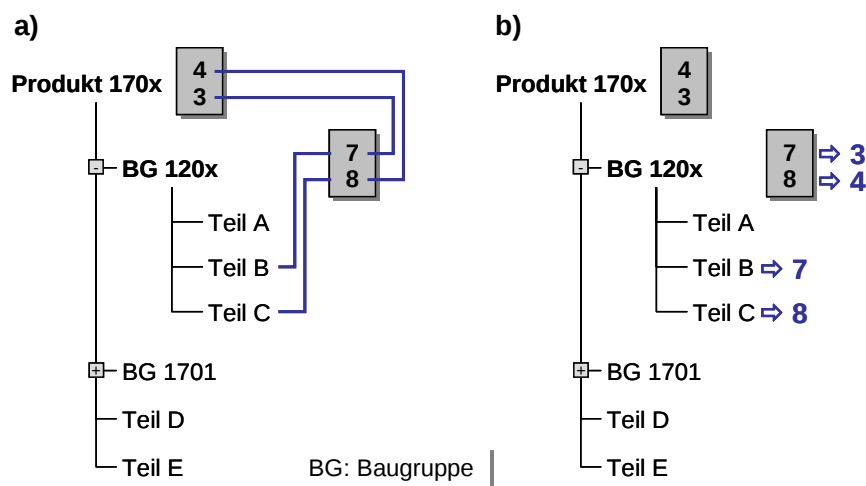


Abbildung 5-6: Darstellungsformen der generalisierten Produktstruktur

Neben der Erstellung einer generalisierten Produktstruktur kommt im Besonderen dem Umgang mit (nachträglichen) Produktänderungen eine entscheidende Bedeutung zu. Bei einer zusätzlichen Variante auf Baugruppen- bzw. Bauteilebene müssen zum einen die zugehörige Variantenliste der generalisierten Baugruppe ergänzt und etwaige zusätzliche Referenzen zu der erweiterten Variantenliste erstellt werden. Da eine neue Bauteil- oder Baugruppenvariante in der Regel auch mit zusätzlichen Varianten bei den übergeordneten Baugruppen bis hin zum Endprodukt verbunden ist, sind in diesem Fall zum anderen die Referenzen zu den übergeordneten Variantenlisten bis zur obersten Ebene sowie die Variantenlisten selbst gegebenenfalls zu überarbeiten bzw. zu ergänzen. Gleiches ist auch beim Einfügen einer zusätzlichen Produktvariante erforderlich. Hier kann nach einer Erweiterung der betroffenen Variantenlisten der im vorherigen Abschnitt beschriebene Automatismus zum Hinzufügen weiterer Varianten (vgl. Abbildung 5-5b) durchlaufen werden. Für die Überführung einer Entwicklungsstückliste in eine Fertigungsstückliste, die eine an der Produktion orientierte Struktur-

rung eines Produktes darstellt, kann es darüber hinaus notwendig sein, die generalisierte Produktstruktur um weitere fertigungsbezogene Unterbaugruppen zu ergänzen.

Für die Anwendung der generalisierten Produktstruktur ist des Weiteren die Reduzierung der Komplexität, die bei einer großen Anzahl an zu berücksichtigenden Produktvarianten schnell sehr hoch werden kann, ein zentraler Aspekt. Durch die vollständige, stufenweise Referenzierung zwischen übergeordneter Variantenliste und untergeordneten Elementen ist es bei IT-technischer Unterstützung der generalisierten Produktstruktur möglich, mittels entsprechender Filtermechanismen jeweils nur die gerade relevanten Varianten darzustellen. Zudem unterstützt die generalisierte Produktstruktur eine arbeitsteilige Planung, indem ein Planungsexperte jeweils die Verantwortung für die Produktionsabläufe einer oder auch mehrerer generalisierter Baugruppen erhält. In einer generalisierten Baugruppe sind dabei alle zu berücksichtigenden Varianten enthalten.

Neben einer für die Technische Produktionsplanung geeigneten Darstellung aller relevanten Produktvarianten in einem Modell kann mit Hilfe der generalisierten Produktstruktur die „Variantengerechtigkeit“ einer Konstruktion, d.h. unter anderem die Realisierung der vom Kunden geforderten Produktvarianten durch ein Maximum an identischen Bauteilen und Baugruppen, überprüft werden. Werden innerhalb einer generalisierten Baugruppe beispielsweise nur solche Referenzen zwischen Bauteilen und Variantenliste berücksichtigt, bei denen ein Bauteil nicht Bestandteil aller Varianten ist, so liefert die Anzahl der Referenzen ein erstes Maß für die innere Vielfalt. Dabei führen viele Referenzen, d.h. viele unterschiedliche Bauteile und Baugruppen, in der Regel zu einer erhöhten inneren Varianz, die es soweit wie möglich zu vermeiden gilt. Über die Anzahl an Referenzen lassen sich daher auch Maßnahmen zur Verringerung der Produktvarianz auf ihre Wirksamkeit hin überprüfen.

5.1.2 Generischer Variantenbaustein

Basierend auf der generalisierten Produktstruktur können im Rahmen der Technischen Produktionsplanung in einem ersten Planungsschritt die erforderlichen (Montage- bzw. gegebenenfalls auch Fertigungs-) Prozesse ermittelt und eine erste Prozessreihenfolge in einem Prozessgraphen beschrieben werden. Mit Hilfe dieses lösungsneutralen Prozessgraphen kann durch Zuweisung der zur Durchführung der Prozesse benötigten Ressourcen die konkrete Produktionslösung erarbeitet werden. Der so entstehende „erweiterte Prozessgraph“ bildet den Ausgangspunkt für die anschließenden Planungsschritte wie z.B. die Layoutpla-

nung oder die Ablauf- bzw. Materialflusssimulation. Zur Berücksichtigung von Prozess- und Ressourcevarianten bei der Planung der Produktionsabläufe und der benötigten Ressourcen muss zwischen produktvarianten-induzierten und produktvarianten-neutralen Prozess- und Ressourcevarianten unterschieden werden.

Produktvarianten-induzierte Prozess- und Ressourcevarianten

Bei der Beschreibung der Produktionsprozesse und ihrer Abfolge können Prozessvarianten in Anlehnung an eine ereignisgesteuerte Prozesskette (vgl. [Sche98]) mittels eines generischen Variantenbausteins, der im Folgenden auch als Varianten- oder Entscheidungsknoten bezeichnet wird, unterschieden werden. Ein Variantenknoten besitzt dabei zur Beschreibung der Prozessabfolge mehrere Ausgänge. Jedem Ausgang wird mindestens eine der zu produzierenden Produkt- bzw. Baugruppenvarianten zugewiesen. Jedes generalisierte Element der Produktstruktur verursacht damit, wie in Abbildung 5-7 gezeigt, ein Entscheidungsknotenpaar. Obwohl für einen eindeutigen Prozessgraphen bereits ein Knoten zu Beginn einer produktvarianten-induzierten Verzweigung ausreichen würde, wird aus Gründen der Übersichtlichkeit- und Durchgängigkeit des Konzepts ein öffnendes und ein schließendes Element verwendet.

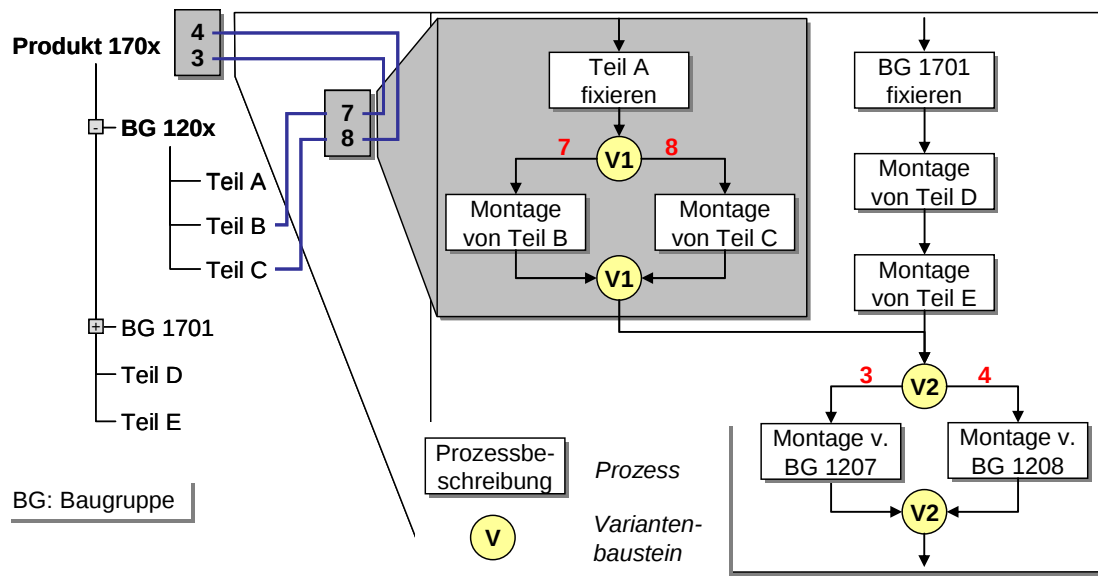


Abbildung 5-7: Berücksichtigung von produktvarianten-induzierten Prozessvarianten auf der Grundlage eines generalisierten Produktmodells

Abhängig von den in der Variantenliste hinterlegten Informationen besitzt somit jeder Entscheidungsknoten eine gewisse Anzahl an abgehenden Kanten am Anfang einer Verzwei-

gung und dieselbe Zahl an eingehenden Kanten am Ende der Verzweigung. Die Anzahl der Kanten entspricht dabei maximal der Anzahl an Einträgen in der Variantenliste; die minimale Anzahl beträgt zwei.

Wird die Abfolge der Ressourcen in einem separaten Graphen beispielsweise in einem so genannten Fertigungskonzept dargestellt, so kann der generische Variantenbaustein analog zu seiner Nutzung in einem Prozessgraphen auch in einem Ressourcegraphen verwendet werden. Die Struktur sowie der Aufbau eines Entscheidungsknotens sind dabei in Prozess- und Ressourcenicht identisch. Lediglich die Zuweisung der Ausgänge kann differieren, da es prinzipiell möglich ist, dass mehrere Prozessvarianten mit der gleichen Ressource durchgeführt werden.

Abschließend sei noch erwähnt, dass der beschriebene Ansatz auch losgelöst von der generalisierten Produktstruktur anwendbar ist. Das Potential der generalisierten Elemente bzw. der zugehörigen Variantenliste als Anzeiger möglicher Prozess- bzw. Resourcevarianten bleibt dabei jedoch ungenutzt.

Produktvarianten-neutrale Prozess- und Resourcevarianten

Zwar stellt eine Produktvariante die häufigste Ursache für das Auftreten von Prozess- und Resourcevarianten dar; diese können aber auch unabhängig von einem bestimmten Produkt oder einer Produktvariante auftreten. Ein einfaches Beispiel produkt- bzw. produktvarianten-neutraler Prozess- und Resourcevarianten liegt bereits vor, wenn ein Produkt an zwei oder mehreren Standorten mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden produziert wird. Aus Zeit-, Kosten- und Qualitätsgründen ist es gerade in diesem Fall nicht zweckmäßig, für jeden Standort eine getrennte Planung durchzuführen. Vielmehr gilt es, lediglich die Unterschiede in Form von Prozess- und Resourcevarianten getrennt und gleiche Produktionsbereiche und Abläufe gemeinsam, d.h. nur einmal zu planen, um sicherstellen zu können, dass an unterschiedlichen Standorten für das gleiche Problem nicht mehrfach Lösungen erarbeitet werden müssen und es darüber hinaus nicht zu unnötig variierenden Lösungen unterschiedlicher Güte kommt. Gerade im Rahmen der Standardisierungsbestrebungen der Digitalen Fabrik spielt dieser Aspekt eine wichtige Rolle.

Zur Berücksichtigung produktvarianten-neutraler Prozess- und Resourcevarianten werden Variantenmengen und Variantenelemente eingeführt, die je nach Bedarf Prozessen und/oder

Ressourcen zugeordnet werden können. Eine Variantenmenge besteht dabei aus mindestens einem Variantenelement. Ein Variantenelement stellt ganz allgemein ein Unterscheidungsmerkmal zwischen Prozess- bzw. Resourcevarianten dar. Die Variantenmenge „Standort“ bezeichnet dabei beispielsweise eine übergeordnete Ressource mit den drei Variantenelementen „Deutschland Nord“, „Deutschland Süd“ und „Türkei“.

Standort := {Deutschland Nord, Deutschland Süd, Türkei}

Neben der räumlichen Unterscheidung von Prozess- und Resourcevarianten ermöglicht der Ansatz auch eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Phasen des Lebenszyklus eines Produktionssystems. So können beispielsweise in einem Planungsmodell unterschiedliche Ausbaustufen einer Produktion geplant und damit auch gegenübergestellt und verglichen werden. Hierzu können die zu der Variantenmenge „Lebenszyklusplanung“ zugehörigen Variantenelemente verwendet werden.

Da Prozess- und Resourcevarianten im Allgemeinen nicht nur einem Variantenelement bzw. einer kompletten Variantenmenge zuzuordnen sind, ist es erforderlich, sowohl Variantenelemente als auch Variantenmengen miteinander zu verknüpfen. Hierzu werden die aus der Mengenlehre bekannten logischen Operatoren Konjunktion „&“ und Ausschluss „\“ genutzt. Wird eine Ressource unter Berücksichtigung der oben angegebenen Variantenmenge „Standort“ beispielsweise nur in Deutschland eingesetzt, so ergeben sich die beiden folgenden Kombinationsmöglichkeiten:

- (1) Deutschland Nord & Deutschland Süd,
- (2) Standort \ Türkei.

Im Fall (1) erfolgt die Verbindung über eine Konjunktion, im Fall (2) über den Ausschluss der Türkei aus der Menge der Standorte. Es ist ersichtlich, dass diese Form der Darstellung aufgrund der Verwendung von Konjunktion und Ausschluss zu mehreren alternativen Beschreibungen führen kann. Der Vorteil der Nutzung beider Operatoren liegt allerdings darin, dass auf diese Weise ein minimaler Beschreibungsaufwand erzielt werden kann.

Für die Beschreibung von produktvarianten-neutralen Prozess- und Resourcevarianten kann die benötigte Anzahl an Variantenmengen in der Regel auf zwei begrenzt werden: eine Variantenmenge, die eine Unterscheidung von Standorten oder Produktionslinien (räumlicher Aspekt) ermöglicht, und eine Variantenmenge, die die Phasen im Lebenszyklus des Produktionssystems beschreibt (zeitlicher Aspekt). Weitere Variantenmengen wie beispielsweise

unterschiedliche Qualitätsanforderungen an Ressourcen oder unterschiedliche Fertigungstechnologien können im Allgemeinen unter der Variantenmenge zur Unterscheidung von Standorten oder Produktionslinien subsumiert werden. So werden beispielsweise bei der Verwendung zweier alternativer Fertigungstechnologien diese im Allgemeinen auch an unterschiedlichen Produktionslinien zum Einsatz kommen.

Kombination der beiden Lösungsansätze

Um die beiden vorgestellten Lösungsansätze zur Berücksichtigung von produktvarianten-induzierten und produktvarianten-neutralen Prozess- und Resourcevarianten in ein vollständiges und praxistaugliches Variantenmanagementkonzept einzubetten, ist es notwendig, die beiden Ansätze zu vereinen, da in der Regel eine Mischform aus beiden auftritt. Vergleicht man beide Konzepte miteinander, so lassen sich die folgenden Gemeinsamkeiten feststellen:

- Beide Ansätze benötigen eine Unterscheidung zwischen mehreren Prozess- oder Resourcevarianten (produktabhängig = Produktvarianten; produktneutral = Kombination aus Variantenelementen/-mengen).
- Aus Anwendersicht wird in beiden Ansätzen eine verständliche, visuell erkennbare Unterscheidung der entsprechenden Varianten benötigt.

Ist es möglich, einem Entscheidungsknoten einen produktvarianten-neutralen Ausdruck, der durch die Kombination von Variantenelementen entsteht, anstelle der Variantenlisteneinträge der generalisierten Produktstruktur zuzuweisen, ist er als zentrales Element zur Beschreibung und Darstellung von Prozess- und Resourcevarianten nutzbar. Aufgrund der durchaus unterschiedlichen Bedeutung der so verwendeten Entscheidungsknoten erscheint es aus Gründen der Übersichtlichkeit zweckmäßig, drei unterschiedliche Ausprägungen des generischen Variantenbausteins zu verwenden:

-  Produktvarianten-induzierte Prozess- bzw. Resourcevariante (V)
-  Produktvarianten-neutrale Prozess- bzw. Resourcevariante (V_{PN})
-  Lebenszyklusvariante (V_{LC})

Dadurch ist es möglich, alle notwendigen Prozess- bzw. Resourcevarianten innerhalb eines Modells zu erfassen und darüber hinaus zeitliche Abhängigkeiten zu betrachten.

Abbildung 5-8 zeigt beispielhaft einen um Ressourcen erweiterten Prozessgraphen, in dem die drei vorgestellten Entscheidungsknoten Verwendung finden.

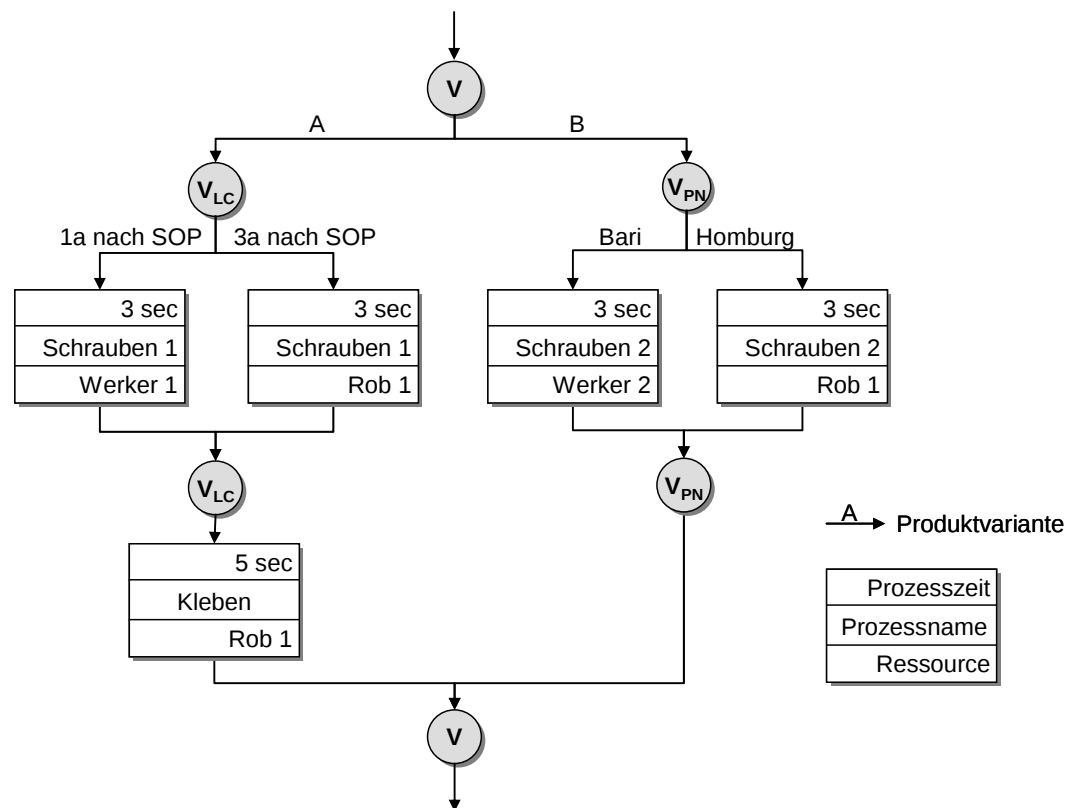


Abbildung 5-8: Erweiterter Prozessgraph mit Entscheidungsknoten

Bei der Abbildung einer großen Anzahl an Prozess- und Resourcevarianten, wie sie unter anderem in der Montage der Automobilindustrie zu finden ist, kann die Darstellung aller Varianten in einem Gesamtlayout dieses sehr komplex und auch unübersichtlich erscheinen lassen. Zur Verringerung der Komplexität bietet sich jedoch bei der IT-technischen Umsetzung des Konzepts auch hier die Nutzung von Filtermechanismen an, die auf der Grundlage der Entscheidungsknoten jeweils nur die benötigte Variantenvielfalt aus dem Gesamtlayout extrahieren und visualisieren.

Bei der Darstellung von Prozess- und Resourcevarianten mittels des generischen Variantenbausteins bleibt es dem Anwender überlassen, in welchem Umfang er auftretende Varianten überhaupt berücksichtigen und darstellen möchte. Prinzipiell erlaubt der vorgestellte Ansatz, wie auch das Praxisszenario 1 – LKW-Rohbaugruppe im Abschnitt 6.1 zeigt, eine beliebig große Anzahl an Prozess- und Resourcevarianten darzustellen. Ebenso ist es mit Hilfe des Konzepts möglich, beispielsweise nur einige wenige repräsentative Varianten bei der Planung zu berücksichtigen.

Zuordnung von Resourcevarianten auf der Grundlage eines lösungsneutralen Prozessgraphen

Werden mittels des generischen Variantenbausteins Prozessvarianten in einem lösungsneutralen Prozessgraphen berücksichtigt, so können bei der Zuordnung der benötigten Ressourcen zu den Prozessen die beiden folgenden Spezialfälle auftreten [BlZe05a]:

- Zur Herstellung der Produktvarianten werden verschiedene Prozesse, aber gleiche Ressourcen benötigt (vgl. auch Abbildung 5-9).

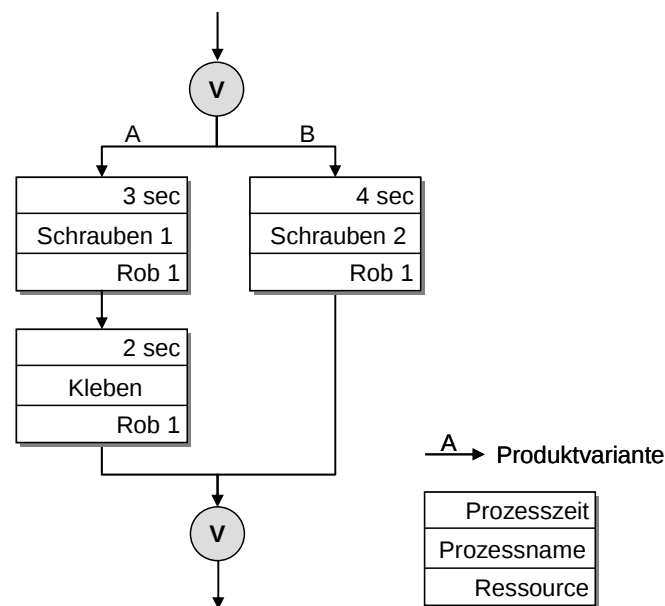


Abbildung 5-9: Darstellung von Prozess- und Resourcevarianten im erweiterten Prozessgraphen

- Für die Durchführung eines Prozesses werden in Abhängigkeit von Produktvarianten, einer übergeordneten Ressource oder dem Lebenszyklus der Produktion unterschiedliche Ressourcen beansprucht. Für den Prozess Schrauben 2 in Abbildung 5-9 könnte beispielsweise 2 Jahre nach Produktionsstart Roboter 2 anstelle von Roboter 1 zu Beginn der Produktion eingesetzt werden.

Werden, wie beispielhaft in Abbildung 5-9 gezeigt, für die Herstellung von Produktvarianten unterschiedliche Prozesse, jedoch gleiche Ressourcen verwendet, ist die Zuordnung der Ressourcen zu den Prozessvarianten problemlos möglich. Der so entstehende erweiterte Prozessgraph ist zwangsläufig nicht mehr lösungsneutral.

Im zweiten Fall hingegen, bei dem mehrere Resourcevarianten einem Prozess zugeordnet werden müssen, ist dies für eine spätere eindeutige Unterscheidung der verschiedenen Ressourcenkombinationen und Resourcevarianten nicht ohne weiteres möglich. Unter einer

Ressourcenkombination ist in diesem Zusammenhang zu verstehen, dass für die Durchführung eines Prozesses beispielsweise ein Roboter, eine Spannvorrichtung und eine Transporteinrichtung benötigt werden. Ressourcevariante bedeutet, dass z.B. für die Herstellung einer bestimmten Produktvariante Roboter 2 anstelle von Roboter 1 benötigt wird, wobei der Prozess für beide Produktvarianten identisch ist und damit auch nicht als Prozessvariante berücksichtigt wird.

Werden die benötigten Ressourcen nochmals separat in einem Fertigungskonzept, das entsprechend eines Prozessgraphen die Abfolge der zu installierenden Ressourcen in einer Art Ressourcengraph repräsentiert, dargestellt, ist die Zuordnung beliebig vieler Ressourcen und Ressourcevarianten zu einem Prozess ohne Einschränkungen möglich. Die eindeutige Differenzierung der Ressourcen, die gemeinsam für die Durchführung eines Prozesses benötigt werden, und der Ressourcevarianten erfolgt im Fertigungskonzept. Sollen hingegen zur Berücksichtigung von Ressourcen und Ressourcevarianten diese im Prozessgraphen ergänzt werden, wodurch eine Art erweiterter Prozessgraph (vgl. Abbildung 5-9) entsteht, ist eine Modifizierung der Prozessdarstellung erforderlich. Sofern die Zuordnung mehrerer Ressourcevarianten zu einem Prozess nachträglich nicht zu einer der Ressourcevariantenzahl entsprechenden Anzahl an Prozessvarianten führt, wird eine Art interner Entscheidungsknoten bei Prozessen für die Ressourcenzuordnung benötigt.

In Tabelle 5-1 ist die Darstellbarkeit der beiden zuvor beschriebenen Spezialfälle der Kombination aus Prozess- und Ressourcevarianten unter Berücksichtigung der Planungshilfsmittel „erweiterter Prozessgraph“ und „Prozessgraph und Fertigungskonzept“ nochmals schematisch zusammengefasst.

Planungshilfsmittel <i>Spezialfall</i>	Erweiterter Prozessgraph	Prozessgraph und Fertigungskonzept
<i>Prozessvarianten, keine Ressourcevarianten</i>	☑ Ohne Erweiterung möglich	☑ Ohne Erweiterung möglich
<i>Ressourcevarianten zur Durchführung des gleichen Prozesses erforderlich</i>	Prozessinterner Entscheidungsknoten für Ressourcenzuordnung erforderlich	☑ Ohne Erweiterung möglich

Tabelle 5-1: Darstellbarkeit von Prozess- und Ressourcevarianten

Darüber hinaus stellt sich die grundsätzliche Frage, wann eine Prozessvariante vorliegt. Stellen zwei Prozesse, die sich nur in ihrer Ausführungszeit unterscheiden, bereits zwei Varianten dar? Wird diese Frage mit ja beantwortet, muss der Prozessgraph, der die Abfolge der durchzuführenden Prozesse beschreibt, als lösungsneutrale Planungsgrundlage kritisch hinterfragt werden. Angenommen, der gleiche Montageprozess wird für zwei Produktvarianten an zwei unterschiedlichen Arbeitsplätzen durchgeführt; aus Prozesssicht gibt es, sofern dies zur eindeutigen Darstellung eines erweiterten Prozessgraphen nicht erforderlich ist, keinen Grund, diesen Montageprozess in zwei Prozessvarianten aufzuspalten. Was aber, wenn die Durchführung der Montage an zwei unterschiedlichen Arbeitsplätzen dazu führt, dass auch die Prozesszeit variiert? Werden hierdurch aus dem ursprünglichen Montageprozess zwei Prozessvarianten, beschreibt der Prozessgraph keineswegs mehr einen lösungsneutralen Zustand. Daher erscheint es sinnvoll, unterschiedliche Prozesszeiten nicht bereits zwingend als Ursache für das Auftreten von Prozessvarianten festzulegen. Für die IT-technische Umsetzung eines durchgängigen Variantenmanagementansatzes in der Technischen Produktionsplanung ergibt sich damit die Notwendigkeit, einem Prozessbaustein abhängig von der herzustellenden Produktvariante bzw. der hierfür zu verwendenden Ressource verschiedene Bearbeitungszeiten zuzuweisen. Wie bereits erwähnt, ist dies jedoch nur dann erforderlich, wenn der Prozessgraph als lösungsneutrale Grundlage über den gesamten Planungsprozess erhalten bleiben soll.

Alle weiteren Prozessunterschiede, die beispielsweise auch dadurch entstehen können, dass zwei an sich gleiche übergeordnete Prozesse sich in ihrer weiteren Ausdetaillierung unterscheiden, sollten auch aus Gründen der Verständlichkeit und eindeutigen Interpretierbarkeit eines Prozessgraphen als Prozessvarianten berücksichtigt werden. Somit ist der Detaillierungsgrad einer Planung ein ganz entscheidendes Kriterium für die Notwendigkeit, Prozess- und Ressourceunterschiede als Varianten darzustellen. Soll beispielsweise in der Prozesssicht die Bewegung eines Roboters an zwei Standorten im Detail geplant und berücksichtigt werden, so führen bereits kleinste Positionsunterschiede zwischen den beiden gleichen Robotern zwangsläufig zu Prozessvarianten. Auf einer geringeren Detaillierungsstufe, in der z.B. die Roboterbewegung nur in ihrer Gesamtheit als Einlegevorgang berücksichtigt wird, sind auch bei größeren Positionsunterschieden der beiden Roboter keine Prozessvarianten erforderlich.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Frage, wann eine Prozess- und/oder Ressourcevariante vorliegt, nicht allgemeingültig beantwortet werden kann. Zwar lassen sich,

wie oben aufgeführt, Empfehlungen aussprechen, letztlich muss jedoch branchen-, unternehmens- oder abteilungsspezifisch entschieden werden, wann und in welcher Form Prozess- und Ressourcevarianten zu beachten sind.

5.1.3 Generische Logistikbausteine

Neben der Darstellung von Prozess- und Ressourcevarianten in einem erweiterten Prozessgraphen oder einer Kombination aus Prozessgraph und Fertigungskonzept sind die Verständlichkeit und eindeutige Interpretierbarkeit der Darstellungen für den Umgang mit Varianten in der Planung von Bedeutung. So lässt sich durch die Kombination von Produkten, Prozessen und Kanten zwischen den Prozessen, die die Prozessreihenfolge repräsentieren, in vielen Fällen ein eindeutiger Prozessgraph erstellen.

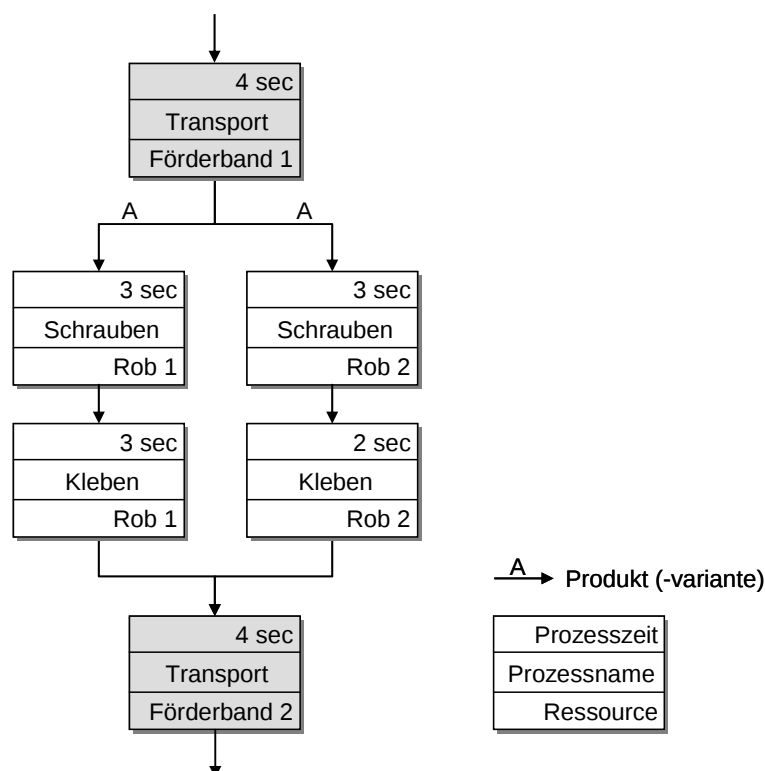


Abbildung 5-10: Mehrdeutiger Prozessgraph

Wie jedoch Abbildung 5-10 zeigt, führt die Verbindung von Produkt, Prozess und Abfolge keineswegs zwangsläufig zu einem eindeutigen Prozessgraphen. So kann der in Abbildung 5-10 dargestellte Prozessgraph auf zwei völlig unterschiedliche Arten interpretiert werden. Einerseits könnten die beiden Schraub- sowie die beiden darauf folgenden Klebeprozesse von den beiden Robotern jeweils simultan am selben Produkt durchgeführt werden. Andererseits

lässt sich der Prozessgraph auch so interpretieren, dass das zu montierende Produkt abhängig vom Belegungsstatus der beiden Roboter entweder von Roboter 1 oder alternativ von Roboter 2 bearbeitet werden kann. Je nach Interpretation ergibt sich neben unterschiedlichen Montagezeiten für ein Produkt auch eine völlig verschiedenartige Ressourcennutzung und -auslastung.

Zur Realisierung eines eindeutigen Prozessgraphen (und Fertigungskonzepts) werden in Anlehnung an den zuvor beschriebenen generischen Variantenbaustein zwei generische Logistikbausteine, die sowohl in der Prozess- als auch in der Ressourcensicht verwendet werden können, definiert [BlFZ04b, Fran03]. Auch hierbei wird aus Gründen der Übersichtlichkeit jeweils ein Elementpaar verwendet.

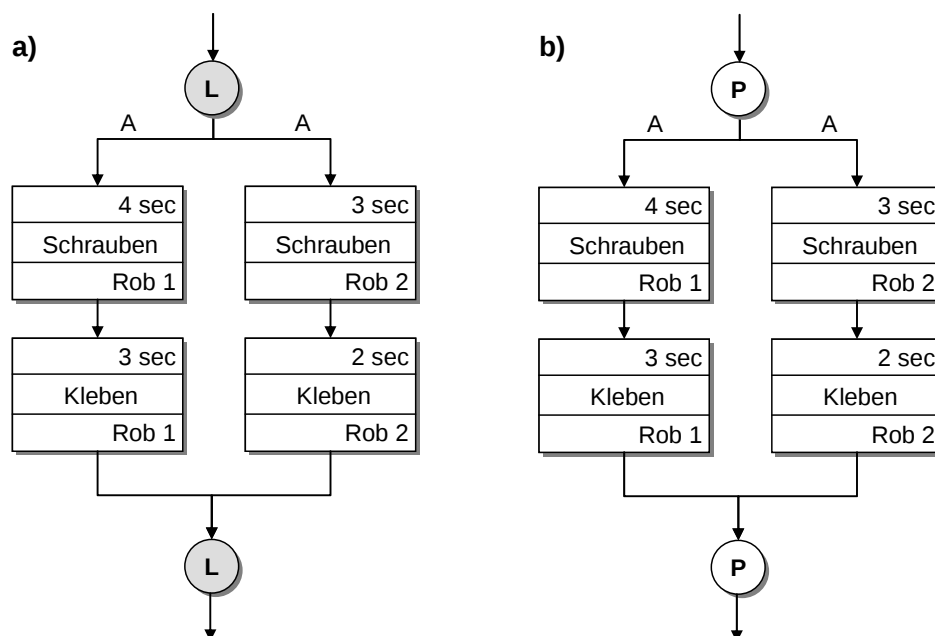


Abbildung 5-11: Generische Logistikbausteine im erweiterten Prozessgraphen

- **Logistikbedingte Verzweigung (L):** Dieses Logistikelement trägt den Aspekten Materialfluss und Ressourcenauslastung Rechnung. Häufig muss ein identischer Prozess aus Kapazitätsgründen auf mehrere, von ihren Leistungsdaten her mitunter verschiedene Ressourcen verteilt werden. Die Prozesszeit einer Fertigungs- oder Montageoperation kann somit in Abhängigkeit von der hierzu genutzten Ressource differieren. Bei unterschiedlichen Ressourcetypen gilt dies auch für die Verfügbarkeit der eingesetzten Betriebsmittel. Abbildung 5-11a illustriert eine Doppelung der Ressourcen mit jeweils verschiedenen, ressourcenabhängigen Prozesszeiten für den gleichen Prozess. Durch die Verwendung der „Logistikbedingten Verzweigung“ stellt der erweiterte Prozessgraph in Abbildung 5-11a jedoch keine vollständig lösungsneutrale Prozessabfolge mehr dar.

- **Parallelisierung (P):** Werden gleichzeitig mehrere Prozesse an einem Teil oder einer Baugruppe durchgeführt, so kann dies durch das Element „Parallelisierung“ im Prozessplan gekennzeichnet werden. Die Gesamtprozesszeit ergibt sich als Maximum der einzelnen Prozesszeiten; sämtliche Ressourcen, die für die entsprechenden Prozesse benötigt werden, müssen gleichzeitig verfügbar sein. Für das Beispiel in Abbildung 5-11b, in dem an Baugruppe A gleichzeitig eine Schraub- und eine Klebeoperation von Roboter 1 und Roboter 2 durchgeführt wird, erhält man somit eine Gesamtprozesszeit von 7 sec.

In Verbindung mit dem generischen Variantenbaustein lassen sich neben dem Aufbau eines eindeutigen und intuitiv verständlichen Prozessgraphen (bzw. Fertigungskonzeptes) zusammenhängende Prozess- bzw. Ressourcengruppen einfach identifizieren. Hierdurch lässt sich auch der Aufbau verschiedener Detaillierungsstufen der Planung unterstützen.

5.2 IT-Konzept

Innerhalb der IT-Konzept-Ebene wird der Bezug der Ergebnisse der Grundkonzept-Ebene zu den in Konstruktion und Technischer Produktionsplanung eingesetzten Softwarewerkzeugen hergestellt. Hierbei bildet die Integration der generalisierten Produktstruktur in die CAD-Werkzeuge der Produktentwicklung sowie die Erweiterung der Produktstruktur um fertigungs- und montagerelevante Informationen mit Hilfe der Feature-Technologie einen Schwerpunkt. Darüber hinaus stellt die Übertragung des entwickelten Variantenmanagementansatzes zur Berücksichtigung von Produkt-, Prozess- und Ressourcenvarianten auf Tätigkeiten, die der Prozessplanung nachgelagert sind (vgl. Abbildung 3-1), wie Layoutplanung und Materialflusssimulation einen zweiten Schwerpunkt der IT-Konzept-Ebene dar.

5.2.1 Umsetzung der generalisierten Produktstruktur im Bereich der Produktentwicklung

Art- und Mengenvarianz

Soll die generalisierte Produktstruktur bereits bei der Konstruktion der Produkte eingesetzt werden, so muss sie schon im CAD-System anwendbar sein. Für die beiden Variantenarten Mengen- und Artvarianz ist aus Produktsicht eine nähere und gegenüber dem im Abschnitt

4.1 beschriebenen weit verbreiteten Verständnis teils differenziertere Betrachtung erforderlich.

Innerhalb der Produktstruktur können Varianten im einfachsten Fall dadurch entstehen, dass bestimmte Baugruppen bzw. Bauteile in unterschiedlichen Mengen vorkommen. Wird die Bauteileanzahl im Produktbaum als graphische Darstellung der Produktstruktur in der Regel auch nicht angezeigt, so wird sie dennoch in der zugehörigen Stückliste in einer separaten Spalte berücksichtigt. In der generalisierten Produktstruktur kann die Menge, mit der ein Bauteil in eine Variante bzw. in eine übergeordnete generalisierte Baugruppe eingeht, in Anlehnung an die Gozinto-Graph-Darstellung von Produkten (vgl. Abbildung 4-4) als Attribut der Referenz zwischen Bauteil bzw. Baugruppe und übergeordneter generalisierter Baugruppe hinterlegt werden. Für die Speicherung der generalisierten Produktstruktur in einer Stückliste ist es daher ebenfalls zweckmäßig, die Baugruppen- und Bauteileanzahl als separate Spalte in der Tabelle, in der auch die Referenzen hinterlegt sind, aufzuführen. Unterschiedliche Mengen erfordern dabei unterschiedliche Referenzen. Bei der Vereinfachung der Darstellung der generalisierten Produktstruktur können Referenzen somit nur dann ausgeblendet werden, wenn ein Bauteil bzw. eine Baugruppe in allen Varianten des übergeordneten generalisierten Elements in der gleichen Menge vorkommt.

Als Alternative zur Abbildung der Mengenvarianz in Form eines zusätzlichen Attributs der Referenz zwischen Bauteil (bzw. Baugruppe) und übergeordneter generalisierter Baugruppe ist es ebenfalls möglich, Bauteile mehrfach in der Produktstruktur aufzulisten. In diesem Fall wird die Mengenvarianz über die Anzahl der Referenzen zu der übergeordneten Variantenliste berücksichtigt. Kommt ein Bauteil beispielsweise in einer Variante A nur einmal vor, in einer Variante B jedoch zweimal, so wird dieses Bauteil zweimal in der generalisierten Produktstruktur aufgelistet. Das erste der beiden Bauteile wird über entsprechende Referenzen beiden Varianten A und B zugeordnet, während das zweite Bauteil nur mit dem zu Variante B gehörenden Eintrag in der übergeordneten Variantenliste verbunden wird. Auf diese Weise repräsentiert eine Referenz immer die Menge 1.

Aus der Sicht der Artvarianz sind für die Umsetzung der generalisierten Produktstruktur in einem CAD-System neben technischen Kriterien (vgl. Abbildung 4-1) wie unterschiedlichen Geometrien auch unterschiedliche Bauteil- und Baugruppenpositionen für die Darstellung der Produktgeometrie zu berücksichtigen. Wenn auch unterschiedliche Einbaupositionen eines Bauteils keine unmittelbare Auswirkung auf die Bauteilstruktur eines Produktes haben müssen, so sind diese Informationen für den lagerichtigen Zusammenbau aller Teile einer

Produktvariante im CAD-System dennoch von entscheidender Bedeutung. Ist ein Bauteil bzw. eine Baugruppe in verschiedenen Produktvarianten in unterschiedlichen Positionen vorhanden, so muss für jede Variante die jeweilige Position gespeichert werden. Hierbei erscheint es jedoch nicht sinnvoll, dem jeweiligen Bauteil selbst seine unterschiedlichen Positionen innerhalb des Zusammenbaus der verschiedenen Produktvarianten zu hinterlegen. Vielmehr bietet es sich ähnlich der Datenverwaltung in gängigen EDM/PDM-Systemen an, die Positionen von Bauteilen und Baugruppen jeweils auf der unmittelbar übergeordneten Ebene der Produktstrukturierung zu berücksichtigen. Bei der Nutzung einer generalisierten Produktstruktur können hierzu jeweils die generalisierten Baugruppen verwendet werden. Die Positionen der jeweils untergeordneten Bauteile und Baugruppen werden somit in der übergeordneten generalisierten Baugruppe bzw. in der zugehörigen Variantenliste gespeichert. Im Rahmen der IT-technischen Umsetzung bietet es sich alternativ an, die jeweilige Position einer Komponente (Bauteil oder Baugruppe) – soweit diese nicht ohnehin durch geometrische Zwangsbedingungen zu anderen Komponenten festgelegt ist – ebenfalls als zusätzliches Attribut der Referenz zwischen Bauteil (bzw. Baugruppe) und übergeordneter generalisierter Baugruppe zu berücksichtigen.

Abbildung 5-12 zeigt, wo bzw. wie die bei Produktvarianten auftretende Art- und Mengenvarianz innerhalb der generalisierten Produktstruktur zu berücksichtigen ist.

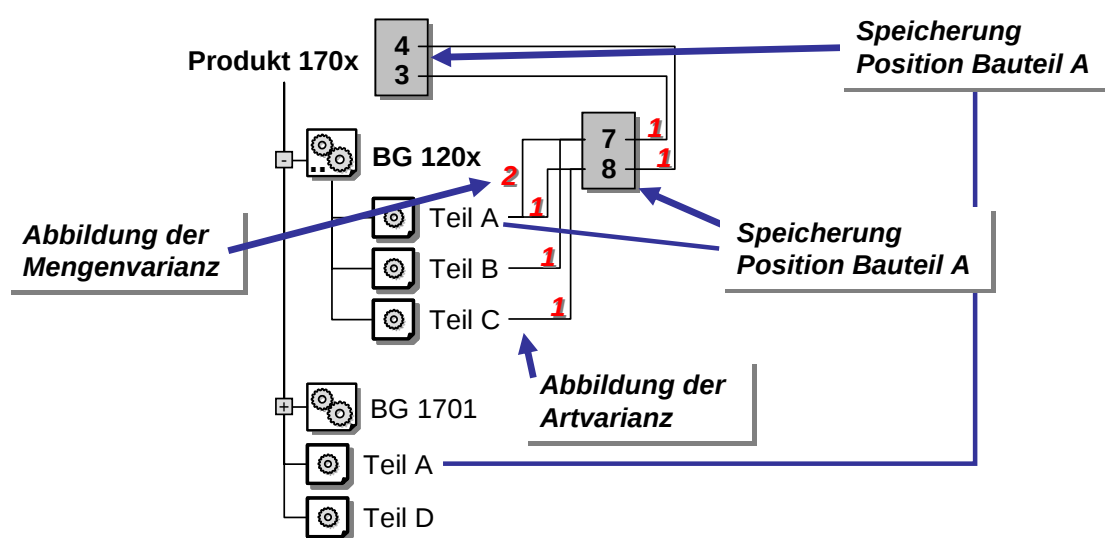


Abbildung 5-12: Art- und Mengenvarianz in der generalisierten Produktstruktur

Die Frage, ob unterschiedliche Materialien in diesem Zusammenhang zu unterschiedlichen Bauteilen im CAD-System führen, muss unternehmensspezifisch beantwortet werden. Wird das CAD-System rein zur Geometrieerstellung verwendet und haben unterschiedliche

Materialien keinen Einfluss auf die Bauteilgeometrie, so kommt es nicht zur Variantenbildung. Wird ein Bauteil aus unterschiedlichen Materialien verwendet, so besitzt es jedoch in Abhängigkeit vom verwendeten Werkstoff in der Regel unterschiedliche Identifikationsnummern. Wird das CAD-System neben der reinen Geometrieerstellung auch zum Zusammenbau der verschiedenen Produktvarianten oder zur Ableitung von Produkt- bzw. Produktvariantenstrukturen beispielsweise in Verbindung mit einem EDM/PDM-System verwendet, so führen unterschiedliche Materialien zur Bildung von Produktvarianten. Darüber hinaus müssen im Rahmen der Technischen Produktionsplanung unterschiedliche Materialien im Allgemeinen in Form von Prozess- und Ressourcevarianten berücksichtigt werden.

Redundanzfreie Datenhaltung

Der im vorherigen Abschnitt behandelte Aspekt des Umgangs mit der Art- und Mengenvarianz innerhalb der generalisierten Produktstruktur wirft darüber hinaus die Frage auf, in welchem Umfang eine redundante Datenhaltung hierbei vermieden bzw. minimiert werden kann. Auch hierzu lässt sich der Funktionsumfang moderner CAD-Systeme im Speziellen in Verbindung mit einem kompatiblen EDM/PDM-System nutzen. Zur Vermeidung von Datenredundanzen werden Bauteile und Baugruppen, die innerhalb einer Produktstruktur mehrmals vorkommen, physisch nur einmal abgelegt. Dabei enthält der Strukturbaum beim Auftreten des Bauteils oder der Baugruppe jeweils nur einen Verweis auf das physische Bauteil, eine Instanz des eigentlichen Elements. Nach dem gleichen Prinzip lässt sich auch ein generalisiertes Produktmodell, in dem das gleiche Bauteil für unterschiedliche Varianten auch an unterschiedlichen Stellen innerhalb der Produktstruktur vorkommen kann, erstellen bzw. verwalten. Die eigentliche Bauteilgeometrie wird an einem „separaten Ort“ abgelegt. In der generalisierten Produktstruktur finden sich jeweils nur die entsprechenden Bauteilinstanzen. Alle weiteren Informationen wie beispielsweise zusätzliche montagerelevante Informationen, die mit einem Bauteil verbunden, jedoch von seiner konkreten Verwendung innerhalb des Produktes abhängig sind, müssen dabei für jede Bauteilinstanz separat editiert und abgespeichert werden können. Hierzu bietet sich der Einsatz von Vererbungsmechanismen an, die es erlauben, spezielle Parameter der Ausprägung eines Basiselements individuell zu verändern ohne damit eine Auswirkung auf das Basiselement selbst bzw. die übrigen vorhandenen Ausprägungen zu haben.

Abbildung 5-13 zeigt den Aufbau einer generalisierten Produktstruktur mittels Instanzierung der physischen Bauteile.

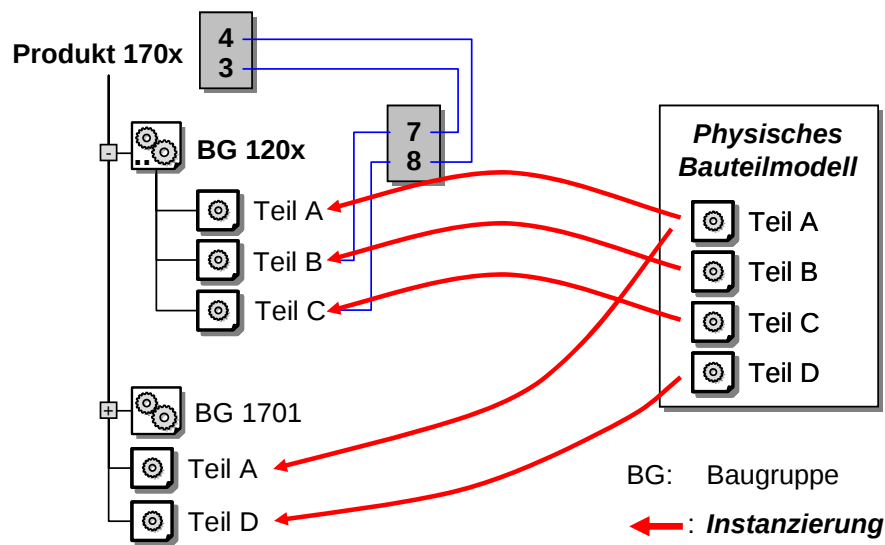


Abbildung 5-13: Bauteilinstanzen in der generalisierten Produktstruktur

Einen weiteren Ansatzpunkt zur Vermeidung von Datenredundanzen bei der Konstruktion sowie zur Minimierung der erforderlichen Datenmengen bei der Speicherung und Verwaltung von Produktvarianten liefern parametrische CAD-Systeme.

Generalisiertes Bauteil

Mit Hilfe der Parametrik lassen sich mehrere ähnliche Bauteile, die gleiche Strukturen besitzen und deren Unterschiede in den geometrischen Abmessungen liegen, innerhalb eines Bauteils zusammenfassen. Die parametrische Modellierung, die von allen modernen CAD-Systemen unterstützt wird, erlaubt dabei die Verwendung variabler Größen („Parameter“) für Eigenschaften und Abhängigkeiten in und zwischen Modellen [VDI2209]. Es wird möglich, verschiedene Varianten eines Bauteils in einem einzigen Modell, einer Topologiegruppe, zusammenzufassen, indem die Beziehungen der verschiedenen Modellparameter zueinander beispielsweise über Formelwissen und/oder Regeln abgebildet werden. Als einfaches Beispiel für die Kombination von Parametrik, Formelwissen und Regeln dient eine Bohrung an einem Bauteil: während sich der Bohrungsdurchmesser in Abhängigkeit von den Bauteilabmessungen automatisch ändert, führt die Durchmesseränderung regelbasiert zu einer Änderung der Bohrungstiefe.

Mit Hilfe der Parametrik wird es somit möglich, das Konzept der generalisierten Baugruppen, das bereits im Abschnitt 5.1.1 beschrieben wurde, auch auf die Bauteilebene zu übertragen und Bauteilvarianten unter einem generalisierten Bauteil zusammenzufassen. Zwar lassen sich die Varianten eines Bauteils auch zu einer Topologiegruppe zusammenfassen, wenn sie jeweils als eigenständige Elemente konstruiert worden sind, aus Konstruktionssicht ist der Mehrwert dieser Zusammenfassung aber eher fraglich. Der Grund hierfür besteht unter anderem darin, dass durch ein generalisiertes Bauteil ein zusätzliches Element innerhalb der Produktstruktur erstellt, gespeichert und verwaltet werden muss. Aus der Sicht der Technischen Produktionsplanung erzeugt ein generalisiertes Bauteil in der Produktstruktur eine zusätzliche Hierarchieebene, die abhängig von der Anzahl der zu berücksichtigenden Einzelteile innerhalb einer generalisierten Baugruppe einen mehr oder weniger großen Beitrag zur Reduzierung der Produktkomplexität leisten kann. Ein Beispiel für die Verwendung eines generalisierten Bauteils mit und ohne parametrischer Modellierung zeigt Abbildung 5-14.

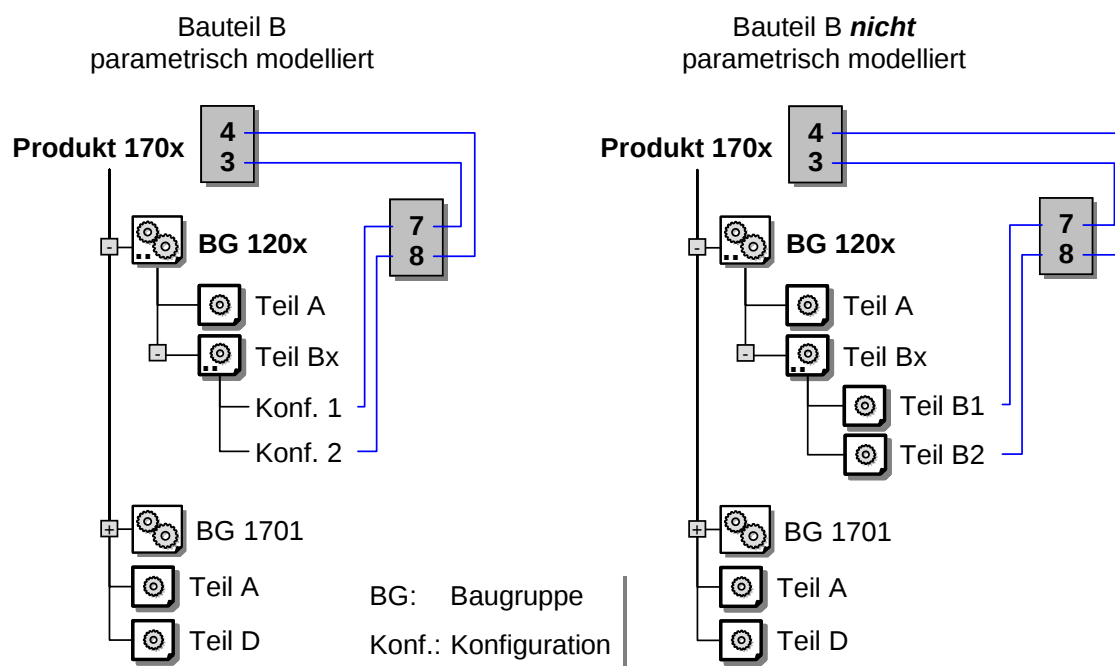


Abbildung 5-14: Generalisiertes Bauteil mit und ohne Parametrik

Aus der Sicht einer redundanzfreien Datenhaltung ist es für die effektive Verwendung der Parametrik in der generalisierten Produktstruktur erforderlich, innerhalb einer Bauteilinstanz auch unabhängig von weiteren Bauteilinstanzen beliebige Parameterkonfigurationen auswählen zu können. Zum Ersten muss es dabei, wie in der linken Produktstruktur in Abbildung 5-14 skizziert ist, möglich sein, verschiedenen Varianten unterschiedliche Konfigurationen einer Bauteilinstanz zuzuweisen. Zum Zweiten ist es bei mehrfacher Verwendung eines Bauteils innerhalb eines Produktes bzw. einer Produktstruktur erforderlich, die verschiedenen

Instanzen des Bauteils mit unterschiedlichen Parameterkonfigurationen verwenden zu können.

Ein weiterer Begriff, der in diesem Zusammenhang erwähnt werden muss, ist die Variantenprogrammierung, die jedoch klar von der Parametrik abzugrenzen ist. „Zwar ermöglichen sowohl Variantenprogrammierung als auch Parametrik die Veränderung von Abmessungen und Gestalt eines Bauteils. Durch ein Variantenprogramm entsteht aber ein (statisches) Geometriemodell mit festen Werten, deren Wertebereich von Anfang an festgelegt ist“ [VDI2209]. Wird für die Erstellung eines Variantenprogramms ein parametrisches Produktmodell verwendet, so wird jeder Produktvariante jeweils nur eine ganz bestimmte Parameterausprägung (Konfiguration) zugeordnet.

Zur Erzeugung verschiedener Varianten eines Bauteils lassen sich auch so genannte Funktionsfeatures nutzen, die ebenfalls abhängig von der jeweils erforderlichen Bauteilvariante konfiguriert werden können. Die Einsatzmöglichkeiten der Featuretechnologie sowie mögliche Erweiterungen der generalisierten Produktstruktur werden im Folgenden näher beschrieben.

5.2.2 Featureerweiterung der generalisierten Produktstruktur

Grundlagen der Feature-Technologie

Mit Hilfe von „Features“ wird es möglich, CAD-Modelle um eine nutzbare Bedeutung zu erweitern. Die Anfänge der Feature-Technologie gehen auf das Jahr 1976 zurück. Grayer beschreibt ein Feature als „eine mit einer Maschinenoperation bearbeitbare geometrische Region“ [VDI2218]. Diese Definition liefert den Ursprung des heutigen Feature-Begriffs. Im Laufe der Zeit hat sich die Feature-Technologie in vielen Bereichen des Produktentwicklungsprozesses teilweise unabhängig voneinander und mit unterschiedlichen Akzenten weiterentwickelt, was zu einer nahezu undurchsichtigen Vielfalt an Feature-Definitionen geführt hat [Bär98]. Aus diesem Grund hat die FEMEX-Gruppe (Feature Modelling Experts) eine allgemeine Definition des Feature-Begriffs erarbeitet, die auch für die Zukunft absehbare Entwicklungen mit einbezieht und in die VDI-Richtlinie 2218 eingeflossen ist [VDI 2218]:

„Features sind informationstechnische Elemente, die Bereiche von besonderem (technischem) Interesse von einzelnen oder mehreren Produkten darstellen. Ein Feature wird durch die Aggregation von Eigenschaften eines Produktes beschrieben. Die Beschreibung beinhaltet die relevanten Eigenschaften selbst, deren Wert sowie deren Relationen und Zwangsbedingungen (Constraints). Ein Feature repräsentiert eine spezifische Sichtweise auf die Produktbeschreibung, die mit bestimmten Eigenschaftsklassen und bestimmten Phasen des Produktlebenszyklus im Zusammenhang steht.“

Da die Eigenschaftsklasse „Geometrie“ in nahezu allen Phasen des Produktlebenszyklus von entscheidender Bedeutung ist, lässt sich ein Feature etwas spezieller auch als Aggregation von Geometrieelementen in Form der Syntax und/oder einer technischen Bedeutung als Semantik definieren [Shah91, VDI2218].

Feature-Klassen

Neben dem Einsatz der Feature-Technologie in der Produktentwicklung sind darüber hinaus aus der Sicht der Technischen Produktionsplanung die folgenden Anwendungsbereiche von besonderem Interesse [Fran03, VDI2218]:

- Arbeitsplanerstellung
- NC-Planung und -Programmierung
- Messplanung
- Schweißablaufplanung
- Montageplanung
- Qualitätsmanagement

In diesem Zusammenhang zeigt sich, dass die technische Bedeutung eines Features, seine Semantik, sehr weit reichend sein kann. So kann sich die Bedeutung beispielsweise sowohl auf Montage- als auch auf Fertigungsprozesse beziehen. Um die einzelnen Features hinsichtlich ihrer verschiedenartigen Bedeutungen unterscheiden zu können, haben sich mit Bezug auf die Konstruktion und die Technische Produktionsplanung verschiedene Feature-Klassen entwickelt. Die bedeutendsten Klassen – auch im Hinblick auf diese Arbeit – werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Form-Feature

Nach [VDI2218] stellt ein Form-Feature eine Gruppierung von geometrischen Elementen dar, die unter einem gemeinsamen Namen erzeugt, gespeichert, geändert und gelöscht werden können. Es eignet sich besonders zur einfachen Generierung wiederkehrender Geometrien. Wird neben der eigentlichen Geometrie die Semantik, die in einer Reihe von Feature-basierten Forschungssystemen zur Erfassung und Verarbeitung nicht-geometrischer Produkteigenschaften zunehmend wichtiger wird, für die Existenz eines Features vorausgesetzt, handelt es sich bei einem Form-Feature im eigentlichen Sinne noch nicht um ein Feature.

Funktions-Feature

Unter einem Funktions-Feature, für das teilweise auch der Begriff des semantischen Features verwendet wird, wird die Verbindung eines Form-Features mit weiteren Eigenschaften verstanden. Im einfachsten Fall wird dabei einer Geometrieaggregation eine interpretierbare Bedeutung wie beispielsweise „Bohrung“ oder „Passfeder“ beigemessen.

Fertigungs-Feature

Als eine spezielle Ausprägung eines *Anwendungs-Features* für die Fertigung umfasst ein Fertigungs-Feature neben der herzustellenden Geometrie weitere fertigungsrelevante Informationen. Ein typisches Beispiel für ein Fertigungs-Feature stellt eine Art NC-Feature dar, das als zusätzliche Information den zur Geometrieerstellung notwendigen NC-Code für eine entsprechende Dreh- oder Fräsmaschine enthält.

Montage-Feature (Assembly Feature)

Das Montage-Feature, für das sich auch im deutschsprachigen Raum der Begriff des „Assembly Features“ weitestgehend durchgesetzt hat, stellt ebenfalls eine Ausprägung eines *Anwendungs-Features* dar. Die Funktion des Assembly Features besteht darin, zusätzliche montagerelevante Informationen wie die Fügerichtung oder das Anziehmoment einer Schraubverbindung für die Montageplanung innerhalb des Produktmodells bereitzustellen. Im Vergleich zu allen anderen Anwendungs-Features kommt dem Assembly Feature als bauteilübergreifendem Feature-Element, das einen Bezug zu mindestens zwei Geometrieelementen besitzt, eine besondere Bedeutung zu, weshalb diese Feature-Klasse in einem der folgenden Abschnitte nochmals näher betrachtet wird.

Anwendung der Feature-Technologie

In der praktischen Anwendung der Feature-Technologie lassen sich die drei Strategien Feature-basiertes Modellieren (Design by Feature), Feature-Erkennung (Feature Recognition) und Feature-Transformation (Feature Mapping) unterscheiden [Bär98, VDI2218].

Beim Feature-basierten Modellieren wird ein Einzelteil bzw. eine Baugruppe teilweise oder vollständig aus vordefinierten Features zusammengesetzt. Diese vordefinierten Features müssen dabei in Bibliotheken gespeichert werden. Um die Produktentwicklung damit jedoch nicht nur auf die Verwendung der einmal definierten Features einzuschränken, ist es erforderlich, die Feature-Bibliotheken kontinuierlich um benutzerspezifische Features (user-defined Features) erweitern zu können.

Ein weiterer Aspekt, der hierbei berücksichtigt werden muss, sind die unterschiedlichen Sichtweisen der am Produkt- und Produktionsentwicklungsprozess beteiligten Abteilungen auf die mit Hilfe von Features bereitzustellenden Informationen. Während für die Konstruktion vor allem Form- und Funktions-Features von Interesse sind, ist der Fertigungsplaner vor allem an den fertigungsrelevanten Informationen der Fertigungs-Features interessiert. Für den Montageplaner wiederum haben fertigungsrelevante Informationen nur eine geringe Bedeutung; für ihn stehen die montagerelevanten Informationen der Assembly Features im Vordergrund. Sind in den Feature-Bibliotheken keine Anwendungs-Features (Fertigungs-, Qualitäts-, Assembly Feature usw.) enthalten bzw. werden diese bei der Konstruktion nicht direkt mit berücksichtigt, müssen für eine durchgängige Nutzung der Feature-Technologie in den nachfolgenden Arbeitsschritten wie beispielsweise der Fertigungs- oder Montageplanung in der Regel die Feature-Erkennung oder die Feature-Transformation eingesetzt werden.

Bei der Feature-Transformation werden Features eines Anwendungsbereichs in die eines anderen übersetzt, d.h. es findet eine Übersetzung der Semantik einer Eigenschaftsklasse statt; funktionelle Eigenschaften werden beispielsweise in fertigungsrelevante Informationen überführt. Mit Hilfe der Feature-Erkennung können hingegen (weitere) Features nachträglich der fertigen Konstruktion hinzugefügt werden [Fran03]. Hierzu wird versucht, zusammengehörige Bereiche geometrischer Modelle zu identifizieren und um eine entsprechende Bedeutung für die weiteren Arbeitsschritte innerhalb des Produktlebenszyklus zu erweitern.

Sowohl bei der Feature-Erkennung als auch bei der Feature-Transformation muss jedoch im Vergleich zum Feature-basierten Modellieren mit dem Verlust von Informationen gerechnet

werden, weshalb beide Strategien aus Anwendersicht keine echte Alternative darstellen. Hierin liegt eine Schwäche existierender Feature-Ansätze, die in der Regel auf eine spezielle Feature-Klasse fokussiert sind, begründet. Die für den Gesamtprozess erforderlichen Beziehungen zu den übrigen Klassen bleiben weitestgehend unberücksichtigt. Eine Lösung dieses Problems liefert die Verknüpfung der verschiedenen Sichtweisen der am Produkt- und Produktionsentwicklungsprozess Beteiligten durch die Integration der verschiedenen Feature-Klassen und die (weitestgehend teilautomatisierte) Erstellung aller relevanten Features bereits während des Konstruktionsprozesses [BlfZ04a].

Assembly Feature

Wie bereits beschrieben, ermöglichen Assembly Features (AFs) „die Beschreibung montage-spezifischer Funktionszusammenhänge zwischen den einzelnen Komponenten eines Produktes. Aus dieser einzelteilübergreifenden Beschreibung können unmittelbar montagerelevante Informationen über Montageverbindungen abgeleitet [...] werden.“ [Bär98]

AFs erlauben somit, die bereits in der Entwicklungsphase eines Produktes bekannten montage-relevanten Informationen im Produktmodell zu hinterlegen und für die spätere Planung bereitzustellen. Im Gegensatz zu allen übrigen Feature-Klassen, die sich nur auf ein einziges Bauteil (oder auf eine einzige Baugruppe) beziehen, sind für die vollständige Interpretation der in einem AF hinterlegten Informationen mindestens zwei Bauteile (oder Baugruppen) erforderlich. Ein Assembly Feature muss somit auch unabhängig von seiner konkreten Definition einen Bezug zu mehreren Bauteilen besitzen und zwar auch dann, wenn es nur einem bestimmten geometrischen Element zugeordnet ist.

Darüber, was unter einem Assembly Feature im Detail zu verstehen ist, sind die in der Literatur zu findenden Meinungen teilweise noch kontrovers, wenngleich die unterschiedlichen Sichtweisen keinen echten Widerspruch darstellen, sondern die Unterschiede primär nur in der Aggregationsebene der Feature-Informationen zu sehen sind [Fran03].

Die existierenden Ansätze zur Nutzung von AFs (vgl. Abbildung 5-15) lassen sich in zwei Gruppen unterteilen. Innerhalb der einen Gruppe wird ein Assembly Feature in Anlehnung an die allgemeine Feature-Definition als ein um eine entsprechende Semantik erweitertes geometrisches Gestaltelement definiert (Abbildung 5-15d bis f). Dieses Geometrieelement gehört jeweils nur zu einem Bauteil; die für die spätere Montageplanung relevanten Informa-

tionen können durch einen Abgleich zusammengehörender AF-Paare ermittelt werden [BlAF02]. Sind die Feature-Informationen in entsprechenden Bibliotheken hinterlegt, werden die montagerelevanten Informationen bei der Feature-basierten Modellierung automatisch, d.h. ohne zusätzlichen Aufwand für den Konstrukteur, im Produktmodell hinterlegt. Ein Nachteil dieser Methode besteht darin, dass die für die Montageplanung relevanten Informationen nur dann vollständig aus dem Produktmodell abgeleitet werden können, wenn alle Bauteile und Baugruppen durchgängig Features besitzen, d.h. Feature-basiert modelliert worden sind.

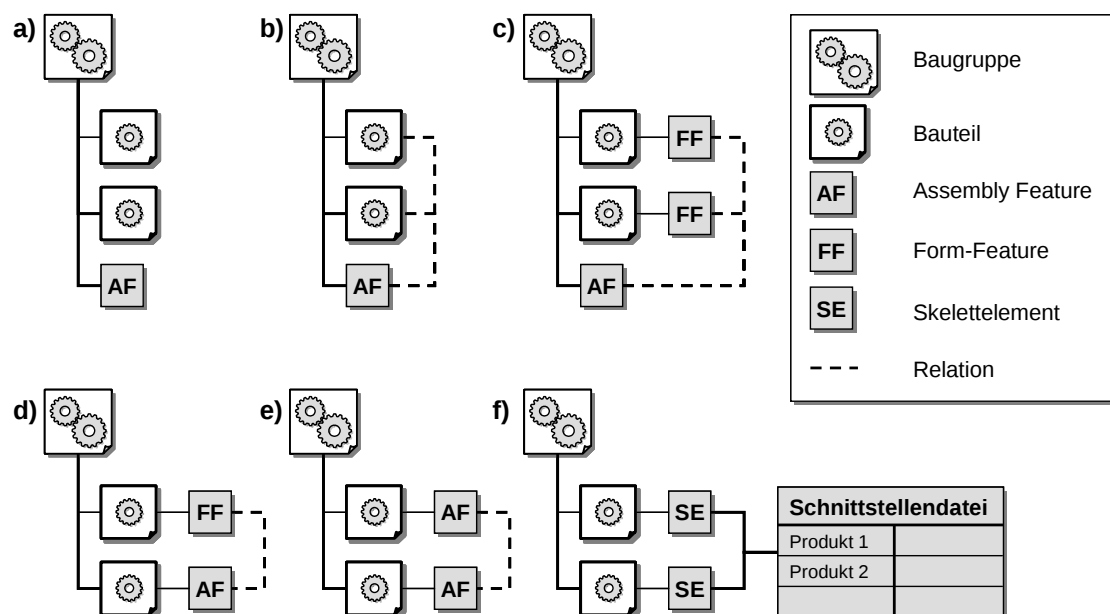


Abbildung 5-15: Existierende Assembly Feature Konzepte in Anlehnung an [AvBB06]

Eine alternative Sichtweise auf Assembly Features liefern die Ansätze der anderen Gruppe, die ein AF als informationstechnisch eigenständiges Objekt definieren. Ausprägungen dieser Sichtweise finden sich in den Arbeiten von Vielhaber [Viel05] (Abbildung 5-15a und b) und van Holland [HoBJ95, Holl97] (Abbildung 5-15c). Je nach Ansatz wird das Assembly Feature darüber hinaus den am entsprechenden Montageprozess beteiligten Bauteilen in Form einer Relation zugeordnet. Bei dieser Sichtweise auf AFs macht sich der gegebenenfalls notwendige zusätzliche Aufwand zur nachträglichen Erstellung der Features nachteilig bemerkbar. Zudem bleiben die Auswirkungen von Bauteiländerungen auf die Feature-Informationen ohne bestehende Relationen zwischen AF und Bauteil unberücksichtigt [AvBB06].

Um Assembly Features sowohl in der Produktentwicklung als auch für die spätere Montageplanung flexibel nutzen zu können, werden die Vorteile beider Sichtweisen in Anlehnung an die von van Holland [Holl97] und Bley et al. [BlBo05] (Abbildung 5-15f) vorgestellten

Ansätze in dem in Abbildung 5-16 dargestellten Konzept kombiniert. Ein Assembly Feature wird als informationstechnisch eigenständiges Element definiert, das über Relationen mit den am zugehörigen Montageprozess beteiligten Bauteilen verbunden ist. Hierdurch lassen sich bauteilübergreifende Montageinformationen wie beispielsweise das Anziehdrehmoment einer Schraubverbindung bereits im Produktmodell ablegen. Dies ist auch dann möglich, wenn das Assembly Feature einen Montageprozess zwischen zwei Bauteilen repräsentiert, die sich innerhalb der Produktstruktur auf unterschiedlichen Hierarchieebenen befinden. In diesem Fall kann das Feature im Produktbaum unterhalb der Baugruppe eingefügt werden, von der aus man zu beiden Bauteilen gelangt, d.h. in der beide Bauteile enthalten sind.

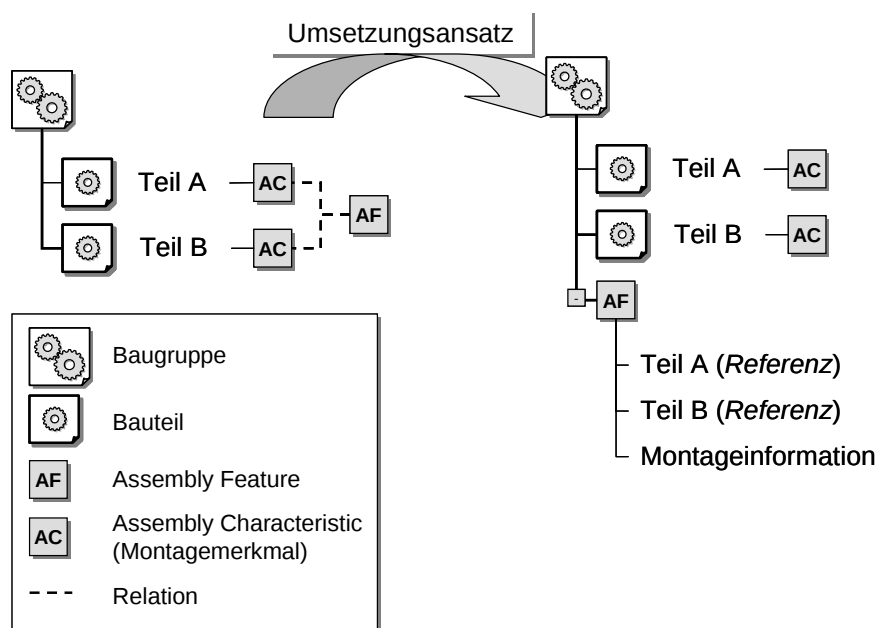


Abbildung 5-16: Assembly Feature Konzept

Da sich die für die Montageplanung relevanten Informationen unter anderem aus Merkmalen der Einzelteile zusammensetzen, ist es zweckmäßig, diese Informationen soweit wie möglich den Bauteilen in Form eines montagebezogenen Funktions-Features direkt zu hinterlegen, so dass sie bei der Erstellung des bauteilübergreifenden Assembly Features berücksichtigt werden können. Zur einfacheren Unterscheidung werden die montagerelevanten Funktions-Features als Montagemerkmale (Assembly Characteristics) bezeichnet. Hierbei kann ein Montagemerkmal nur aus einer Symmetrielinie, die die Montagerichtung des Bauteils repräsentiert, bestehen, jedoch auch entsprechend des Ansatzes, AFs den Einzelteilen zuzuordnen, ein geometrisches Gestaltelement mit zugehöriger montagerelevanter Semantik darstellen. Für die informationstechnische Umsetzung des Ansatzes wird das Assembly

Feature innerhalb der Produktstruktur als zusätzliches Element definiert. Die Verknüpfung zu den zu montierenden Komponenten kann mit Hilfe von Bauteilreferenzen erfolgen.

Der Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass Assembly Features auch bei einem nicht vollständig Feature-basierten Produktmodell zur Repräsentation von Montagewissen nutzbar sind. Darüber hinaus können bei der Nutzung von Feature-Bibliotheken die an den Einzelteilen hinterlegten Montageinformationen zur (automatischen) Erstellung von Assembly Features genutzt werden.

Fertigungs- und Assembly Feature zur Verknüpfung von Produkt- und Prozessmodell

Ebenso wie sich ein konventionelles Produktmodell mit Hilfe der Feature-Technologie um zusätzliche, für die Technische Produktionsplanung relevante Informationen erweitern lässt, können Features dazu genutzt werden, die in der Grundkonzept-Ebene vorgestellte generalisierte Produktstruktur zu erweitern. Aus Planungssicht sind dabei vor allem Fertigungs- und Assembly Features von Interesse. Qualitäts-Features, die Informationen für die Qualitätssicherung beinhalten, können in diesem Zusammenhang wie Fertigungs-Features behandelt werden. Abbildung 5-17 illustriert den Einsatz von Fertigungs- und Assembly Features in einer generalisierten Produktstruktur.

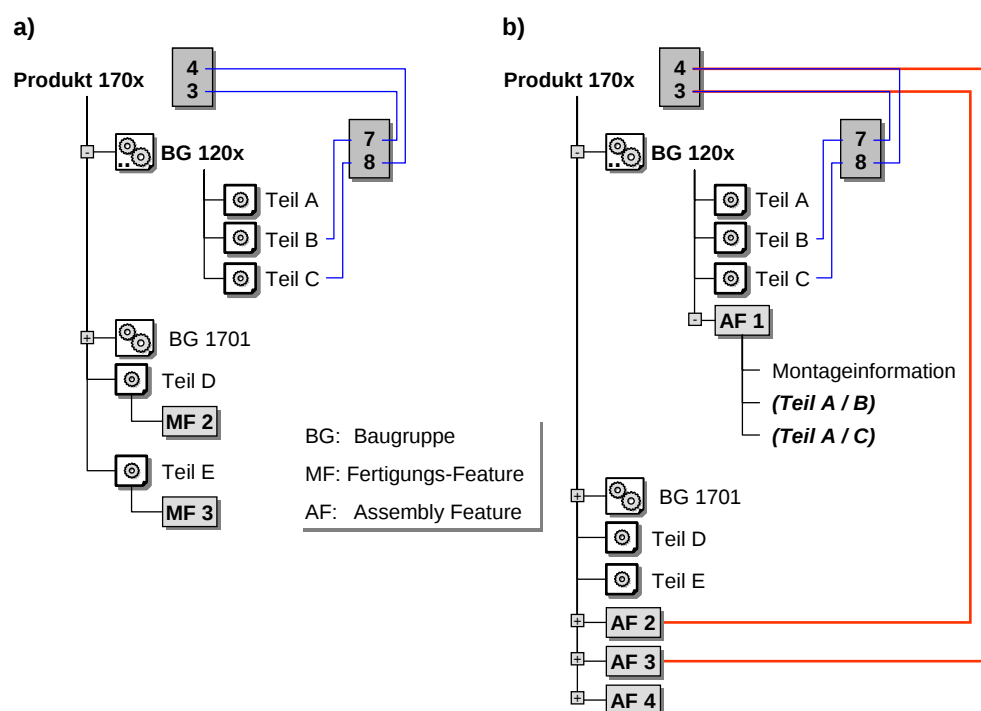


Abbildung 5-17: Erweiterung der generalisierten Produktstruktur mit Fertigungs- und Assembly Features

Ein Fertigungs-Feature wird dem Bauteil, auf das es sich bezieht, zugeordnet (Abbildung 5-17a). Bei Assembly Features, die als informationstechnisch eigenständige Elemente verwendet werden, ist neben der Referenz zu den zu montierenden Bauteilen und/oder Baugruppen in einer generalisierten Produktstruktur gegebenenfalls noch eine Verknüpfung zu der übergeordneten Variantenliste erforderlich. Die Zuordnung des Feature bzw. der darin enthaltenen Montageinformationen zu einer Produktvariante erfolgt bereits indirekt durch seine Verknüpfung mit den zu montierenden Bauteilen. Über die zusätzliche Verknüpfung des AF mit den entsprechenden Einträgen der übergeordneten Variantenliste wird jedoch eine direkte Zuordnung der durch sie repräsentierten Montageprozesse sowie der gegebenenfalls damit verknüpften Ressourcen zu den jeweiligen Produktvarianten möglich. Auch hier kann zur besseren Übersichtlichkeit der graphischen Darstellung bei den AFs, die sich auf alle übergeordneten Varianten beziehen, auf die Referenzen zur übergeordneten Variantenliste verzichtet werden.

Soll ein Assembly Feature, da der zugehörige Montageprozess beispielsweise für alle Varianten gleich ist, mehreren Produktvarianten zuzuordnen sein, muss es auf alternative Teile referenzieren können. Dies lässt sich durch das „Auflisten“ von alternativen Montagepaaren realisieren, wobei ein Montagepaar die mittels des Montageprozesses zu verbindenden Bauteile enthält. In dem in Abbildung 5-17b dargestellten Beispiel bezieht sich der durch AF 1 beschriebene Montageprozess jeweils auf die Montage der Bauteile A mit B und A mit C.

In Verbindung mit der Erstellung eines Prozessgraphen auf der Basis eines generalisierten Produktmodells können die Features direkt den jeweiligen Prozessen zugeordnet werden bzw. die (teilautomatische) Erstellung eines Prozessgraphen (Abbildung 5-18) unterstützen. Durch die Definition eines Assembly Features als eigenständiges Element kann eine bidirektionale Verknüpfung zwischen Feature und Prozess erfolgen. Einerseits dienen Assembly Features somit zur Festlegung und Spezifizierung der Prozesse, wodurch die Auswirkungen von Produktänderungen auf die Montage unmittelbar erkennbar werden. Gleiches gilt in diesem Zusammenhang auch für Fertigungs-Features und die zugehörigen Fertigungsprozesse. Andererseits können Prozessänderungen innerhalb der Assembly Features dokumentiert werden. Darüber hinaus können die etwaigen Auswirkungen von Prozessmodifikationen oder -änderungen auf das Produkt mit Hilfe von Features verifiziert werden.

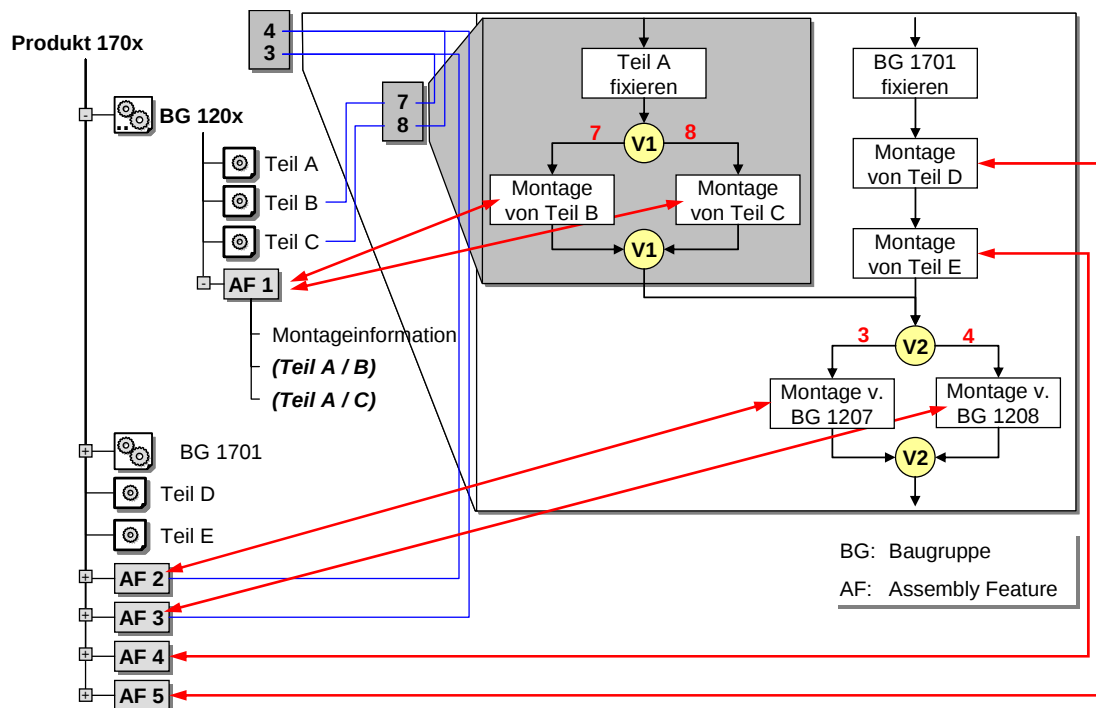


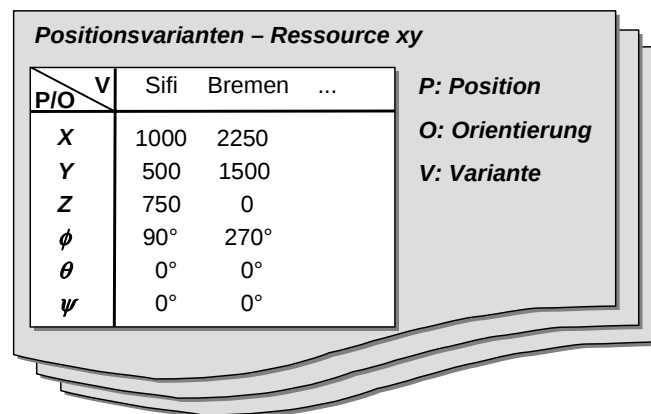
Abbildung 5-18: Verknüpfung von Assembly Feature und Montageprozess

Außerdem ermöglicht die Erweiterung der generalisierten Produktstruktur mit Assembly Features neben der Realisierung einer Verknüpfung zwischen Produkt- und Prozessmodell eine detaillierte und differenzierte Bewertung des Einflusses einer Produktvariante auf die innere Varianz der Produktion. Kann eine Montageoperation (repräsentiert durch ein Assembly Feature im Produktbaum) für mehrere Varianten eingesetzt werden, so trägt dies entscheidend zur Verringerung der inneren Varianz bei. Erfordert hingegen jede Variante eigene individuelle Montageoperationen, so besteht ein deutliches Optimierungspotential.

5.2.3 Layoutplanung

Sind im Rahmen der Technischen Produktionsplanung den durchzuführenden Fertigungs- oder Montageprozessen die hierzu benötigten Ressourcen zugewiesen, lässt sich bereits ein erstes Groblayout der Produktion erstellen. Hierzu bieten die Planungswerkzeuge wie DELMIA Process Engineer und eM-Planner die Möglichkeit, den Ressourcen ein maßstäbliches und in der Regel skalierbares Geometrieelement zuzuweisen, das anschließend im Gesamtlayout positioniert werden kann. Zur logischen Fortsetzung des Konzepts zur Berücksichtigung mehrerer Prozess- bzw. Resourcevarianten innerhalb eines Planungsmodells sind auch im Bereich der Layoutplanung weitergehende Überlegungen erforderlich.

Wird eine Ressource in der gleichen Ausführung in mehreren Linien oder Werken eingesetzt oder über mehrere Lebenszyklen der Produktion genutzt, so wird ihre Position im Layout der Produktion in der Regel nicht immer identisch sein. Um für jede Linie, jedes Werk bzw. jeden Abschnitt des Lebenszyklus einer Produktion ein separates Groblayout zu erstellen, ist es erforderlich, die verschiedenen Positionen einer Ressource ablegen zu können. Für die exakte Positionierung sind die Verschiebungen in X-, Y-, und Z-Richtung sowie die drei Eulerschen Orientierungswinkel, die die Drehung um die drei Koordinatenachsen beschreiben, erforderlich. Für die Positionsvarianten einer Ressource können diese Informationen als zusätzliche Attribute, wie beispielsweise in Abbildung 5-19 für die beiden Produktionsstandorte Bremen und Sindelfingen zu sehen ist, hinterlegt werden.



P/O \ V	Sifi	Bremen	...
X	1000	2250	
Y	500	1500	
Z	750	0	
ϕ	90°	270°	
θ	0°	0°	
ψ	0°	0°	

P: Position
O: Orientierung
V: Variante

Abbildung 5-19: Positionsvarianz bei Ressourcen

Innerhalb der gängigen Planungswerkzeuge kann zur Speicherung der Positionsvarianten für die Ressourcen eine Art zusätzliche Karteikarte erstellt werden. Nach der Positionierung der Ressource im Groblayout werden die Positionsinformationen im Idealfall automatisch übernommen.

5.2.4 Materialflusssimulation

Zur Übertragung eines Prozessgraphen bzw. eines Fertigungskonzepts in die Materialflusssimulation ist neben der Übersetzung der Prozess- und Ressourceinformationen gerade auch die Interpretation der implizit im Prozessgraphen hinterlegten Ablauflogik entscheidend für die Qualität des erstellten Simulationsmodells. Unter der Ablauflogik werden dabei klar definierte Regeln verstanden, die das Verhalten der Bauteile an Verzweigungsstellen im Materialfluss durch die Produktion beschreiben.

Im Rahmen der integrierten Lösungen der Digitalen Fabrik existieren innerhalb der beiden gängigen Systemwelten DELMIA und UGS (Tecnomatix) Lösungen zur automatischen Erstellung eines Simulationsmodells auf der Basis eines um Ressourceinformationen erweiterten Prozessgraphen bzw. eines mit den Prozessen verknüpften Fertigungskonzepts. Die praxistaugliche Anwendung dieser Lösungen zur Erstellung eines detaillierten Simulationsmodells ist jedoch nur unter sehr engen Randbedingungen gegeben [Zenn02]. Der Schwachpunkt der kommerziellen Lösungen besteht vor allem darin, dass das für den Aufbau eines Simulationsmodells erforderliche Wissen über die Ablauflogik im Prozessgraphen bzw. im Fertigungskonzept nicht explizit abgebildet ist und auch implizit in der Regel nicht vollständig hinterlegt werden kann.

Dieses Defizit lässt sich durch die Erweiterung von Prozessgraph und Fertigungskonzept um den generischen Variantenbaustein sowie die beiden generischen Logistikbausteine beheben. Mit Hilfe dieser Elemente wird die für die Simulationsmodellgenerierung benötigte Ablauflogik explizit im Prozessgraphen (sowie im Fertigungskonzept) hinterlegt.

Ein Mechanismus zur Übersetzung eines konventionellen, mit zu produzierenden Produkten und den hierzu erforderlichen Ressourcen verknüpften Prozessgraphen in ein Simulationsmodell ist in [Fran03] beschrieben. Abbildung 5-20 verdeutlicht, wie in Erweiterung dieses Algorithmus zusätzlich der generische Variantenbaustein bzw. die beiden Logistikelemente zur Erstellung eines lauffähigen Simulationsmodells übersetzt werden können.

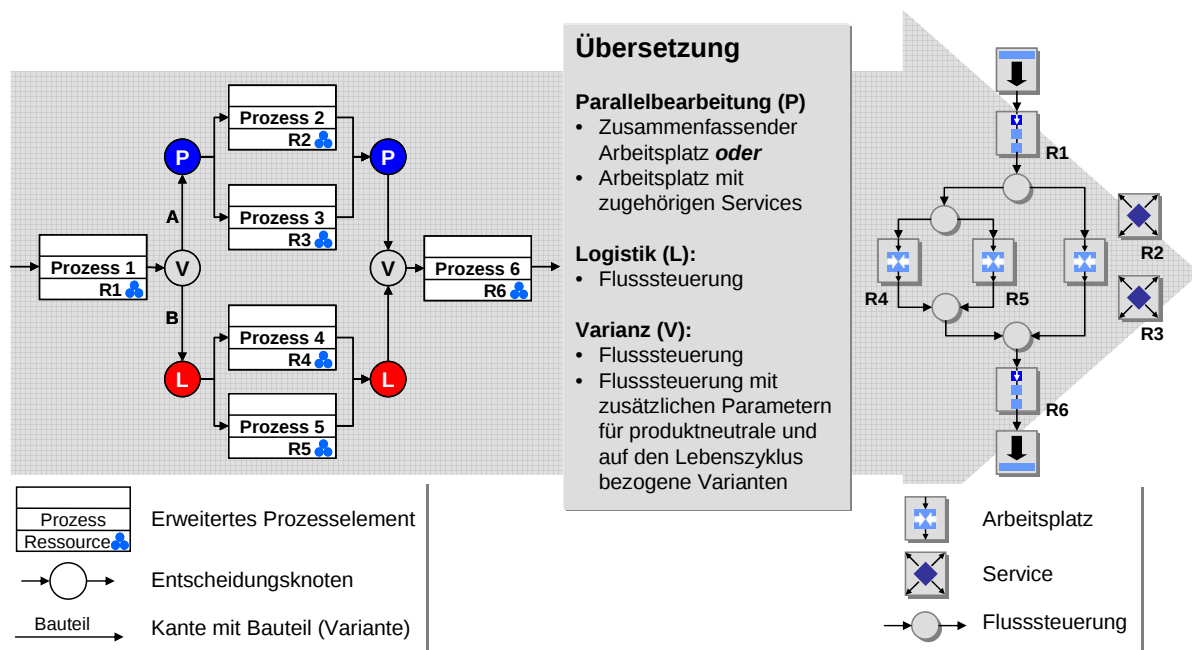


Abbildung 5-20: Übersetzungsmechanismus zwischen Planung und Simulation [BlZe05b]

Die Entscheidungsknoten für Varianz und Logistik können unmittelbar in eine korrespondierende Flusssteuerung im Simulationsmodell übersetzt werden. Das Verhalten der Flusssteuerung (Welches Bauteil wird wann zu welchem Nachfolger der Flusssteuerung verschoben?) hängt dabei von den Parametern der Entscheidungsknoten ab. Zur Übersetzung der Parallelbearbeitung werden die parallel durchzuführenden Prozesse in einem zusammenfassenden Arbeitsplatz, dessen Verfügbarkeit und Stördauer aus den jeweiligen Werten der parallel zu verwendenden Ressourcen ermittelt wird, vereint. Alternativ kann dem zusammenfassenden Arbeitsplatz für jede während der Parallelbearbeitung einzusetzende Ressource ein entsprechender Service, ohne dessen Bereitstellung die Bearbeitung nicht durchgeführt werden kann, zugeordnet werden.

5.3 Implementierung

5.3.1 Möglichkeiten und Grenzen der Implementierung

Für die Implementierung des vorgestellten Variantenmanagementkonzepts stellt sich die grundsätzliche Frage, ob der Aufbau eines eigenständigen Softwareprototyps sinnvoll und überhaupt durchführbar ist oder ob bestehende Lösungen aus den Bereichen Produktentwicklung und Digitale Fabrik prototypisch erweitert werden können. Aufgrund des großen Funktionsumfangs und der damit verbundenen hohen Komplexität der in der industriellen Praxis eingesetzten IT-Werkzeuge sowie der großen Breite der von dem entwickelten Variantenkonzept betroffenen Entwicklungs- und Planungsaufgaben erscheint die Entwicklung eines eigenständigen Prototyps weder zweckmäßig noch durchführbar. Vielmehr bietet es sich an, die Softwarewerkzeuge, die für die Durchführung der vom entwickelten Ansatz betroffenen Aufgaben eingesetzt werden, prototypisch zu erweitern.

In der Produktentwicklung stellen die generalisierte Produktstruktur sowie ihre Erweiterung mittels der Feature-Technologie die Basis für die spätere Berücksichtigung von Varianten (sowohl Produkt- als auch Prozess- und Ressourcevarianten) in der Technischen Produktionsplanung dar. Um die generalisierte Produktstruktur bereits für die Konstruktion der Bauteile und für ihre Zusammenfassung zu Produktvarianten nutzen zu können, bietet sich in einem ersten Schritt ihre Implementierung in die gängigen 3D-CAD Systeme an. Für die vollständige Nutzung ihres Potentials ist darauf zu achten, dass das verwendete CAD-System sowohl

die Integration von Features als auch parametrisches Konstruieren zulässt bzw. unterstützt. Zur strukturierten Speicherung eines generalisierten Produktmodells – gerade auch bei komplexen Bauteilen mit einer Vielzahl von Varianten – sollte der vorgestellte Ansatz zur varianten- bzw. planungsgerechten Produktstrukturierung in einem zweiten Schritt in die besonders in größeren Unternehmen in Verbindung mit den CAD-Systemen genutzten EDM/PDM-Systeme implementiert werden. Hierbei erscheint entgegen der eher in den CAD-Systemen verwendeten graphischen Darstellung der generalisierten Produktstruktur die Abspeicherung der Daten in Form einer entsprechenden generalisierten Stückliste zweckmäßig.

Im Bereich der Technischen Produktionsplanung bieten sich für eine Implementierung die Werkzeuge der Prozessplanung (vgl. Abbildung 3-1) an, da diese die Datengrundlage für alle weiteren Planungsschritte und -werkzeuge liefern. Um die Implementierung des entwickelten Variantenmanagementkonzepts auf eine breite Basis zu stellen, sind die Prozessplanungswerkzeuge der beiden Softwareanbieter DELMIA und UGS (Tecnomatix) aufgrund ihres hohen Funktionsumfangs sowie ihrer weiten Verbreitung in der Industrie am besten geeignet. Mit beiden Softwarewerkzeugen, DELMIA Process Engineer (DPE) und eM-Planner, ist es möglich, den Aufbau sowie die Struktur der für die Planung genutzten Objekte benutzerspezifisch zu konfigurieren sowie eigene Skripte direkt bzw. über eine Programmierschnittstelle (API) zu implementieren und einzusetzen. Wie der Vergleich der beiden Lösungen in Tabelle 3-5 zeigt, bietet DPE zur Zeit bezüglich der benutzerspezifischen Anpassung und Erweiterung der Software die besseren bzw. weitergehenden Möglichkeiten. Aus diesem Grund wird im Rahmen dieser Arbeit DPE für die prototypische Implementierung genutzt.

Die Übertragung des Variantenmanagementkonzepts auf die Layoutplanung kann in einem ersten Implementierungsschritt durch eine Erweiterung der Ressourceobjekte erfolgen. Daneben stellen die IT-technische Umsetzung eines variantenspezifischen Layouts sowie die automatische Übernahme der jeweiligen Ressourcenposition und des zugehörigen Unterscheidungsmerkmals der Layoutvariante den Schwerpunkt für eine Implementierung dar. In einem zweiten Schritt ist es darüber hinaus erforderlich, die im Prozessplanungswerkzeug hinterlegten Positionsvarianten der Ressourcen in speziellen Layoutplanungswerkzeugen auslesen und entsprechend interpretieren zu können.

Im Bereich der Materialflusssimulation erscheint eine Erweiterung der bereits bestehenden Schnittstellen zwischen Prozessplanungs- und Simulationswerkzeugen am zweckmäßigsten. Das Ziel der Erweiterung muss es dabei sein, die drei im Grundkonzept definierten Entschei-

ditionsknoten beim automatisierten Aufbau eines Simulationsmodells auf der Grundlage eines um Ressourcen erweiterten Prozessgraphen bzw. eines Fertigungskonzepts berücksichtigen und interpretieren zu können. Zudem ist es für einen bidirektionalen Datenaustausch zwischen Prozessplanung und Simulation in einem weiteren Implementierungsschritt unerlässlich, neben Änderungen an Simulationsbausteinen wie modifizierten Bearbeitungszeiten oder Ressourcenverfügbarkeiten auch Änderungen in der Ablauflogik in die entsprechenden Elemente der Prozessplanung (Prozessbaustein, Entscheidungsknoten usw.) zurückzuübersetzen. Aufgrund der nur sehr begrenzten Möglichkeiten, an den bestehenden Schnittstellenlösungen der kommerziellen Planungs- und Simulationswerkzeuge Änderungen bzw. Erweiterungen vorzunehmen, muss für eine prototypische Konzeptimplementierung auf ein neutrales Schnittstellenformat in Form einer Tabelle oder einer XML-Datei zurückgegriffen und eine eigene Schnittstelle implementiert werden. Der Vorteil der beschriebenen Vorgehensweise besteht darin, dass im Gegensatz zur „Erweiterung“ kommerziell verfügbarer Lösungen für Prozessplanung und Materialflusssimulation Softwarewerkzeuge verschiedener Anbieter genutzt werden können.

5.3.2 Umsetzungen

Aufbau der generalisierten Produktstruktur in CATIA V5

Für die Implementierung der generalisierten Produktstruktur im Bereich der Produktentwicklung wird das parametrische 3D-CAD System CATIA V5 von Dassault Systèmes ausgewählt. Neben seiner weiten Verbreitung in der deutschen Automobil- und Zulieferindustrie besitzt CATIA V5 zudem eine sehr umfangreiche Schnittstelle zu den DELMIA Softwarelösungen. Des Weiteren unterstützt CATIA V5 das parametrische Konstruieren und die Nutzung von Features, weshalb es sich bestens für die softwaretechnische Umsetzung der generalisierten Produktstruktur eignet.

Für den Aufbau der generalisierten Produktstruktur wird die klassische Produktstrukturierung von CATIA V5, in der zwischen Produkten, Komponenten und Teilen unterschieden wird, verwendet. Eine generalisierte Baugruppe wird dabei durch ein Produkt oder eine Komponente repräsentiert. Sowohl ein Produkt als auch eine Komponente kann wiederum Teile, Komponenten und Produkte enthalten. Durch die parametrische Modellierung eines Bauteils

sowie durch die Auswahl bestimmter Parameterkonfigurationen ist es möglich, ein generalisiertes Bauteil zu erstellen und zu verwalten.

Abbildung 5-21 zeigt ein generalisiertes Produktmodell mit vier Varianten einer Baugruppe bestehend aus zwei Lagern, einer Welle, einem Zahnrad mit Passfeder und zwei O-Ringen. Die unterschiedlichen Lager- und O-Ring-Varianten sind dabei über unterschiedliche Geometrien, d.h. über verschiedene Teile, realisiert, während die Varianten der Welle, der Passfeder sowie des Zahnrads mittels Parametrik jeweils in einem Geometrieelement integriert sind.

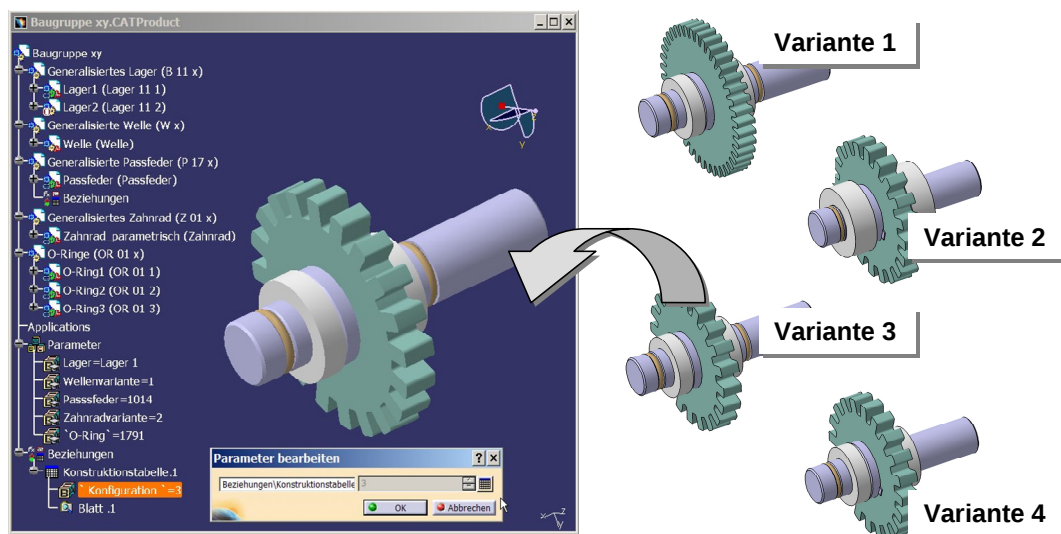


Abbildung 5-21: Implementierung der generalisierten Produktstruktur in CATIA V5

Zur Darstellung mehrerer Varianten in einem Produktmodell sind neben der Abbildung der generalisierten Baugruppen mit Hilfe von Produkten bzw. Komponenten in CATIA V5 auch die in den Variantenlisten abzulegenden Informationen erforderlich. Zur Erstellung der Variantenlisten werden so genannte Konstruktionstabellen genutzt, die in CATIA V5 standardmäßig zur Variantenkonstruktion Verwendung finden. Die erforderlichen Informationen und Referenzen der Variantenliste werden dabei in einer Excel-Datei, auf die CATIA direkt zugreifen kann, gespeichert. Abbildung 5-22 illustriert den standardisierten Aufbau einer Konstruktionstabelle für das in Abbildung 5-21 gezeigte Beispiel.

	A	B	C	D	E
1	'Lagervarianten\Lager1.1\Aktivierungsstatus der Komponente'	true	false	true	true
2	'Lagervarianten\Lager2.1\Aktivierungsstatus der Komponente'	false	true	false	false
3	'Wellenvarianten\Welle.1\Aktivierungsstatus der Komponente'	true	true	true	true
4	'Passfedervarianten\Passfeder.1\Aktivierungsstatus der Komponente'	true	true	true	true
5	'Zahnrad\zahnrad\Aktivierungsstatus der Komponente'	true	true	true	true
6	'O-Ringe\O-Ring2\Aktivierungsstatus der Komponente'	true	false	true	true
7	'O-Ringe\O-Ring1\Aktivierungsstatus der Komponente'	true	true	true	true
8	'Welle\Beziehungen\Konstruktionstabelle.1\ Konfiguration '	1	2	1	2
9	'Zahnrad_parametrisch\Beziehungen\Konstruktionstabelle.1\ Konfiguration '	3	2	2	2
10	'Lager'	Lager 1	Lager 2	Lager 1	Lager 1
11	'Wellenvariante'	1	2	1	2
12	'Passsfeder'	1012	1013	1014	1014
13	'Zahnradvariante'	3	2	2	2
14	'O-Ring'	1789	1790	1791	1791
15					
16					

Spalte A: Komponenten / Parameter
Spalten B - E: Abbildung der Produktvarianten (Parameterwerte)

Abbildung 5-22: Konstruktionstabelle

In der Konstruktionstabelle können neben geometrischen Bauteilparametern wie Länge oder Durchmesser auch beliebige andere bauteilbezogene sowie globale Parameter eingetragen und dabei im CAD-Modell bei Auswahl der darzustellenden Varianten automatisiert modifiziert werden. Zudem kann der Aktivierungsstatus der Konstruktionselemente geändert werden, um diese jeweils innerhalb einer Variante zu berücksichtigen oder auszublenden. Dieser Aspekt ist vor allem dann von Bedeutung, wenn Bauteilvarianten wie beispielsweise die beiden Lagervarianten in Abbildung 5-21 über unterschiedliche Bauteile realisiert werden. Mit Hilfe einer Konstruktionstabelle kann darüber hinaus auf die durch eine andere Konstruktionstabelle bereitgestellten Konfigurationen zugegriffen werden (vgl. Zeilen 8 und 9 in Abbildung 5-22). Hierdurch lässt sich der hierarchische Aufbau der generalisierten Produktstruktur, in der übergeordnete Variantenlisten über Referenzen mit den unmittelbar untergeordneten Variantenlisten verbunden sind, abbilden.

Zur vollständigen Nutzung des Potentials der generalisierten Produktstruktur stellt die Auswahl unterschiedlicher Konfigurationen bei mehreren Referenzen zum gleichen Bauteil einen Aspekt dar, für den künftig noch Handlungsbedarf besteht. So ist es aktuell nicht möglich, ein parametrisch konstruiertes Bauteil in unterschiedlichen Konfigurationen mehrfach in einem Produktmodell zu verwenden ohne physikalisch mehrere Bauteile verwalten zu müssen. Die hierzu notwendigen Erweiterungen von CATIA V5 gehen jedoch über die bestehenden Möglichkeiten zur Durchführung von benutzerspezifischen Änderungen hinaus.

Variantenmanagement mit DELMIA Process Engineer

Für die Implementierung des entwickelten Variantenmanagementkonzepts im Bereich der Prozessplanung werden die im Grundkonzept vorgestellten Elemente in die Objektstruktur von DPE integriert. Hierzu lässt sich der so genannte Planungstypensatz (PTS), der im Wesentlichen der Projektstrukturierung dient und den Aufbau sowie die Struktur der Planungsobjekte beschreibt, verwenden. Abbildung 5-23 zeigt ein einfaches Strukturierungsbeispiel der standardmäßig vorhandenen Produkt-, Prozess- und Resourcesicht eines Planungsprojektes mittels PTS.

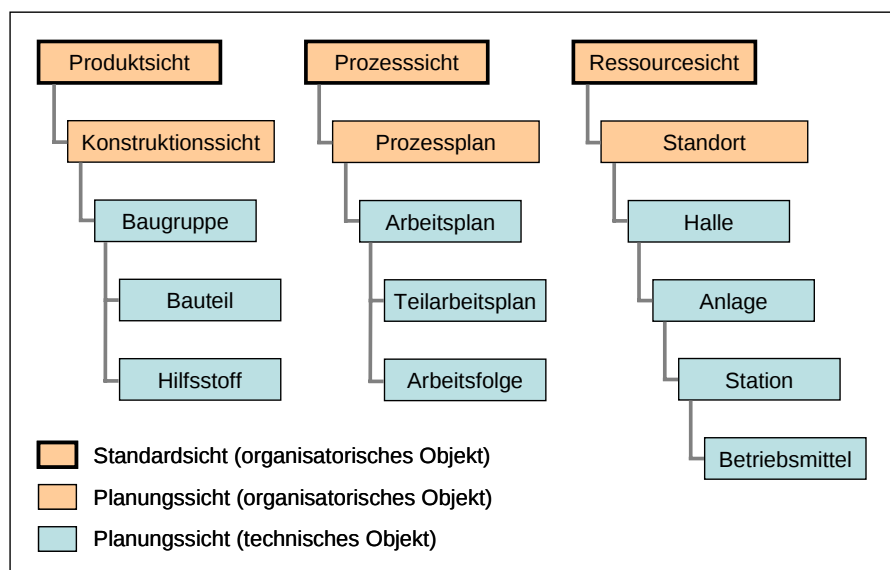


Abbildung 5-23: Beispiel für die Produkt-, Prozess- und Resourcestrukturierung in einem PTS in Anlehnung an [Kief03]

Neben den eingangs erwähnten Strukturinformationen werden in einem Planungstypensatz für jedes Planungsobjekt dessen Attribute sowie deren Darstellung in Form von entsprechenden Seiten und Gruppen (vgl. Abbildung 5-24) definiert. Für jedes Objekt können dabei die Attribute sowie ihre Anzeige benutzerspezifisch erstellt bzw. modifiziert werden.

Im Rahmen der Implementierung kann somit ein erweiterter Planungstypensatz für DPE erstellt werden. Die vollständige Struktur des PTS ist im Anhang in Abbildung B-1 dargestellt.

Seite 1	Seite 2	Seite 3	Seite ..n
Gruppe 1			
Attribut 1			
Attribut 2			
Attribut 3			
Gruppe 2			
Attribut 4			
Attribut 5			
Attribut 6			

Abbildung 5-24: Darstellung der Informationen eines Planungsobjektes nach [Delm03]

Zur Abbildung der Referenzen zu einer übergeordneten Variantenliste sind bei „konventionellen“ Baugruppen und Bauteilen zusätzliche Attribute erforderlich. Hierzu wird für Bauteile und Baugruppen eine zusätzliche Seite „Verwendung“ erstellt, in der die jeweiligen Referenzen hinterlegt werden können (Abbildung 5-25). Dabei ist es in DPE nicht möglich, einem Bauteil, das in mehreren Baugruppen enthalten ist, physisch jedoch nur einmal im Datenmodell der Produktstruktur erzeugt werden soll, jeweils unterschiedliche Referenzen zu übergeordneten Variantenlisten zu hinterlegen. Daher kann, falls ein Bauteil mehreren Variantenlisten zuzuordnen ist, die zugehörige generalisierte Baugruppe zur eindeutigen Identifizierung der Referenz auf der Seite „Verwendung“ ergänzt werden (vgl. Abbildung 5-25).

Abbildung 5-25: Referenzen zwischen einem Bauteil und einer übergeordneten Variantenliste

In der Produktsicht müssen des Weiteren die Planungsobjekte „generalisiertes Produkt“, „generalisierte Baugruppe“ und „generalisiertes Bauteil“ ergänzt werden. Als zusätzliche Informationen sind neben der zugehörigen Variantenliste, die auf einer separaten Seite „Variantenzuordnung“ hinterlegt werden kann, auch die etwaig vorhandenen Referenzen der Listeneinträge zu einer übergeordneten Variantenliste erforderlich. Diese Informationen können auf der gegenüber der Darstellung bei Bauteilen leicht modifizierten Seite „Verwendung“ hinterlegt werden. Die beiden zusätzlichen Seiten „Variantenzuordnung“ und „Verwendung“ einer generalisierten Baugruppe sind ebenso wie die zentralen Seiten der generischen Varianten- und Logistikelemente in Anhang B dargestellt.

Soll zudem bei der Nutzung von Features die Struktur aus der Produktentwicklung vollständig auch in der Planung abbildbar sein, sind weitere Objekte zur Speicherung der Featureinformationen in die Produktsicht des PTS zu integrieren.

Sowohl in der Prozess- als auch in der Resourcesicht des PTS sind die Entscheidungsknoten zur Unterscheidung von Prozess- und/oder Ressourcevarianten sowie zur Abbildung der Ablauflogik zu ergänzen. Abbildung 5-26 zeigt exemplarisch die Seite „Zuweisung“ des produktvarianten-induzierten generischen Variantenelements, auf der den Ausgängen des Entscheidungsknotens die jeweiligen Produktvarianten bzw. die Einträge der Variantenliste der zugehörigen generalisierten Baugruppe zugeordnet werden. Wie bereits erwähnt, sind die relevanten Seiten „Allgemein“, „Zuweisung“ und „Steuerung“ der übrigen Elemente im Anhang B dargestellt.

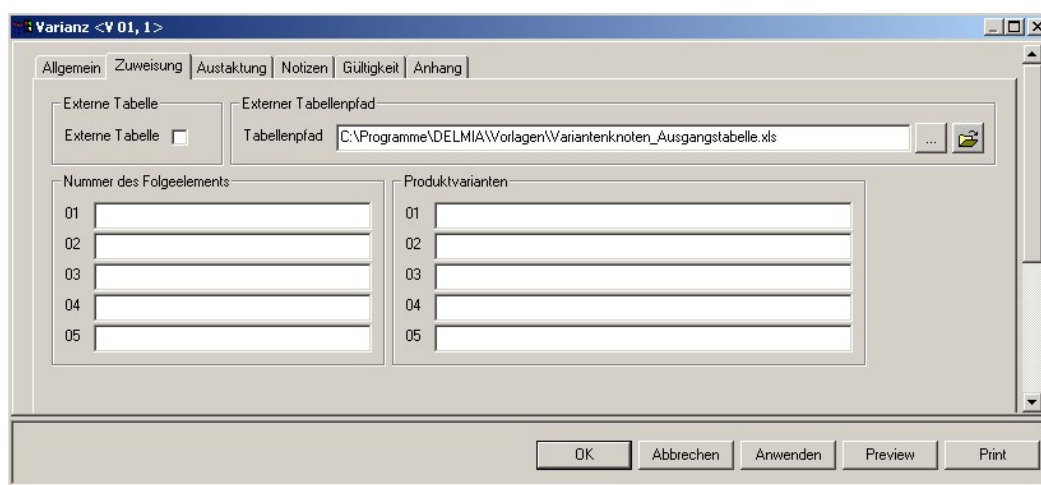


Abbildung 5-26: Seite „Zuweisung“ eines produktvarianten-induzierten Entscheidungsknotens

Abschließend sei noch erwähnt, dass zur vollständigen Nutzung des zuvor beschriebenen Ansatzes auch in DPE noch Erweiterungen am Datenmodell erforderlich sind, die über die

bestehenden Möglichkeiten, eigene anbieterunabhängige Modifikationen an der Software vorzunehmen, hinausgehen. So ist die Hinterlegung mehrerer Zeiten für einen Prozess nur dann zweckmäßig, wenn dem Prozess für die entsprechenden Zeiten auch unterschiedliche Ressourcen zugeordnet werden können. Hierzu ist eine Erweiterung der Referenztypen zwischen Prozessen und Ressourcen erforderlich, für die jedoch eine eigene Anpassung nicht im benötigten Umfang möglich ist. Darüber hinaus lässt sich festhalten, dass die Benutzerfreundlichkeit von DPE für die Akzeptanz der Software in der täglichen Planungspraxis noch deutlich verbessert werden muss.

Automatische Simulationsmodellerstellung in eM-Plant

Für die Implementierung der Schnittstelle zwischen Prozessplanung und Materialflusssimulation wird neben der Planungssoftware DPE das Simulationswerkzeug eM-Plant von UGS (Tecnomatix) verwendet. Die Entscheidung für eM-Plant stützt sich auf zwei Hauptargumente. Zum einen lässt sich durch die Nutzung von eM-Plant illustrieren, dass der erarbeitete Ansatz nicht nur auf die Nutzung von Software eines Anbieters beschränkt ist, sondern sich vielmehr bestens für die Verknüpfung von Werkzeugen unterschiedlicher Anbieter eignet. Zum anderen besitzt eM-Plant standardmäßig ein Flusssteuerungsobjekt, das als Entsprechung zu den für den Prozessgraphen definierten Entscheidungsknoten genutzt werden kann. Somit lassen sich die Entscheidungsknoten in eM-Plant direkt in ein bereits vorhandenes Element übersetzen, ohne dass hierzu zusätzliche Implementierungen erforderlich sind.

Für die Schnittstellenimplementierung bieten sich verschiedene Möglichkeiten an. Im Besonderen ist die Bereitstellung der erforderlichen Informationen in Tabellenform oder als XML-Datei geeignet, da eM-Plant direkt über standardmäßig integrierte Funktionalitäten und Bausteine auf diese Informationen zugreifen kann. So beschreibt Selke einen Ansatz zur automatischen Simulationsmodellgenerierung für die Produktionssteuerung mittels MS Excel und MS Access auf der Grundlage der Ergebnisse der Betriebsdatenerfassung (BDE) sowie der Informationen aus einem PPS-System [Selk05].

Trotz der großen Verbreitung von MS Excel stellt XML ein noch universeller nutzbares Format dar. Vorteile von XML sind dabei unter anderem eine integrierte Validierung des Programmcodes bezüglich eines vordefinierten Schemas, die einfache Durchführbarkeit einer Syntaxanalyse, die Erweiterbarkeit sowie der Einsatz in vielfältigen anderen Systemen [Jens03]. Zudem bieten sowohl DPE als auch eM-Planner die Möglichkeit, XML-Dateien,

wenn auch in einem software- bzw. anbieterspezifischen Format, zu exportieren. Sowohl bei DPE als auch bei eM-Planner enthält die exportierte XML-Datei eine Vielzahl von Informationen, die für den Aufbau eines Simulationsmodells nicht von Bedeutung sind. Aus diesem Grund wird für die automatische Simulationsmodellgenerierung eine Vorlage einer XML-Struktur erstellt. Die für den Modellaufbau benötigte XML-Datei kann dabei entsprechend der „Musterstruktur“ entweder durch einen modifizierten XML-Export aus der jeweils verwendeten Planungssoftware oder durch einen Konverter bzw. einen Translator, der die exportierte XML-Datei in das erforderliche Format umwandelt, erstellt werden. Abbildung 5-27 zeigt einen Auszug aus einer im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellten XML-Datei für die automatische Simulationsmodellgenerierung.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-16" standalone="no" ?>
- <netzwerk>
- <bausteine>
- <objektnr1>
  <klasse>.Materialfluss.Puffer</klasse>
  <name>puffer_02</name>
  <xxpos>484</xxpos>
  <yypos>349</yypos>
- <attribute>
  <Erholzeit typ="ttime">4.0000</Erholzeit>
  <Bearbeitungszeit typ="ttime">1:00.0000</Bearbeitungszeit>
</attribute>
</objektnr1>
- <objektnr2>
  <klasse>.Materialfluss.Ereignisverwalter</klasse>
  <name>Ereignisverwalter</name>
  <xxpos>40</xxpos>
  <yypos>40</yypos>
  <attribute />
</objektnr2>
- <objektnr3>
  <klasse>.Materialfluss.Einzelstation</klasse>
  <name>einzel_01</name>
  <xxpos>279</xxpos>
  <yypos>415</yypos>
- <attribute>
  <Verfügbarkeit typ="treal">100</Verfügbarkeit>
  <Bearbeitungszeit typ="ttime">1:00.0000</Bearbeitungszeit>
  <Ruestzeit typ="ttime">0</Ruestzeit>
</attribute>
</objektnr3>
- <objektnr4>
```

Abbildung 5-27: Auszug aus einer XML-Datei für die automatische Simulationsmodellgenerierung

Der Algorithmus zur automatischen Simulationsmodellgenerierung wird direkt in einem Basissimulationsmodell mittels so genannter Methodenbausteine implementiert. In den Methodenbausteinen, die innerhalb einer Simulation beliebig aufgerufen werden können, kann die gesamte Logik des Modells hinterlegt werden. Zur Programmierung der Methodenbausteine wird die Programmiersprache SimTalk verwendet, die vor allem in der Struktur große Ähnlichkeit mit C⁺⁺ aufweist. Abbildung 5-28 zeigt den Inhalt des Methodenbausteins, der den eigentlichen Import der in einer XML-Datei enthaltenen Objekte in das Simulationsmodell steuert.

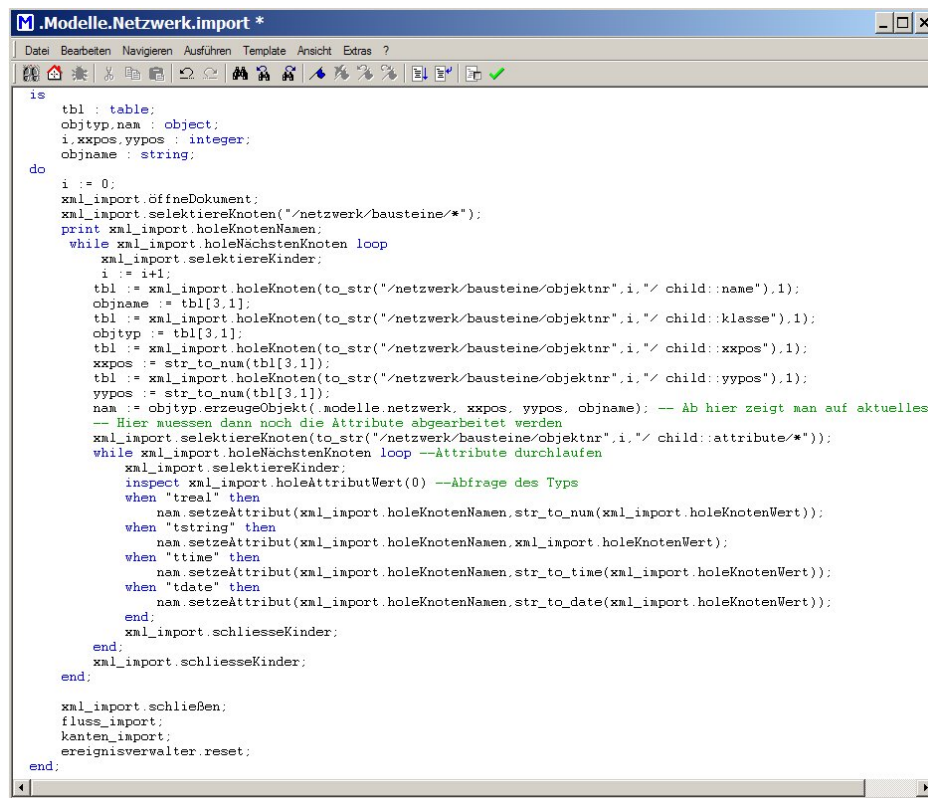


Abbildung 5-28: Methodenbaustein zum Objektimport in eM-Plant

Der automatische Modellaufbau ist dabei in zwei Schritte unterteilt. In einem ersten Schritt werden die in der XML-Datei gespeicherten Informationen in die standardmäßig in eM-Plant verfügbaren Materialfluss- und Informationsbausteine übersetzt. Anschließend werden die jeweiligen Bausteine erzeugt sowie ihre Parameter initialisiert. Eine Station in einem Fertigungskonzept wird so beispielsweise in einen Arbeitsplatz bzw. eine so genannte Einzelstation in eM-Plant übersetzt. Unmittelbar nach der Erzeugung des Bausteins können die relevanten Parameter wie Bearbeitungs- oder Rüstzeit und Verfügbarkeit initialisiert werden. Ferner werden die einzelnen Materialflussbausteine nach ihrer Erzeugung über Kanten, die den Materialfluss vorgeben, miteinander verbunden und die Logik der Entscheidungsknoten in Form von standardisierten der jeweiligen Flussteuerung zugewiesenen Methoden abgebildet.

Da das durch diesen Schritt erzeugte Simulationsmodell noch nicht vollständig ist, wird es in einem zweiten Schritt in ein lauffähiges Modell überführt. Ein Prozessgraph bzw. ein Fertigungskonzept enthält in der Regel keine Quellen und Senken, die für die Erzeugung und Vernichtung von beweglichen Elementen, die die Bauteile und Produkte im Simulationsmodell repräsentieren, benötigt werden. Da Quellen und Senken in einem Simulationsmodell jedoch unerlässlich sind, müssen diese nachträglich erzeugt und initialisiert werden.

Abbildung 5-29 zeigt einen Ausschnitt eines automatisch erstellten Simulationsmodells mit den hierzu implementierten Methodenbausteinen auf der linken Seite des Modells.

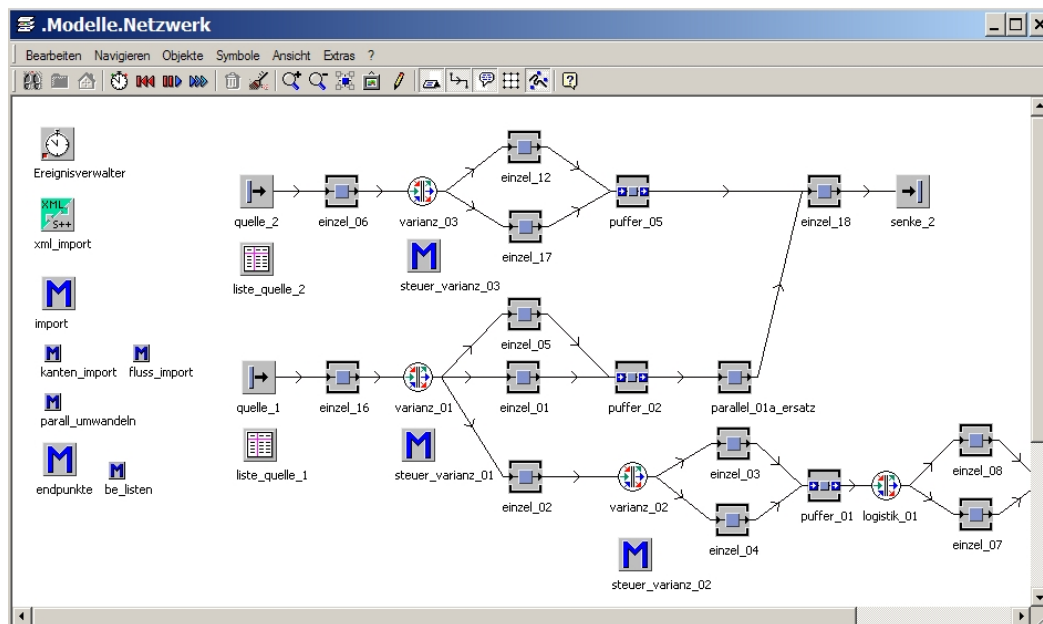


Abbildung 5-29: Automatisch erstelltes Simulationsmodell auf der Basis einer XML-Datei

Ein weiterer Aspekt, der bei der automatischen Erzeugung eines Simulationsmodells berücksichtigt werden sollte, ist eine möglichst kreuzungs- und überschneidungsfreie Darstellung der Bausteine. Die Überschneidungsfreiheit kann durch einen Positionsvergleich zwischen den Bausteinen sowie durch etwaige Positionsänderungen einzelner Elemente gewährleistet werden. Für die Realisierung einer kreuzungsfreien Darstellung der Verbindungen zwischen den Bausteinen eignen sich unter anderem heuristische Verfahren [Frie89]. Da das Simulationsmodell im Allgemeinen jedoch auf der Basis eines bereits weitestgehend kreuzungsfrei erstellten Prozessgraphen oder Fertigungskonzepts generiert wird, ist dieser Aspekt bei der prototypischen Implementierung nicht berücksichtigt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Definition einer standardisierten XML-Struktur als Grundlage für den automatischen Simulationsmodellaufbau und die Erstellung der für die Modellerzeugung erforderlichen Methodenbausteine in eM-Plant die Ergebnisse der prototypischen Implementierung einer Schnittstelle zwischen Prozessplanung und Materialflusssimulation sind.

6 Praxisszenario

Nachdem im vorherigen Kapitel das entwickelte Variantenmanagementkonzept für die Technische Produktionsplanung detailliert beschrieben und vorgestellt wurde, wird im Folgenden seine Anwendbarkeit anhand zweier Praxisszenarien untersucht bzw. überprüft. Das erste Szenario, in dem eine LKW-Rohbaugruppe betrachtet wird, dient dazu, mögliche Grenzen des Ansatzes auszuloten. Die Fertigung dreier Varianten der Baugruppe „Längsträger“ wird hierzu um mehrere mögliche produktvarianten-induzierte und produktvarianten-neutrale Prozess- und Ressourcevarianten erweitert.

Die Montage von vier Varianten einer Taschenlampe stellt den Betrachtungsgegenstand des zweiten Szenarios dar, mit dem die Durchgängigkeit des Konzepts erprobt wird. Mit einer Taschenlampe wird ganz bewusst ein Produkt bzw. eine Baugruppe gewählt, die nicht aus dem Automobilbereich stammt. Zum einen besitzt die betrachtete Taschenlampe eine überschaubare Komplexität, so dass der gesamte Produkt- und Produktionsentstehungsprozess von der Konstruktion der vier Produktvarianten über die Planung der erforderlichen Montageoperationen und der dazu benötigten Einrichtungen und Hilfsmittel bis hin zur Simulation der Abläufe und des Materialflusses durchlaufen werden kann. Zum anderen zeigt dieses Szenario, dass das entwickelte Konzept universell für die Planung von Produktionseinrichtungen eingesetzt werden kann.

6.1 Szenario 1 – LKW-Rohbaugruppe

6.1.1 Betrachtungsgegenstand

Im Rahmen des ersten Praxisszenarios wird die Fertigung des Schweißbauteils „ZB Längsträger“ eines LKWs betrachtet. Der „ZB Längsträger“, dessen Bestandteile und Einbauverhältnisse in Abbildung 6-1 illustriert sind, wird in den drei Produktvarianten „kurz“, „lang“ und „lang & verstärkt“ an den drei Standorten „Deutschland Nord“, „Deutschland Süd“ und „Türkei“ produziert.

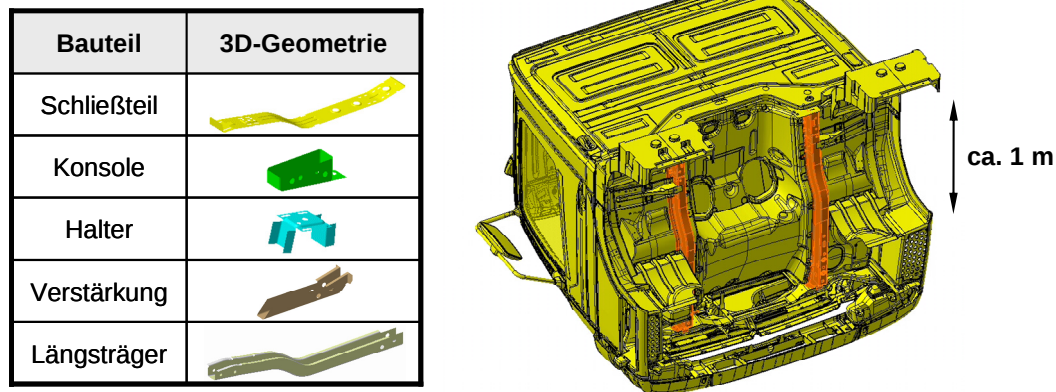


Abbildung 6-1: Bestandteile und Einbauverhältnisse eines LKW-Längsträgers nach [Kief03]

Die Unterschiede der Produktvarianten entstehen durch zwei unterschiedliche Längen (kurz und lang) von Schließteil und Längsträger. Die übrigen Teile sind in allen Varianten gleich. Der Unterschied zwischen den beiden Varianten „Längsträger lang“ und „Längsträger lang & verstärkt“ besteht ausschließlich in der eingesetzten Schweißtechnologie. Anstelle von Punkt- und MAG-Schweißen wird für die verstärkte Variante des Längsträgers das Laserschweißen eingesetzt. Hierdurch berücksichtigt dieses Szenario den Spezialfall, bei dem eine Produktvariante durch eine Prozessvariante verursacht wird.

Standort	Deutschland Nord	Deutschland Süd	Türkei
ZB lösen & entnehmen	Werker 1	Werker 1	Werker 1
Einzelteile einlegen & spannen	Werker 1	Werker 1	Werker 1
Bauteile transportieren	Drehtisch B	Drehtisch A	Werker 1
Schweißen 1	Punktschweißroboter 1	Laserschweißroboter 1	Punktschweißroboter 1
Schweißen 2	Punktschweißroboter 2		Punktschweißroboter 2
Bauteile transportieren	Drehtisch B	Drehtisch A	Werker 2
Schweißen 3	MAG - Schweißroboter	Laserschweißroboter 2	MAG - Schweißroboter
Schließteil nachlegen & spannen	Handhabungsroboter	Handhabungsroboter	Werker 3
Bauteile transportieren	Drehtisch B	Drehtisch A	Werker 3
Schweißen 4	Punktschweißroboter 3	Laserschweißroboter 3	Punktschweißroboter 3
Schweißen 5	Punktschweißroboter 4		Punktschweißroboter 4
Bauteile transportieren	Drehtisch B	Drehtisch A	Werker 2

Tabelle 6-1: Standortunterschiede nach [Köhl04]

Die Standorte unterscheiden sich in Produktivität und Automatisierungsgrad. An allen Standorten werden dabei die Schweißoperationen von Robotern durchgeführt; Unterschiede bestehen in der Handhabung und im Transport zwischen den einzelnen Stationen. Am Standort „Türkei“ soll die Fertigung drei Jahre nach Produktionsstart zudem stärker automatisiert werden, um so eine zusätzliche Lebenszyklusvariante des Rohbaus berücksichtigen zu können. Da nur am Standort „Deutschland Süd“ Laserschweißroboter vorhanden sind, wird die verstärkte Variante des Längsträgers ausschließlich dort hergestellt. In den Werken

„Deutschland Nord“ und „Türkei“ werden jeweils die beiden Produktvarianten „Längsträger kurz“ und „Längsträger lang“ produziert.

In Tabelle 6-1 sind die zur Durchführung der erforderlichen Fertigungs- und Transportoperationen eingesetzten Ressourcen innerhalb der drei Standorte aufgelistet.

6.1.2 Modellierung der Produkt-, Prozess- und Ressourcenstruktur

Zum Aufbau der generalisierten Produktstruktur sowie zur Modellierung der zugehörigen Prozess- und Ressourcenstruktur wird DPE mit dem im Rahmen der Implementierung des Variantenmanagementkonzepts entwickelten Planungstypensatz verwendet.

In einem ersten Schritt wird die von der Produktentwicklung vorgegebene konventionelle Produktstruktur in Form einer Konstruktionsstückliste im Planungswerkzeug hinterlegt. Hierbei ist für jede der drei Varianten ein eigener Produktbaum erforderlich. Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten sind dabei bereits bei drei Produktvarianten und einer geringen Anzahl an Bauteilen nur schwer zu erkennen. Die drei Produktbäume werden anschließend in eine generalisierte Konstruktionsstückliste überführt (vgl. Abbildung 6-2). Die Zuordnung der einzelnen Bauteile zur übergeordneten Variantenliste erfolgt, wie in Abbildung 6-2 für das Bauteil Verstärkung dargestellt ist, auf der Seite „Variantenzuordnung“ des jeweiligen Bauteils.

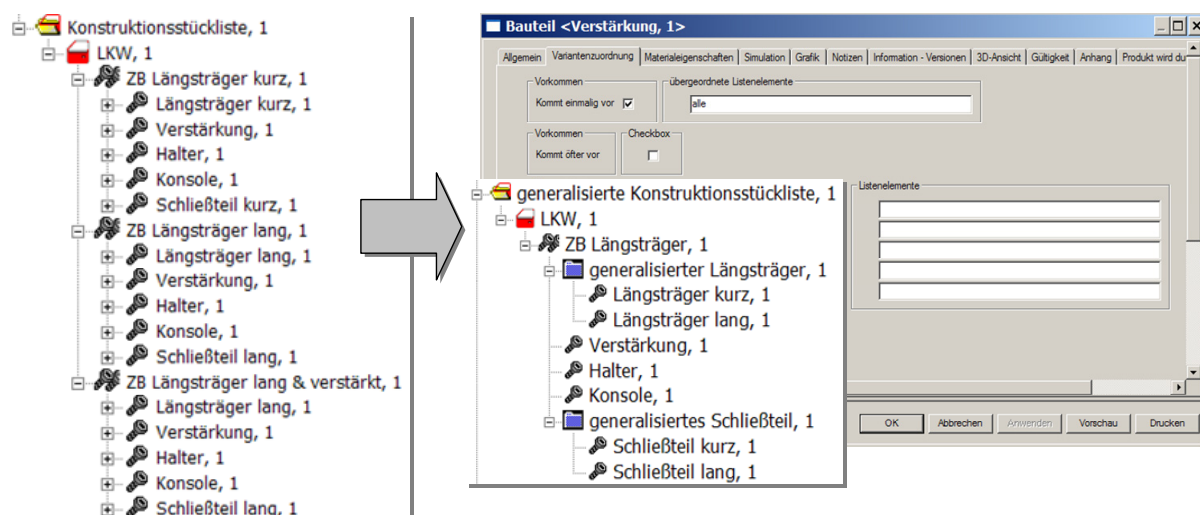


Abbildung 6-2: Konstruktionsstückliste und generalisierte Konstruktionsstückliste

Basierend auf der generalisierten Konstruktionsstückliste wird die für die weitere Planung des Rohbaus erforderliche generalisierte Fertigungsstückliste erstellt, die noch zusätzliche, für

den Fertigungsablauf bedeutsame Unterbaugruppen enthält. Durch die Erstellung einer Fertigungsstückliste aus der generalisierten Konstruktionsstückliste lässt sich unter anderem die Möglichkeit, eine generalisierte Stückliste nachträglich zu ändern, evaluieren.

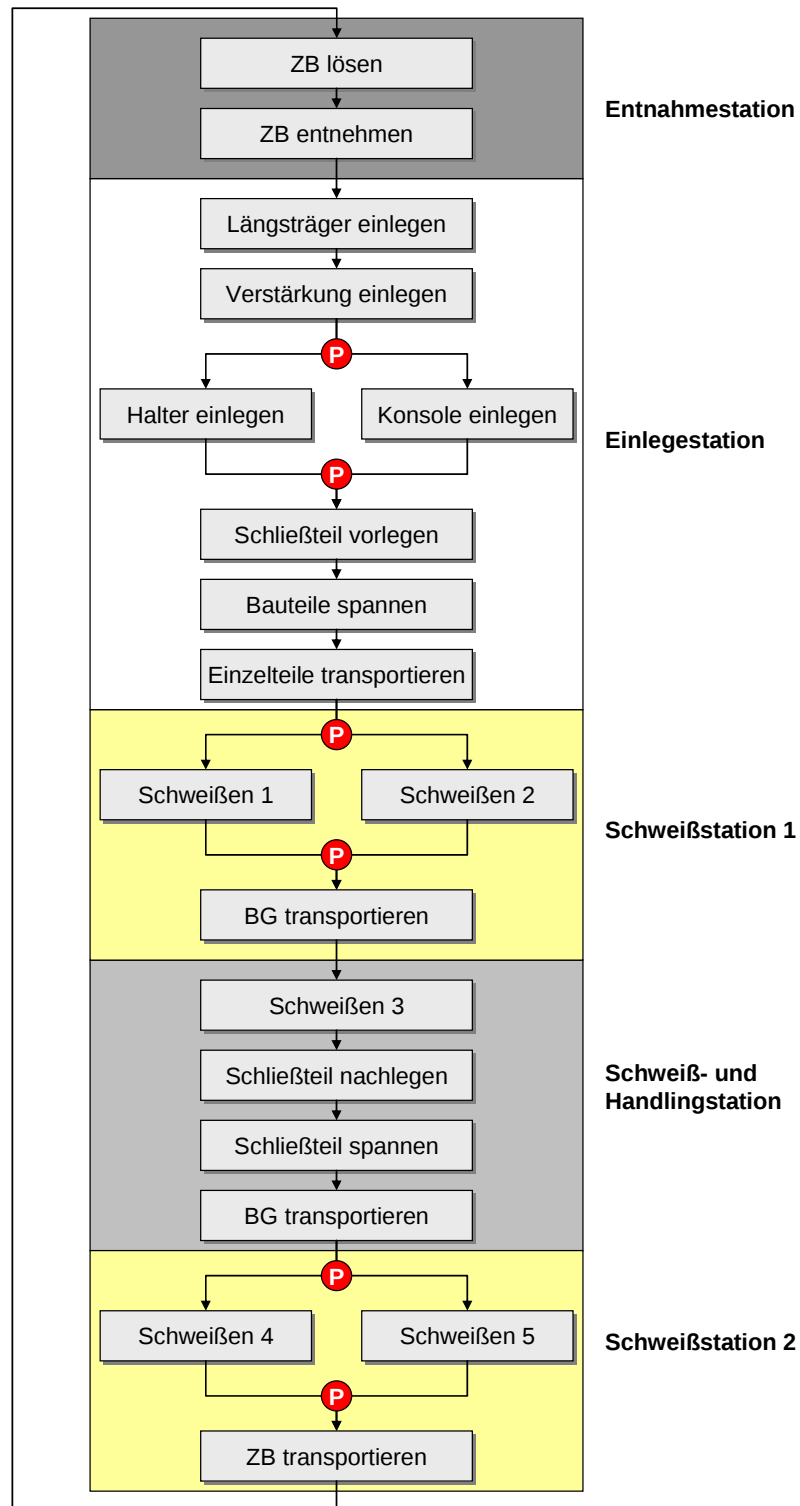


Abbildung 6-3: Prozesssicht für den Standort "Deutschland Nord" nach [Köhl04]

Ausgehend von der generalisierten Fertigungsstückliste werden im Folgenden die erforderlichen Fertigungsprozesse und deren Abfolge ermittelt. Abbildung 6-3 zeigt in vereinfachter Form die Prozessfolge für den Standort „Deutschland Nord“, wobei Prozessvarianten in dieser Darstellung nicht berücksichtigt sind. Einen Ausschnitt aus der vollständigen Prozessstruktur, in der sowohl alle produktvarianten-induzierten als auch alle produktvarianten-neutralen bzw. auf den Lebenszyklus bezogenen Prozessvarianten berücksichtigt sind, zeigt Abbildung 6-4.

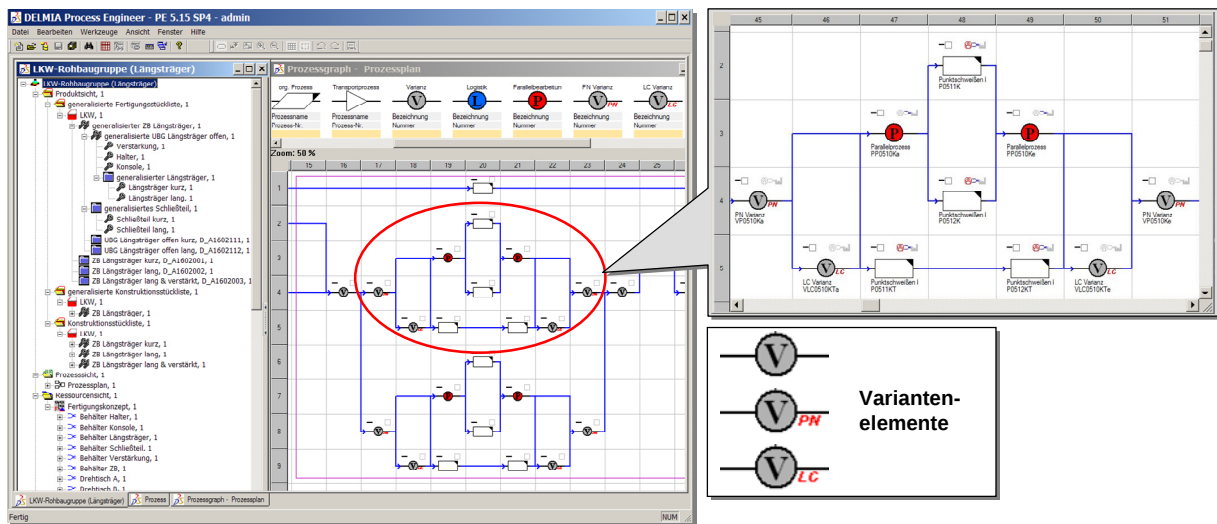


Abbildung 6-4: Ausschnitt aus dem Prozessgraphen der LKW-Rohbaugruppe in DPE

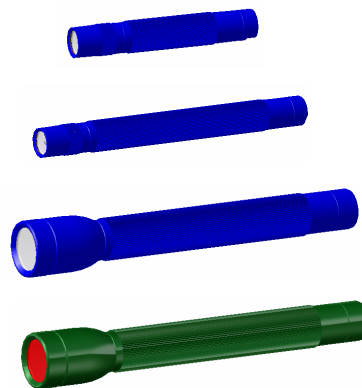
Basierend auf der Prozessstruktur wird abschließend das zugehörige Fertigungskonzept als Verknüpfung zwischen herzustellenden Produktvarianten, durchzuführenden Prozessen und hierzu erforderlichen Ressourcen erstellt. Dabei kann aus dem Prozessgraphen automatisch ein Fertigungskonzept generiert werden, in dem den jeweiligen Prozesselementen die entsprechenden Ressourcenelemente zugeordnet werden. Das auf diese Weise erstellte Fertigungskonzept muss jedoch noch überarbeitet werden, da beispielsweise verschiedene Prozessvarianten von der gleichen Ressource durchgeführt werden, wodurch Ressourcen zusammengefasst werden können und Variantenelemente entfallen.

6.2 Szenario 2 – Taschenlampenmontage

6.2.1 Betrachtungsgegenstand

Wie bereits erwähnt, wird im zweiten Praxisszenario die Montage von vier Varianten einer Taschenlampe näher betrachtet. Im Detail handelt es sich dabei um die folgenden Ausführungen:

- kurz, 1 x AAA, Glühlampe
- lang, 2 x AAA, Glühlampe
- lang, 2 x AA, Glühlampe
- lang, 2 x AA, LED



Die Taschenlampe mit der Leuchtdiode (LED) besitzt darüber hinaus anstelle der klaren eine rote Linse. Neben den unterschiedlichen Größen und Längen der Bauteile liegen die Hauptunterschiede zwischen den beiden Varianten mit den zwei AA-Batterien und den beiden mit einer bzw. zwei AAA-Batterien in der Form der Kopfbaugruppe und der Gestaltung der Endkappe. Mit Ausnahme eines zusätzlichen O-Rings bei den beiden Varianten mit der größeren Kopfbaugruppe und einer fehlenden Ersatzlampe bei der Taschenlampe mit der Leuchtdiode sind die Anzahl sowie die Art der in den verschiedenen Varianten verbauten Bauteile jedoch gleich.

In Abbildung 6-5 ist die Zusammensetzung der Variante „lang, 2 x AA, Glühlampe“ dargestellt, die, wie bereits erwähnt, von der Form und der Größe der Bauteile abgesehen, weitestgehend identisch mit dem Aufbau der drei anderen Varianten ist. Die generalisierte Produktstruktur der vier Varianten findet sich im Anhang in Abbildung C-1.

Da die Konstruktion der vier Taschenlampenvarianten sowie die Planung ihrer Montage aus der Sicht der Arbeitsinhalte sowie der Komplexität der Aufgabe durchaus anspruchsvoll, jedoch noch überschaubar sind, eignet sich dieses Szenario im Besonderen, um die durchgängige Anwendbarkeit des im vorhergehenden Kapitel vorgestellten Variantenmanagementkonzepts zu evaluieren. Aus diesem Grund werden im Folgenden beginnend mit der Kon-

struktion der vier Taschenlampenvarianten die Planung der Taschenlampenmontage, der Aufbau eines ersten groben Layouts der Montage sowie die Erstellung eines detaillierten Materialflusssimulationsmodells durchgeführt und mit dem Fokus auf die Berücksichtigung und Beherrschung der vorhandenen Produkt-, Prozess- und Ressourcevarianten näher betrachtet.

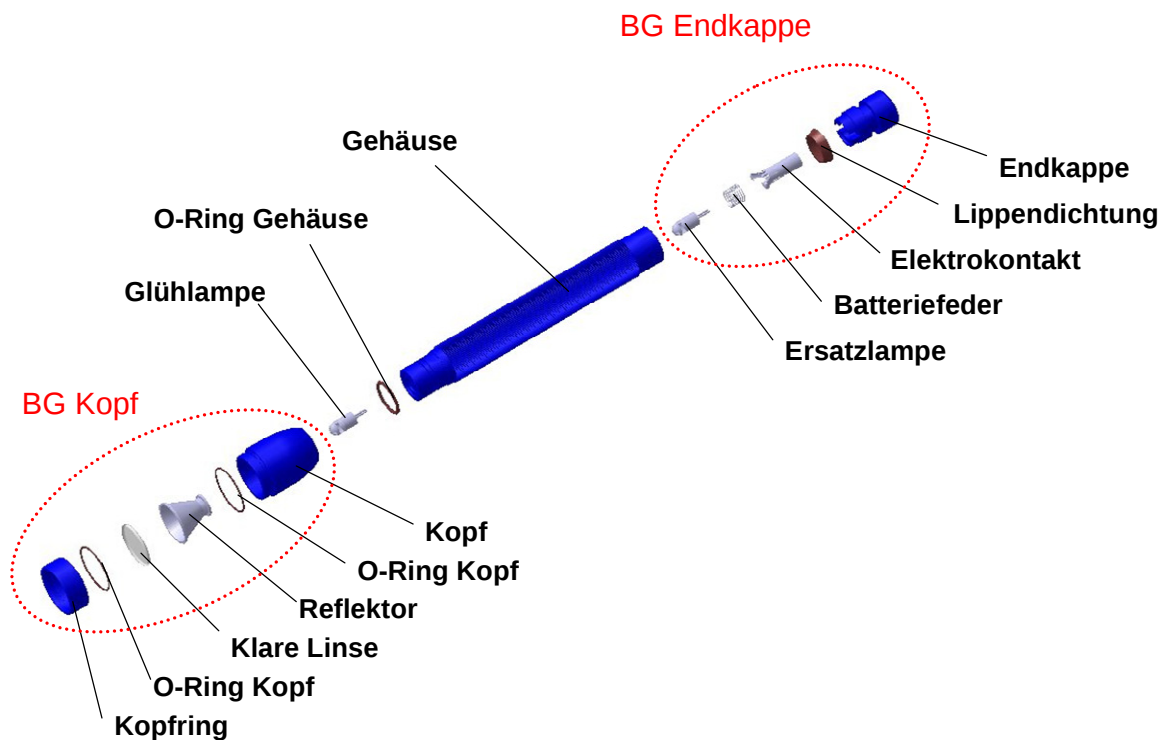


Abbildung 6-5: Komponenten der Taschenlampe

Die Montage der vier Varianten soll dabei weitestgehend manuell an Handarbeitsplätzen erfolgen, an denen die benötigten Komponenten bereitgestellt werden. Aufgrund der angestrebten Stückzahlen wird die Taschenlampe jedoch nicht vollständig an einem Arbeitsplatz montiert. Die beiden Baugruppen „Kopf“ und „Endkappe“ werden jeweils an einem separaten Arbeitsplatz vormontiert bevor die Endmontage an einem wiederum getrennten Arbeitsplatz erfolgt, an den die beiden vormontierten Baugruppen angeliefert werden. Nach Abschluss der Endmontage erfolgt eine Funktionsprüfung aller montierten Taschenlampen. Zur Erreichung der geplanten Stückzahlen werden in einer ersten Ausbaustufe neben einer Untergliederung der Montage in Vor- und Endmontage zwei parallele „Montagelinien“ benötigt. Da die geplanten Absatzmengen der beiden Varianten mit AAA-Batterie(n) in etwa denen der Taschenlampen mit AA-Batterien entsprechen, bietet es sich an, den Batteriegrößenunterschied auch bei der Zuordnung der Bauteile bzw. der vormontierten Baugruppen zu den jeweiligen Montagestationen zu berücksichtigen.

6.2.2 Produktentwicklung

Den ersten Schritt im Produktentstehungsprozess stellt der Entwurf bzw. die Konstruktion der Produktvarianten dar. Hierzu wird das Prinzip der generalisierten Produktstruktur bereits für die Erstellung der Bauteile bzw. Baugruppen im CAD-System CATIA V5 genutzt. Zu Beginn wird für die vier Varianten der Taschenlampe eine erste grobe generalisierte Produktstruktur erstellt. Diese bildet zum einen die Grundlage für die Konstruktion und Modellierung der einzelnen Bauteile. Zum anderen stellt die generalisierte Produktstruktur, die mit fortschreitender Entwicklung der Taschenlampenvarianten weiter detailliert wird, eine Orientierungshilfe für die am Entwicklungsprozess der Varianten beteiligten Konstrukteure dar. So lassen sich bereits bei der Konstruktion der Einzelteile sowohl potentiell für mehrere Produktvarianten nutzbare Teile schnell identifizieren als auch Unterschiede in den Taschenlampenvarianten einfach erkennen.

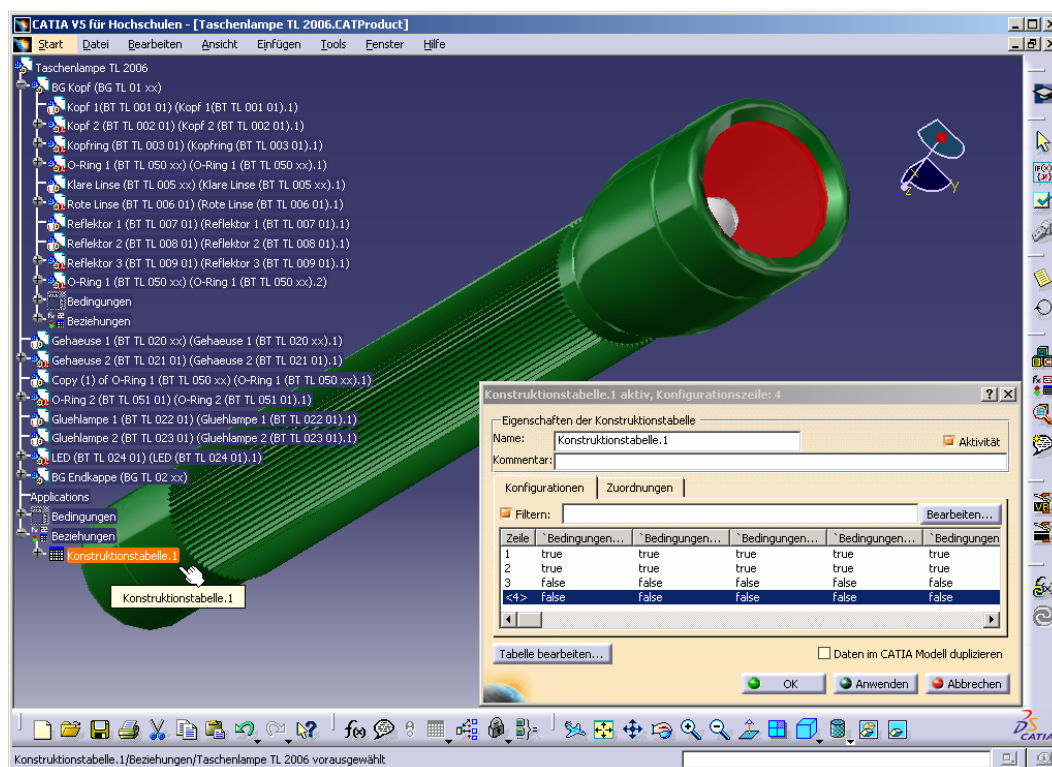


Abbildung 6-6: CAD-Variantenmodell der Taschenlampe

Für den Zusammenbau der Einzelteile wird für die beiden Baugruppen „Kopf“ und „Endkappe“ jeweils ein generalisiertes CAD-Modell mit einer eigenen Konstruktionstabelle erstellt. Die beiden generalisierten Baugruppen lassen sich auf diese Weise unabhängig vom Gesamtzusammenbau der Taschenlampenvarianten bearbeiten und verwalten. Zudem erlaubt die Erstellung vom Gesamtmodell unabhängiger Baugruppen deren Verwendung in etwaigen

anderen Produkten bzw. Produktvarianten sowie die Verteilung von Verantwortlichkeiten bei der Produktentwicklung. Im Gesamtzusammenbau (vgl. Abbildung 6-6), in dem durch das Konzept der generalisierten Produktstruktur die vier Taschenlampenvarianten in einem Produktmodell vereint sind, referenziert die übergeordnete Konstruktionstabelle auf die jeweilige Konstruktionstabelle der Kopf- bzw. Endkappenbaugruppe. Deren Konstruktionstabelle verweist bei generalisierten Bauteilen wiederum auf die Konstruktionstabelle dieser Bauteile. Hierdurch kann im Gesamtmodell die Geometrie jeder beliebigen Variante „aktiviert“ bzw. „deaktiviert“ werden, wenngleich die Unterbaugruppen unabhängig modelliert und erst nachträglich in das Modell eingefügt werden.

Für die Modellierung der Einzelteile ergeben sich gegenüber der Verwendung einer konventionellen Produktstruktur keine Unterschiede. Der Zusammenbau der Komponenten im CAD-Modell gestaltet sich jedoch unterschiedlich. Da das generalisierte Produktmodell alle Bauteile aller Varianten enthält, werden für jede Variante die nicht benötigten Bauteile bzw. Baugruppen deaktiviert. In CATIA V5 ist dies mit Hilfe des Attributs „Activity“, das jedes Konstruktionsobjekt besitzt, möglich. In der Konstruktionstabelle kann daher die Aktivität von Bauteilen oder vollständigen Baugruppen, die nur in bestimmten Varianten enthalten sind, auf „true“ oder „false“ gesetzt werden.

Zur lagerichtigen Positionierung der Bauteile und Baugruppen in einem generalisierten Produktmodell müssen die Elemente, die in verschiedenen Varianten unterschiedliche Positionen besitzen, mit Hilfe der Konstruktionstabelle ebenfalls variantenspezifisch positioniert werden. Für den Gesamtzusammenbau der Taschenlampenvarianten wird hierzu beispielsweise der Wert von Offset-Bedingungen zu einem Basisbauteil bzw. einer Basisbaugruppe in Abhängigkeit von der gewählten Variante in der Konstruktionstabelle hinterlegt. Durch die Definition von Zwangsbedingungen (Constraints) zwischen Bauteilen bzw. zwischen Bauteilen und Baugruppen lässt sich darüber hinaus der erforderliche Aufwand für die variantenabhängige Bauteilpositionierung auf ein Minimum reduzieren. Das heißt, wird ein Bauteil bzw. seine Position bereits beim Zusammenbau auf ein anderes Bauteil bezogen, ändert sich seine Lage im Produktmodell automatisch mit der des anderen Bauteils. Hierbei müssen jedoch in der Regel bei Aktivierung bzw. Deaktivierung von Bauteilen und Baugruppen variantenabhängig die Zwangsbedingungen zwischen diesen Elementen ebenfalls aktiviert bzw. deaktiviert werden.

Gegenüber dem Aufbau einer für jede Variante getrennten konventionellen Produktstruktur lassen sich durch den Aufbau eines generalisierten Produktmodells, das alle Varianten in

einem Modell zusammenfasst, teilweise nicht unerhebliche Zeiteinsparungen beim Zusammenbau der Einzelteile und Baugruppen realisieren. Zeitvorteile machen sich dabei vor allem dann bemerkbar, wenn die Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten relativ gering sind.

6.2.3 Prozess- und Ressourcenplanung

Für die von der Produktentwicklung konstruierten vier Taschenlampenvarianten ist im nächsten Schritt die Montage zu planen. Hierzu wird die generalisierte Produktstruktur aus CATIA V5 eins-zu-eins in DPE übertragen. Da die aus der Konstruktion vorgegebene Produktstruktur bereits in einer für die Montageplanung geeigneten Form vorliegt, ist die Überführung der Konstruktions- in eine Fertigungs- bzw. Montagesückliste nicht erforderlich. Basierend auf der generalisierten Produktstruktur werden anschließend unter Zuhilfenahme der Entscheidungsknoten die zur Montage der vier Varianten erforderlichen Prozesse bzw. Prozessvarianten bestimmt und unter anderem durch die geschätzten Bearbeitungszeiten näher spezifiziert. Abbildung 6-7 zeigt den Gesamtprozessgraphen der Taschenlampenmontage sowie den Teilprozessgraphen der Vormontage der Endkappe.

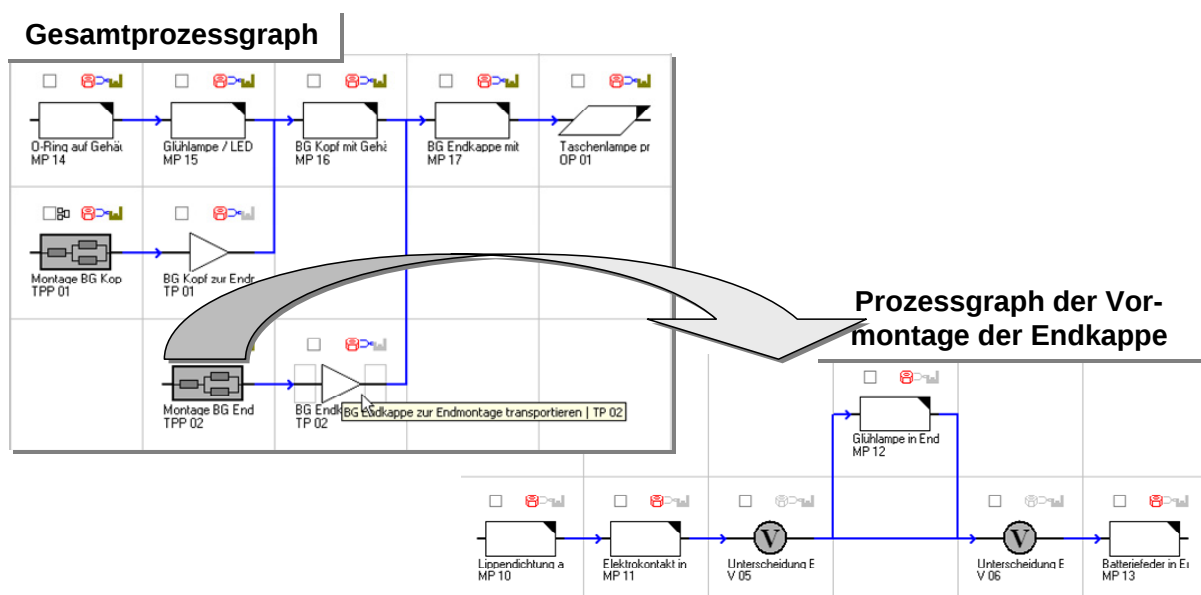


Abbildung 6-7: Gesamtprozessgraph und Teilprozessgraph der Vormontage der Endkappe

Zu berücksichtigende Prozessvarianten ergeben sich dabei nur im Rahmen der Vormontage der Baugruppen „Kopf“ und „Endkappe“. In der Endmontage der Taschenlampenvarianten können produktvarianten-induzierte Prozessvarianten aufgrund weitestgehend identischer Montage- und Transportprozesse der Produktvarianten vernachlässigt werden. Produktvarian-

ten-neutrale ebenso wie auf den Lebenszyklus der Montageeinrichtung bezogene Prozessvarianten sind innerhalb dieses Szenarios nicht vorhanden.

Im nächsten Schritt wird das Fertigungskonzept automatisch aus dem Prozessgraphen erstellt, indem den Prozesselementen entsprechende Ressourcenelemente zugewiesen werden. Nach der Zusammenfassung von Ressourcen sowie durch das Einfügen zusätzlicher paralleler Ressourcen für die Montagetätigkeiten entsteht das Fertigungskonzept der Taschenlampenmontage, das in Abbildung 6-8 dargestellt ist. Über die Eingabe spezifischer Informationen wie der Verfügbarkeit oder des MTTR-Wertes werden die Ressourcen im Folgenden näher spezifiziert.

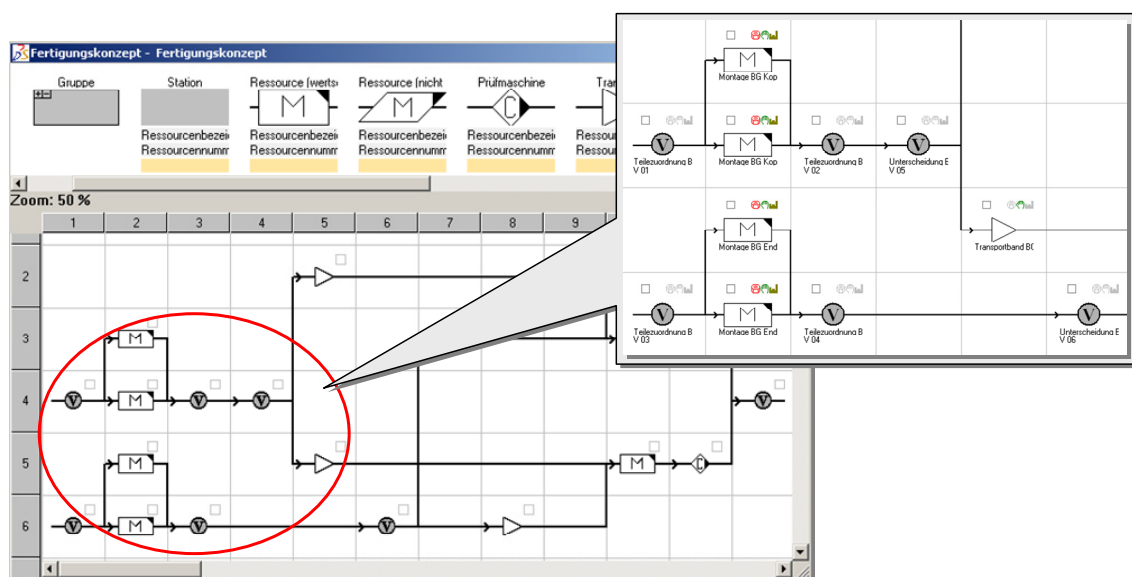


Abbildung 6-8: Fertigungskonzept der Taschenlampenmontage

Wie im Abschnitt 6.2.1 bereits erwähnt, macht die geforderte Ausbringungsmenge der Montage eine Parallelisierung der beiden Vormontagen (vgl. Abbildung 6-8) sowie der Endmontage und der nachgeschalteten Qualitätsprüfung unumgänglich. Da auf den beiden parallelen Arbeitsplätzen jeweils unterschiedliche Varianten der Taschenlampe montiert werden, erfolgt ihre Unterscheidung im Fertigungskonzept durch produktvarianten-induzierte Entscheidungsknoten. Auch im Fertigungskonzept sind keine produktvarianten-neutralen bzw. auf den Lebenszyklus der Montageeinrichtung bezogenen Varianten zu berücksichtigen.

Durch die Zuweisung von 3D-Elementen aus einer Standardressourcenbibliothek zu den Ressourcenelementen im Fertigungskonzept kann darüber hinaus ein erstes Groblayout der Montage erstellt werden, das in Abbildung 6-9 zu sehen ist.

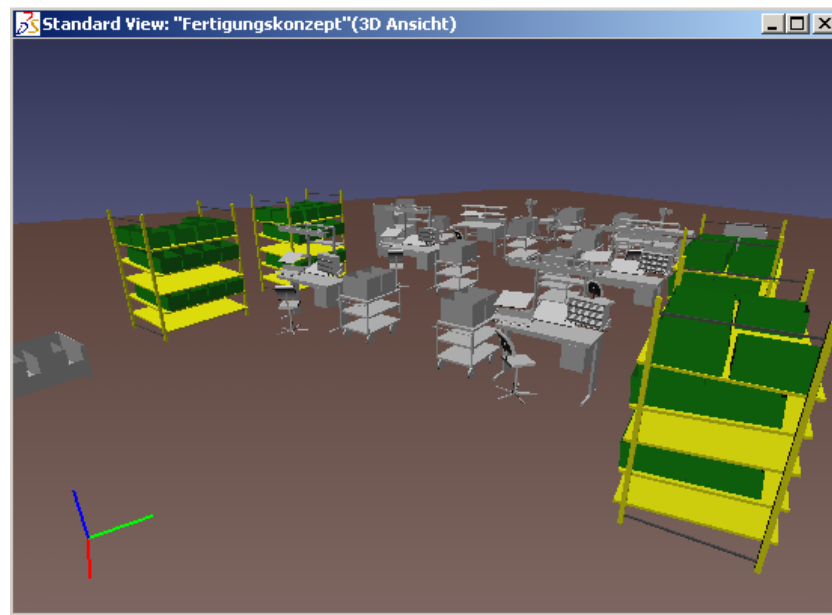


Abbildung 6-9: Groblayout der Taschenlampenmontage

6.2.4 Aufbau des Simulationsmodells

Auf der Basis des DPE-Fertigungskonzepts wird abschließend das Simulationsmodell für die Montage der vier Taschenlampenvarianten in eM-Plant (teilautomatisiert) erstellt. Mit Ausnahme der Entscheidungsknoten wird dabei für jedes Ressourcenelement im Fertigungskonzept ein entsprechendes Materialflusselement im Simulationsmodell erzeugt. Die Bearbeitungs- bzw. Durchlaufzeiten der Materialflussobjekte (Montagearbeitsplatz, Transporteinrichtung) ergeben sich aus den Prozesszeiten der mit den zugehörigen Ressourcenelementen im Fertigungskonzept verknüpften Prozesse.

Die für die Simulation benötigte Steuerungslogik wird nach dem vorgestellten Transformationsalgorithmus auf der Grundlage der Entscheidungsknotenpaare im Fertigungskonzept in eine Flusssteuerung mit zugehörigem Methodenbaustein übersetzt. Da im Fertigungskonzept keine Quellen und Senken vorhanden sind, werden diese über eine Methode im Simulationsmodell nachträglich automatisch hinzugefügt. Darüber hinaus werden die durch die Quellen zu erzeugenden Fördergüter, die entsprechend ihres Namens von den Flusssteuerungen an die einzelnen Montagearbeitsplätze und Transporteinrichtungen verteilt werden, über eine Tabelle der jeweiligen Quelle zugeordnet. Abbildung 6-10 zeigt das Simulationsmodell der Taschenlampenmontage, in dem die vier Produktvarianten berücksichtigt sind.

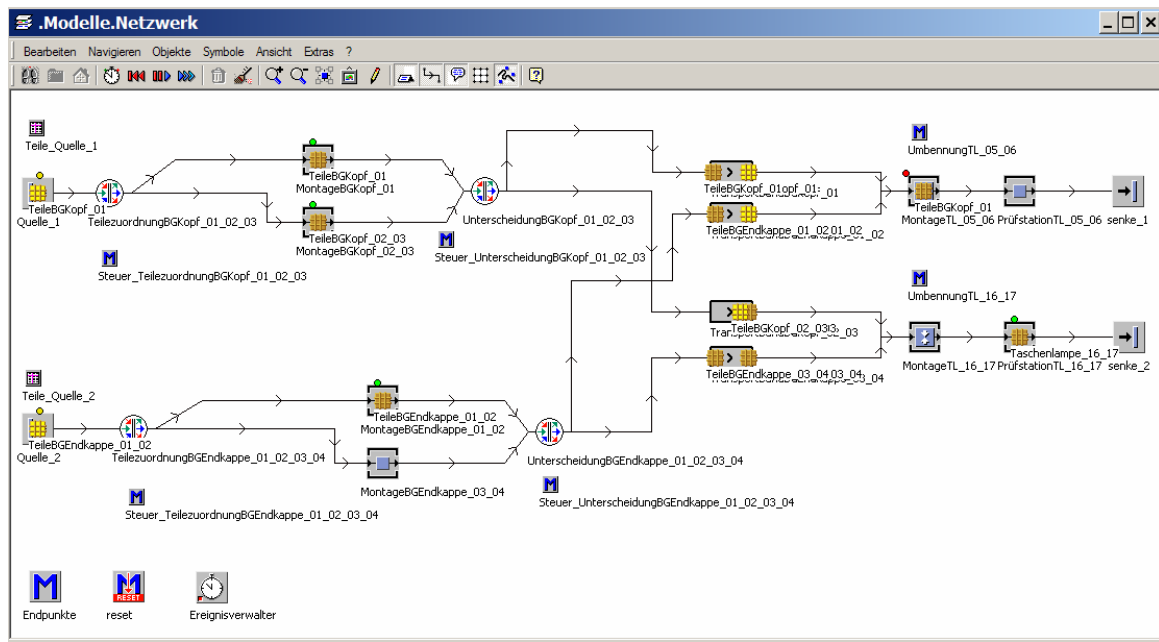


Abbildung 6-10: Simulationsmodell der Taschenlampenmontage

Mit Hilfe des Simulationsmodells kann neben einer ersten Validierung der geplanten Montage diese aus Materialflussgesichtspunkten noch weiter optimiert werden. So können beispielsweise die Auswirkungen einer längeren Störung an einem Montagearbeitsplatz auf die gesamte Montage analysiert oder alternative Steuerungsstrategien für die Aufteilung der vormontierten Baugruppen zu den Endmontagearbeitsplätzen getestet werden.

Gegenüber der konventionellen Vorgehensweise, ein Simulationsmodell auf der Grundlage eines groben Layouts und entsprechender Tabellen mit Zeit- und Verfügbarkeitsinformationen für die jeweiligen Ressourcen zu erstellen, lässt sich durch die oben beschriebene Vorgehensweise neben der Sicherstellung der Qualität des Simulationsmodells aufgrund aktueller Planungsdaten eine signifikante Zeitersparnis erreichen. So beträgt der Zeitaufwand für die Datenbeschaffung und den Modellaufbau bei einer Simulationsstudie im Durchschnitt fast 50% [Wutt00]. Zum einen sind bei der Nutzung der im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Entscheidungsknoten im Fertigungskonzept alle bei der Modellerstellung benötigten Informationen enthalten, so dass diese nicht erst aus den unterschiedlichsten Informationsquellen zusammengetragen werden müssen, sondern sowohl bei einem automatisierten als auch bei einem manuellen Aufbau des Simulationsmodells direkt übernommen werden können. Zum anderen lässt sich der für die Modellerstellung benötigte Zeitaufwand durch die (teil)automatisierte Generierung des Simulationsmodells deutlich verkürzen, indem der Simulationsexperte von „Routinetätigkeiten“ entlastet wird. Auf der Grundlage eines ersten automatisiert erstellten, detaillierten Simulationsmodells kann dieses im Folgenden bezüglich

der durch die Simulationsstudie zu beantwortenden Fragestellung(en) nutzerspezifisch erweitert werden.

6.3 Bewertung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das erarbeitete Konzept zur Berücksichtigung von Varianten im Rahmen der Technischen Produktionsplanung eine sinnvolle Erweiterung der bestehenden Planungsansätze, bei denen gerade eine Berücksichtigung von Prozess- und Resourcevarianten bisher nur unzureichend möglich war, darstellt. Die beiden Szenarien, die aus ganz unterschiedlichen Bereichen ausgewählt worden sind, zeigen zudem, dass der vorgestellte Ansatz keineswegs nur auf einen spezifischen Anwendungsfall beschränkt ist, sondern unabhängig vom zu betrachtenden Produkt in der Technischen Produktionsplanung anwendbar ist.

Wie Szenario 1 („LKW-Rohbaugruppe“) belegt, können mit Hilfe des generischen Variantenelements zur Darstellung von Prozess- und Resourcevarianten sowie mittels der beiden Logistikelemente beliebig komplexe Zusammenhänge zwischen Prozessen- bzw. Prozessvarianten sowie zwischen Ressourcen bzw. Resourcevarianten dargestellt und geplant werden. Die für die Planung benötigte generalisierte Fertigungs- oder Montagestückliste kann dabei ohne Schwierigkeiten aus einer generalisierten Konstruktionsstückliste abgeleitet werden. Nachträgliche Modifikationen an einer generalisierten Produktstruktur sind problemlos möglich.

Die Erstellung eines eindeutigen und leicht verständlichen Prozessgraphen bzw. Fertigungskonzepts wird durch die eingeführten Entscheidungsknoten in der Prozess- und Ressourcensicht deutlich begünstigt bzw. dadurch überhaupt erst möglich. Durch die Vielzahl der im Szenario 1 zu berücksichtigenden Prozess- und Resourcevarianten tritt vereinzelt der Spezialfall auf, dass ein produktvarianten-induzierter und ein produktvarianten-neutraler Entscheidungsknoten an der gleichen Stelle im Prozessgraphen bzw. im Fertigungskonzept verwendet werden müssten, was jedoch nicht möglich ist. Für diesen Fall lässt sich die einfache Regel ableiten, dass das produktvarianten-neutrale Variantenelement „dominiert“, da die Berücksichtigung der Produktvarianten nicht ausschließlich durch die Entscheidungsknoten, sondern darüber hinaus über die Zuordnung der Produkte zu den Prozessen erfolgen kann.

Das zweite Praxisszenario „Taschenlampenmontage“ bestätigt zudem, dass das entwickelte Variantenmanagementkonzept bereits beginnend bei der Produktentwicklung über die Planung der für die Montage erforderlichen Tätigkeiten sowie der hierzu benötigten Einrichtungen und Betriebsmittel bis hin zum Aufbau eines Simulationsmodells durchgängig anwendbar ist. Im Bereich der Materialflusssimulation erlaubt der beschriebene Ansatz eine Verknüpfung zwischen Fertigungskonzept und Simulationsmodell, bei der die Ablauflogik explizit mit berücksichtigt werden kann. Der XML-Export aus den verschiedenen Planungswerkzeugen in dem für die automatische Simulationsmodellgenerierung definierten Format stellt in diesem Zusammenhang noch ein zukünftiges Handlungsfeld dar.

Für einen effektiven Einsatz des vorgestellten Variantenmanagementkonzepts in der industriellen Praxis ist die Benutzerfreundlichkeit der prototypischen Konzeptimplementierung auch in Verbindung mit einer generellen Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit der Planungswerkzeuge noch weiter zu verbessern. Für den Aufbau der Produktstruktur bietet es sich in diesem Zusammenhang beispielsweise an, entsprechende Informationen aus übergeordneten Hierarchieebenen automatisiert an die darunter liegenden Ebenen zu übertragen. Hierdurch kann neben einer Beschleunigung der Planungsabläufe auch dem Auftreten von Planungsfehlern entgegengewirkt werden. Ferner sind die Möglichkeiten der Filterung von Informationen zur Reduzierung der Planungskomplexität zu erweitern.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung der Arbeit

Im Zuge eines verschärften Wettbewerbs innerhalb der globalen Märkte sowie durch die kontinuierlich wachsenden Anforderungen der Kunden an individuell konfigurierbare Produkte steht die produzierende Industrie mehr denn je vor der Herausforderung, eine Vielzahl an Produktvarianten anbieten und deren Herstellung koordinieren zu müssen. Oftmals lässt sich nur durch ein breit gefächertes Angebot an Varianten, wenngleich auch zu beachten ist, dass deren Anzahl nicht die vom Kunden geforderte und von ihm abgenommene Vielfalt übersteigt, die Konkurrenzfähigkeit eines Unternehmens sicherstellen.

Neben der Entwicklung und Konstruktion der vom Markt geforderten Produktvarianten kommt für die Beherrschung der unvermeidbaren Variantenvielfalt insbesondere der Technischen Produktionsplanung eine entscheidende Bedeutung zu. Bereits in der Planung der zur Herstellung eines Produktes erforderlichen Fertigungs- und Montageprozesse sowie der hierzu benötigten Betriebsmittel werden die Weichen für die spätere Produktion der Produktvarianten gestellt. Dabei sind jedoch neben der Varianz in den Produkten, zu deren Vermeidung und Beherrschung bereits vielfältige Ansätze aus den Bereichen Produktentwicklung und Betriebswirtschaftslehre vorhanden sind, auch Prozess- und Ressourcevarianten zu berücksichtigen.

Durch die zunehmende IT-Unterstützung gerade im Bereich der Technischen Produktionsplanung und durch die dadurch unterstützte Handhabung der Planungskomplexität bietet sich in diesem Zusammenhang erstmals die Möglichkeit, alle relevanten Varianten (Produkt-, Prozess- und Ressourcevarianten) bei der Planung der Produktionseinrichtungen zu berücksichtigen. Hierdurch lässt sich neben einer Reduzierung des Planungsaufwandes vor allem auch die Planungsqualität erhöhen, da bereits frühzeitig etwaige Varianten in die Planung mit einbezogen werden können.

Neben der generellen Berücksichtigung von Prozess- und Ressourcevarianten fehlt es aus der Sicht der Technischen Produktionsplanung an einem durchgängigen Variantenmanagementkonzept von der Produktentwicklung bis hin zur Produktion. Darüber hinaus ist es gerade für

die Beherrschung der (unvermeidbaren) Varianz innerhalb der Produktion erforderlich, die Potentiale moderner Planungswerkzeuge innerhalb eines Variantenmanagementkonzepts noch stärker als bisher zu nutzen. Daher wird in der vorliegenden Arbeit im Anschluss an eine Analyse der aktuellen Situation in der Technischen Produktionsplanung, der bestehenden Lösungen der Digitalen Fabrik sowie des aktuellen Standes von Technik und Forschung bezüglich der Vermeidung und Beherrschung von Varianten ein durchgängiges Variantenmanagementkonzept für die Technische Produktionsplanung erarbeitet und vorgestellt. Dieser Ansatz basiert auf einem 3-Ebenen-Konzept, im Rahmen dessen die IT-Unterstützung bei der Variantenplanung sukzessive erweitert und für ausgesuchte Planungswerkzeuge eine prototypische Implementierung realisiert wird. Hiermit wird zum einen durch die Grundkonzeptebene der Tatsache Rechnung getragen, dass kleine und mittlere Unternehmen ihre Produktionsabläufe noch weitestgehend ohne moderne IT-Werkzeuge planen. Zum anderen berücksichtigt das 3-Ebenen-Konzept, dass gerade in den Unternehmen, die bei der Einführung digitaler Planungswerkzeuge eine Vorreiterfunktion übernehmen, noch eine weitestgehend inhomogene IT-Landschaft vorliegt.

Zur vollständigen Berücksichtigung von Produktvarianten sowohl in der Technischen Produktionsplanung als auch bereits in der Konstruktion wird eine neue Art der Produktstrukturierung in Form einer generalisierten Produktstruktur, die alle relevanten Varianten in einem Modell zusammenfasst, vorgestellt. Durch die Erweiterung des generalisierten Produktmodells mit Fertigungs- und Assembly Features wird es darüber hinaus möglich, eine bidirektionale Verknüpfung zwischen Produktentwicklung und Prozessplanung herzustellen. Zur Darstellung von Prozess- und Ressourcevarianten dient ein generischer Variantenbaustein. Mit Hilfe dieses Bausteins wird es möglich, neben produktvarianten-induzierten Prozess- und Ressourcevarianten auch solche Varianten bei der Planung zu berücksichtigen, die unabhängig von einer bestimmten Produktvariante auftreten oder im Speziellen verschiedene Ausbaustufen eines Produktionssystems beschreiben. In Verbindung mit dem generischen Variantenbaustein erlaubt die Definition von zwei generischen Logistikelementen darüber hinaus, die für den Aufbau eines Ablaufsimulationsmodells benötigte Steuerungslogik in der Prozess- und/oder Ressourcenicht zu hinterlegen. Hierdurch wird ein (teil-)automatisierter Aufbau eines Simulationsmodells auf der Grundlage der Planungsergebnisse erreicht, womit sich das entwickelte Variantenmanagementkonzept auch auf nachgelagerte Planungsbereiche übertragen lässt.

Der vorgestellte Ansatz wird anschließend anhand zweier Praxisszenarien getestet, wodurch seine Anwendbarkeit evaluiert und bestätigt wird. Neben der durchgängigen Nutzung des Konzepts ist es ebenfalls möglich, dass nur einzelne Konzeptbausteine innerhalb des Produkt- und Produktionsentstehungsprozesses Anwendung finden. So lassen sich beispielsweise das generische Variantenelement bzw. die beiden generischen Logistikelemente losgelöst von einer generalisierten Produktbeschreibung nutzen. Auf der einen Seite kann hierdurch das Potential, das der Ansatz als Ganzes liefert, nicht voll ausgeschöpft werden. Auf der anderen Seite macht gerade die Möglichkeit, die verschiedenen Konzeptbausteine unabhängig voneinander nutzen zu können, den Ansatz in nahezu allen Bereichen flexibel einsetzbar und erlaubt seine stufenweise Einführung innerhalb der Technischen Produktionsplanung.

Mit Hilfe des entwickelten Variantenmanagementkonzepts kann eine beliebige Anzahl an Varianten unterschieden und berücksichtigt werden, unabhängig davon, wie groß oder klein sich ihre Unterschiede darstellen. Dieser Aspekt ist vor allem deshalb von Bedeutung, weil bei einer Planung immer wieder die Frage aufgeworfen wird, inwieweit und in welchem Umfang die Berücksichtigung von Varianten für die gestellte Aufgabe sinnvoll erscheint, um die Komplexität nicht unnötig zu erhöhen. Für einen vollständigen praxistauglichen Einsatz des vorgestellten Ansatzes sind die Funktionalitäten innerhalb der Implementierung sowie die Benutzerfreundlichkeit sowohl die der prototypischen Implementierung als auch die der Planungswerkzeuge selbst noch zu erhöhen. Abhängig von der innerhalb eines Unternehmens eingesetzten Planungssoftware ist die Konzeptimplementierung für den Praxiseinsatz darüber hinaus an unternehmensspezifische Modifikationen der Standardfunktionalitäten dieser Werkzeuge bzw. an bisher nicht berücksichtigte Softwarelösungen anzupassen.

7.2 Ansätze für weitere Forschungsaktivitäten

Betrachtet man das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Konzept zur Integration eines durchgängigen Variantenmanagements in die Technische Produktionsplanung als Ausgangspunkt für die Beherrschung von Varianten in der Digitalen Fabrik, so liefern im Besonderen die beiden Bereiche „IT-Konzept“ und „Implementierung“ Ansätze für weitere Forschungsaktivitäten.

Innerhalb des IT-Konzepts besteht für die Themen Workflow-Unterstützung und Datenmanagement ein zentraler Handlungsbedarf für zukünftige Aktivitäten. Einhergehend mit der

Beherrschung und Reduzierung der Komplexität innerhalb der Planungsabläufe und der Benutzerfreundlichkeit der Planungswerkzeuge kann zur Vereinfachung und Verbesserung der Planungsabläufe eine unternehmensspezifisch angepasste Ablauforganisation einen entscheidenden Beitrag leisten. Hierzu ist es erforderlich, sowohl den Planungsprozess als Ganzes als auch im Speziellen die Vorgehensweise bei der Variantenplanung näher zu spezifizieren und die Planer bei der schrittweisen Abarbeitung dieser Aufgaben durch geeignete Werkzeuge zu unterstützen. Zur Vermeidung von Informationsverlusten an der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Technischer Produktionsplanung stellt eine einheitliche Datenbasis für Produktentwicklung und Technische Produktionsplanung, in der sowohl Produkt- als auch Prozess- und Ressourcevarianten archiviert werden können, eine viel versprechende Lösungsalternative zu den verschiedensten Möglichkeiten des Datenaustauschs dar. Wenngleich von Seiten der Softwareanbieter bereits erste Überlegungen hinsichtlich einer einheitlichen Datenbasis für den Produkt- und Produktionsentstehungsprozess existieren, ist eine erste praxistaugliche Lösung mittelfristig jedoch noch nicht in Sicht.

Im Bereich des IT-Konzepts liefert darüber hinaus die Übergabe der Varianteninformationen aus der Technischen Produktionsplanung an die nachgelagerten Bereiche der Planung und Steuerung der Produktion einen Ansatzpunkt für weitere Forschungsaktivitäten. In diesem Zusammenhang stellt neben der Verknüpfung der Prozessplanung mit der Ablaufsimulation oder der Layoutplanung die Verknüpfung mit der Robotersimulation und möglicherweise auch mit der Prozesssimulation eine sinnvolle Erweiterung des Konzepts dar. Neben konzeptionellen Überlegungen darüber, wie und in welcher Form Varianten auch in anderen Planungsbereichen berücksichtigt werden können, bildet die Umsetzung der zu entwickelnden Konzepte einen weiteren wichtigen Aspekt. Um die Planungsdaten für den laufenden Betrieb der Produktion nutzen zu können bzw. diese bei Änderungen an der realen Anlage aktualisieren zu können, erscheint es zweckmäßig, den vorgestellten Variantenmanagementansatz auch auf den Bereich der PPS-Systeme zu übertragen bzw. in diese Systeme zu integrieren. Darüber hinaus sind zukünftig die Funktionalitäten und die Benutzerfreundlichkeit der verschiedenen Softwarewerkzeuge noch zu erweitern bzw. zu verbessern. Im Rahmen der Implementierung des vorgestellten Variantenmanagementkonzepts liefert seine Übertragung auf Prozesszeiten sowie auf die Verknüpfungen zwischen Produkten und Prozessen bzw. Ressourcen weitere Potentiale.

Unabhängig vom Themenkomplex des Variantenmanagements in der Technischen Produktionsplanung bietet, wie bereits im Abschnitt 2.3 erläutert, eine adäquate IT-Unterstützung der

Planungsaktivitäten bei kleinen und mittleren Unternehmen einen weiteren Ansatz für zukünftige Forschungsaktivitäten.

Quellenverzeichnis

Literatur

- [Amme85] Ammer, E.-D.: Rechnerunterstützte Planung von Montageablaufstrukturen für Erzeugnisse der Serienfertigung, Dissertation, Springer-Verlag, Berlin, 1985.
- [AvBB06] Avgoustinov, N.; Bossmann, M.; Bley, H.: Approaches and Methods for Supporting the Assembly Planning by Means of Features and their Influence on the Development Process, in: Proceedings of the 39th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Ljubljana, Slovenia, 2006.
- [AWF68] N.N.: Handbuch der Arbeitsvorbereitung, Teil 1: Arbeitsplanung, Hrsg.: Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung (AWF) e.V. / Rationalisierungskuratorium der Deutschen Wirtschaft (RKW) e.V., Beuth Verlag, Berlin, 1968.
- [BäHa03a] Bär, T.; Haasis, S.: Steps towards the Digital Factory, in: Proceedings of the 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Saarbrücken, Germany, 2003, S. 171-175.
- [BäHa03b] Bär, T.; Haasis, S.: Prozessplanung, Produktionsmodellierung und -simulation – ein Überblick, in: Bayer, J., Collisi, T. Wenzel, S., Simulation in der Automobilproduktion, Springer-Verlag, Berlin, 2003, S. 151-163.
- [Bär98] Bär, T.: Einsatz der Feature-Technologie für die Integration von Berechnungen in die frühen Phasen des Konstruktionsprozesses, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 15, Dissertation, Saarbrücken, 1998.
- [Bart95] Bartuschat, M.: Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der Serienfertigung, Dissertation, Technische Universität Braunschweig, Vulkan-Verlag, 1995.
- [Bern05] Bernardi, M.: Gestaltung eines mechatronikorientierten Entwicklungsprozesses für mobile Arbeitsmaschinen und des dazugehörigen Entwicklungsumfeldes, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 32, Dissertation, Saarbrücken, 2005.
-

-
- [BlAF02] Bley, H.; Avgoustinov, N.; Franke, C.: Towards Feature-based Intelligent Assembly, in: Production Engineering IX/1, 2002, S. 97-100.
- [BlBo05] Bley, H.; Bossmann, M.: Standardisierte Produktmodelle für die automatisierte Montageplanung – Featurebasierte Montageplanung unterstützt den Simultaneous Engineering-Prozess, in: wt Werkstattstechnik 95 (2005) H. 9, S. 627-631.
- [BlBo06] Bley, H.; Bossmann, M.: Automated Assembly Planning Based on Skeleton Modelling Strategy, in: Precision Assembly Technologies for Mini and Micro Products, IFIP International Federation for Information Processing, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2006, S. 121-131.
- [Bley05] Bley, H.: Vorlesungsumdrucke zur Vorlesung „Grundlagen der technischen Produktionsplanung I“, Universität des Saarlandes, 2005.
- [BlFo94] Bley, H.; Fox, M.: Entwicklung eines featurebasierten Konzepts zur Montageplanung, in: VDI-Berichte 1171, Serienfertigung feinwerktechnischer Produkte - von der Produktplanung bis zum Recycling, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1994, S.231-250.
- [BlFr01] Bley, H.; Franke, C.: Assembly System Design Based on Automated Process Modeling, in: CIRP Journal of Manufacturing Systems, Vol. 32 (2003), No 1, 2003.
- [BlFW00] Bley, H.; Franke, C.; Wuttke, C.C.: Solving the Information Management Problem in the Digital Factory, in: Proceedings of the 33rd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Stockholm, Sweden, 2000, S. 357-362.
- [BlFZ03] Bley, H.; Franke, C.; Zenner, C.: Integrated Data Management and Variant Management – Milestones on the Way to the Digital Factory, in: Production Engineering, Volume X/1 (2003), Annals of the German Academic Society for Production Engineering, 2003, S. 105-108.
- [BlFZ04a] Bley, H.; Franke, C.; Zenner, C.: Integration of Product Design and Assembly Planning By the Use of Assembly Features, in: Proceedings of the 4th CIRP International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, Sorrento, Italia, 2004, S. 319-324.
-

- [BlFZ04b] Bley, H.; Franke, C.; Zenner, C.: The User as the Main Focus for the Actual Realization of the Digital Factory, in: Proceedings of the International Conference on Competitive Manufacturing, Stellenbosch, South Africa, 2004, S. 337-342.
- [BlFZ05] Bley, H.; Franke, C.; Zenner, C.: Variant Management in Production Planning, in: CIRP Journal of Manufacturing Systems, Vol. 34 (2005), No 1, 2005, S. 1-8.
- [BlFZ06] Bley, H.; Fritz, J.; Zenner, C.: Die zwei Seiten der Digitalen Fabrik, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 101 (2006) 1-2, S. 19-23.
- [BlZe05a] Bley, H.; Zenner, C.: Handling of Process and Resource Variants in the Digital Factory, in: CIRP Journal of Manufacturing Systems, Vol. 34 (2005), No. 2, 2005, S. 187-194.
- [BlZe05b] Bley, H.; Zenner, C.: Coupling of Assembly Process Planning and Material Flow Simulation, in: Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning (ISATP 2005), Montréal, Canada, 2005.
- [BoSS97] Boutellier, R.; Schuh, G.; Seghezzi, H. D.: Industrielle Produktion und Kundennähe – ein Widerspruch?, in: Schuh, G.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Komplexität und Agilität. Steckt die Produktion in der Sackgasse?, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1997.
- [Bran05] Brandt, O.: Die Potenziale sind noch nicht ausgeschöpft – Permanente Rückkopplung bei idealer Vernetzung, in: Intelligenter produzieren 2005/1, VDMA Verlag GmbH, 2005, S. 18-19.
- [Broc89a] N.N.: dtv-Brockhaus-Lexikon, Band 6, Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 1989.
- [Broc89b] N.N.: dtv-Brockhaus-Lexikon, Band 19, Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 1989.
- [Broc03] Brockhoff, T.: Variantenmanagement von Produkt-, Prozess- und Ressourcinformationen im Rohbau mit Hilfe von digitalen Planungstools, Diplomarbeit, Fachhochschule Neu-Ulm, 2003.
-

-
- [BuKo05] Blumenau, J.-C.; Kotz, T.: Wandlungsfähigkeit auf Abruf – Bedarfsgerechte Gestaltung und Bewertung stückzahlflexibler Produktionssysteme für die Massenfertigung von Hochleistungserzeugnissen, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 100 (2005) 1-2, S. 42-46.
- [BuKW04] Blumenau, J.-C.; Kotz, T., Wuttke C.C.: Digital Factory vs. Lean Production Applied to Logistics- and Layout-Planning of Production Systems, in: Proceedings of the 37th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Budapest, Hungary, 2004, S. 35-41.
- [Bull86] Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Systematische Montageplanung – Handbuch für die Praxis, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1986.
- [ChMG05] Chaudron, V.; Martin, P.; Godot, X.: Assembly sequences: Planning and simulating assembly operations, in: Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning (ISATP 2005), Montréal, Canada, 2005.
- [CIRP04] CIRP: Wörterbuch der Fertigungstechnik III – Produktionssysteme, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2004.
- [CuPa00] Cuiper, R.; Patron, C.: Räumlich verteilte Montageplanung, in: newsletter iwfb, Jahrgang 8 – Nr. 3, 2000, S. 6.
- [DaWa97] Dangelmaier, W.; Warnecke, H.-J.: Fertigungslenkung – Planung und Steuerung des Ablaufs der diskreten Fertigung, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1997.
- [Delm03] N. N.: Administration, Benutzerhandbuch zum DELMIA Process Engineer, Version 5.12, DELMIA GmbH, Fellbach, 2003.
- [DoTB01] Dombrowski, U.; Tiedemann, H.; Bothe, T.: Auf dem Weg zur Digitalen Fabrik, in: Carolo-Wilhelmina 1/2001, S. 44-49.
-

-
- [DoTQ05] Dombrowski, U.; Tiedemann, H.; Quack, S.: Einführung der Digitalen Fabrik bei KMU – Eine Methodik zur Einführung des erforderlichen Wissens und der benötigten Planungswerkzeuge bei kleinen und mittelständischen Unternehmen, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 100 (2005) 1-2, S. 10-13.
- [Dowi02] Dowidat, A.: Delmia und Opel verwirklichen die Digitale Fabrik – 3D-Layouts für das neue Opel-Werk in Rüsselsheim, in: wt Werkstattstechnik online, 92 (2002) H. 4, 2002, S. 171-172.
- [Düra03] Dürand, D.: Virtuelle Feuertaufe, in: Wirtschaftswoche 18/2003, Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH, Düsseldorf, 2003.
- [Ehr195] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1995.
- [EiSt01] Eigner, M.; Stelzer, R.: Produktdatenmanagement-Systeme – Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2001.
- [ElKU05] ElMaraghy, H. A.; Kuzgunkaya, O.; Urbanic, R. J.: Manufacturing Systems Configuration Complexity, in: CIRP Annals, Vol. 54/1, 2005, S. 445-450.
- [Ever89] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik – Fertigung und Montage, VDI Verlag, Düsseldorf, 1989.
- [Ever97] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik – Arbeitsvorbereitung, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1997.
- [EvSc96] Eversheim, W.; Schuh, G.: Betriebshütte – Produktion und Management, Teil 1, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1996.
- [FlSL04] Fleischer, J.; Spath, D.; Lanza, G.: Quality Simulation for Fast Ramp Up, CIRP Journal of Manufacturing Systems, Vol. 33 (2004), No. 6, 2004.
- [Fran98] Franke, H.-J.: Produkt-Variantenvielfalt – Ursachen und Methoden zu ihrer Bewältigung, in: VDI (Hrsg.), Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte, VDI Berichte Nr. 1434, Düsseldorf, 1998, S. 1-13.
-

-
- [Fran03] Franke, C.: Feature-basierte Prozesskettenplanung in der Montage als Basis für die Integration von Simulationswerkzeugen in der Digitalen Fabrik, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 28, Dissertation, Saarbrücken, 2003.
- [FrFi98] Franke, H.-J.; Firchau N. L.: Zusammenfassender Zwischenbericht des Kalenderjahrs 1998 für das BMBF-Projekt „Methoden und Werkzeuge zur Kostenreduktion variantenreicher Produktspektren in der Einzel- und Kleinserienfertigung – EVAPRO“, Technische Universität Braunschweig, 1998.
- [FrFS01] Franke, H.-J.; Firchau N. L.; Steinebrunner, E.: Methodische Unterstützung für das Variantenmanagement, in: wt Werkstattstechnik, 91 (2001) H. 6, 2001, S. 301-303.
- [FrHH02] Franke, H.-J.; Hesselbach, J.; Huch, B.; Firchau N. L.: Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2002.
- [Frie89] Friedmann, T.: Integration von Produktentwicklung und Montageplanung durch neue, rechnerunterstützte Verfahren, Dissertation, Forschungsberichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe, Band 25, 1989.
- [Gair81] Gairola, A.: Montagegerechte Konstruktion, Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, 1981.
- [GeRe04] Geckler, D.; Rehnelt, C.: Die „Digitale Fabrik“ als neue Wissensdrehscheibe zwischen OEM und Zulieferer, in: Projektmanagement aktuell 1/2004, S. 26-30.
- [GlGR92] Glaser, H.; Geiger, W.; Rohde, V.: PPS – Produktionsplanung und -steuerung, Grundlagen – Konzepte – Anwendungen; Gabler Verlag, Wiesbaden, 1992.
- [Götz72] Götzke, H.: Netzplantechnik – Theorie und Praxis, Technik-Tabellen-Verlag, Darmstadt, 1972.
- [Hack89] Hackstein, R.: Produktionsplanung und -steuerung – ein Handbuch für die Betriebspraxis, VDI Verlag, Düsseldorf, 1989.
-

-
- [HeJW03] Hellmann, A.; Jessen, U.; Wenzel, S.: e-Services – a part of the “Digital Factory”, in: Proceedings of the 33th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Saarbrücken, Germany, 2003, S. 199-203.
- [HeMe03] Heisel, U., Meitzner, M.: Technische Wissensbibliothek zur Rekonfigurierung von Fertigungssystemen, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 98 (2003) 9, S. 418-420.
- [HeOM00] Hesselbach, J.; Oetzmann, A.; Menge, M.: Methods for Variant Management – A Database Application to Determine the Appropriate Tool, in: Proceedings of the 11th International DAAAM Symposium, Wien, Österreich, 2000, S. 179-180.
- [Herl90] Herlyn, W.J.: Zur Problematik der Abbildung variantenreicher Erzeugnisse in der Automobilindustrie, Dissertation, TU Braunschweig, 1990.
- [HoBJ95] van Holland, W.; Bronsvort, W. F.; Jansen, F. W.: Feature modelling for assembly, in: Straßer W. and Wahl F. M. (Hrsg.): Graphics and Robotics, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York, 1995, S. 131-148.
- [Holl97] van Holland, W.: Assembly Features in Modelling and Planning, PhD thesis, Technische Universiteit Delft, 1997.
- [HoLo02] Hon, K.K.B.; Lopez-Jaquez, F.J.: Configuration of Manufacturing Cells for Dynamic Manufacturing, in: Annals of the CIRP, Vol. 51/1, 2002, S. 391-394.
- [Jens03] Jensen, S.: Joint use of production databases in simulation applications – Simulation development in the transmission production, Delmia Europe User Conference, 2003.
- [JoKB03] Jovane, F.; Koren, Y.; Böer, C.R.: Present and Future of Flexible Automation: Towards New Paradigms, in: CIRP Annals 2003 Manufacturing Technology Vol. 52/2, 2003, S. 543-560.
- [Kief03] Kiefer, J.: Erarbeitung einer digitalen Planungsmethodik für den Bereich Rohbau im Geschäftsbereich Nutzfahrzeuge, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM der Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 2003.
-

-
- [Köhl04] Köhler, C.: Implementierung und Verifizierung einer Methodik zur Berücksichtigung von Varianten in der Produktionsplanung, Studienarbeit am Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM der Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 2004.
- [Korr02] Korreck, A.: Methodik zur markt- und kostenorientierten Variantenplanung, Dissertation, RWTH Aachen, Shaker Verlag, Aachen, 2002.
- [KrBB02] Krause, F.-L.; Baumann, R.; Böttge, U.; Jansen, H.; Kaufmann, U.; Ficiciyan, Y.: iViP – integrierte Virtuelle Produktentstehung, in: Krause, F.-L.; Tang, T.; Ahle U. (Hrsg.): Leitprojekt integrierte Virtuelle Produktentstehung – Abschlussbericht, 2002.
- [KrBJ01] Krause, F.-L.; Baumann, R.; Jansen, H.; Kaufmann, U.; Ziebeil, P.: Integrierte Virtuelle Produktentstehung (iViP), in: Krause, F.-L.; Tang, T.; Ahle U. (Hrsg.): Leitprojekt integrierte Virtuelle Produktentstehung – Fortschrittsbericht April 2001.
- [Krau05] Kraus, P. K.: Plattformstrategien – Realisierung einer varianz- und kostenoptimierten Wertschöpfung, Dissertation am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Meisenbach Verlag, Bamberg, 2005.
- [Kuhn02] Kuhn, A. (Hrsg.): Schneller Produktionsanlauf von Serienprodukten, Ergebnisbericht der Untersuchung “fast ramp-up”, Verlag Praxiswissen, Dortmund, 2002.
- [Linn02] Linner, S.: Virtual Process Creation – Bridging the Gap from Design to Manufacturing, in: Tagungsband der 6. Automobiltechnischen Konferenz 2002, 03./04. Juli, Berlin, 2002.
- [LiRI97] Lindemann, U.; Reinhart, G.; Irlinger, R.; Loferer, M.: Integrierte Gestaltung von Produkt und Produktionsmittel, Konferezenzeinzelbericht, in: VDI Berichte 1357, 1997, S. 161-182.
- [Löhr77] Löhr, H.-G.: Eine Planungsmethode für automatische Montagesysteme, Dissertation, IPA Forschung und Praxis, Krausskopf-Verlag GmbH, Mainz, 1977.
-

-
- [LoSc94] Lotter, B.; Schilling, W.: Manuelle Montage, VDI Verlag, Düsseldorf, 1994.
- [LuLi04] Luczak, H.; Liestmann, V.: Variantenmanagement für technische Dienstleistungen – Methoden und Werkzeuge des Variantenmanagements für technische Dienstleistungen, in: wt Werkstattstechnik online, 94 (2004) H. 7/8, 2004, S. 306-309.
- [Marc04] Marczinski, G.: Digitale Fabrik – anspruchsvolle Technologien sinnvoll einsetzen, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 99 (2004) 11, S. 666-669.
- [Meng01] Menge, M.: Ein Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der auftragsbezogenen Einzel- und Kleinserienfertigung komplexer Produkte, Dissertation, Universität Braunschweig, 2001.
- [Meng05a] Menges, R.: Frühzeitige Produktbeeinflussung und Prozessabsicherung – Die Digitale Fabrik ist der Schlüssel zum Erfolg, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 100 (2005) 1-2, S. 25-31.
- [Meng05b] Menges, R.: Maßstab für die Fertigung im 21. Jahrhundert – Alle Phasen des Produktlebenszyklus in die Unternehmensstrategie einbezogen, in: Intelligenter produzieren 2005/1, VDMA Verlag GmbH, 2005, S. 14-16.
- [Mert01] Mertens, P. (Hrsg.): Lexikon der Wirtschaftsinformatik, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2001.
- [Mitr60] Mitrofanov, S. P.: Wissenschaftliche Grundlagen der Gruppentechnologie, VEB Verlag Technik, Berlin, 1960.
- [MoVM03] Monostori, L.; Váncza, J.; Márkus, A.; Kádár, B.; Viharos, Zs.J.: Towards the Realization of Digital Enterprises, Proceedings of the 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Saarbrücken, Germany, 2003, S. 99-106.
- [Müll03] Müller, M.: Studie über den Einsatz von CAX-Werkzeugen in saarländischen Unternehmen, Studienarbeit am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD der Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 2003.
-

-
- [MüOl03] Mühlenbruch, H.; Olbrich, W.: Montagetechnologien zur Beherrschung der variantenreichen Serienfertigung – Ergebnisse des Verbundprojektes „Hochflexible Produktionsendstufe PEflex“, in: wt Werkstattstechnik online, 93 (2003) H. 3, 2003, S. 186-197.
- [ReBF02] Reinhart, G.; Baudisch, T.; Fusch, T.; Lanza, M.: Rechnergestützte Produkt-, Prozess- und Anlagenentwicklung, in: Tagungsband der 6. Automobiltechnischen Konferenz 2002, 03./04. Juli, Berlin, 2002.
- [ReDü00] Reinhart, G.; Dürrschmidt, S: Produkt und Produktion gemeinsam geplant, in: newsletter iw b, Jahrgang 8 – Nr. 3, 2000, S. 1-2.
- [ReKo02] Reinfelder, A.; Kotz, T.: 40 Prozent weniger Planungszeit, in: Automobilproduktion 5/2002, S. 34-36.
- [Röhr02] Röhrig, M.: Variantenbeherrschung in hochflexiblen Produktionsendstufen, Dissertation, Universität Hannover, 2002.
- [SaMH04] Sailer, B.; Monke, E.; Haasis, S.: Kundenneutrale Auftragsplanung – Neue Methoden der integrierten Produkt- und Prozessdokumentation, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 99 (2004) 1-2, S. 48-53.
- [Sche98] Scheer, A.-W.: Wirtschaftsinformatik – Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse, 2. Auflage, Studienausgabe, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1998.
- [Schi91] Schimke, E.: Montageplanung: Methoden, Fallbeispiele, Praxiserfahrung, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991.
- [Schi03] Schiweck, S.: Die digitale Fabrik bei Bosch, Foliensatz von Bosch im Rahmen des produktionstechnischen Kolloquiums, Ulm, 2003.
- [Schm03] Schmitz, C.: Digitale Produktionsplanung im Verbund mit Zulieferern dargestellt am Beispiel Rohbau, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM der Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 2003.
- [Scho89] Scholz, W.: Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen, Dissertation, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1989.
-

-
- [Schr03] Schraft, R. D.: Von der Vision zur Realität durch die Digitale Fabrik, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 98 (2003) 6, S. 268-269.
- [Schu88] Schuh, G.: Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten – Ein Beitrag zur systematischen Planung von Serienprodukten, Dissertation, RWTH Aachen, 1988.
- [ScSc01] Schuh, G.; Schwenk, U.: Produktkomplexität managen, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2001.
- [ScSe02] Schiller, E.; Seuffert, W.: Bis 2005 realisiert, in: Automobil-Produktion 2/2002, S. 20-30.
- [Seid98] Seidel, U. A.: Verfahren zur Generierung und Gestaltung von Montageablaufstrukturen komplexer Serienerzeugnisse, Dissertation, IPA-IAO Forschung und Praxis, Springer-Verlag, 1998.
- [Selk05] Selke, C.: Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung, Forschungsberichte iwb, Dissertation, Herbert Utz Verlag GmbH, München, 2005.
- [Shah91] Shah, J.J.: Conceptual Development of Form Features and Feature Modelers, in: Research in Engineering Design Vol. 2, Number 1, 1990.
- [Siem02] N. N.: Fabrik im Computer, in: Siemens Pictures of the Future, Herbst 2002.
- [SiGr03] Sihn, W.; Graupner, T.-D.; e-industrial Services for Manufacturing Systems: Differentiation Through Internet Services, in: Proceedings of the 33th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Saarbrücken, Germany, 2003, S. 205-208.
- [Stei05] Steinbach, M.: Systematische Gestaltung von Product-Service Systems – Integrierte Entwicklung von Product-Service Systems auf Basis der Lehre von Merkmalen und Eigenschaften, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 35, Dissertation, Saarbrücken, 2005.
- [Stie99] Stiegler, G.: Produktionsplanung und Produktionssysteme im Fahrzeugbau, Manz-Verlag Schulbuch, Wien, 1999.
-

-
- [TöHT02] Tönshoff, H. K.; Herzog, O.; Timm, I.J.; Woelk, P.-O.: Integrated Process Planning and Production Control Based on the Application of Intelligent Agents, in: Intelligent Computation in Manufacturing Engineering - 3, 2002, S. 135-140.
- [VDIn06] N.N.: Umrüsten in Rekordzeit prägt die Produktion von morgen, in: VDI nachrichten, Nr. 2, 2006, S. 12.
- [Viel05] Vielhaber, M.: Assembly Oriented Design – Zusammenbauorientiertes Konstruieren im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie am besonderen Beispiel des Karosserierohbaus, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 34, Dissertation, Saarbrücken, 2005.
- [VoSc04] Vollmer, L.; Schlörke, S: Variantenwertströme als Navigator für die Fabrikplanung, in: wt Werkstattstechnik online, 94 (2004) H. 4, 2004, S. 128-131.
- [Warn93] Warnecke, H.-J.: Revolution der Unternehmenskultur – Das Fraktale Unternehmen, Springer-Verlag, Berlin, New York, 1993.
- [Warn95] Warnecke H.-J.: Der Produktionsbetrieb 1 – Organisation, Produkt, Planung, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1995.
- [WeBK03] Westkämper, E.; Bierschenk, S.; Kuhlmann, T.: Digitale Fabrik – nur was für die Großen?, in: wt Werkstattstechnik online, 93 (2003) H. 1/2, 2003, S. 22-26.
- [WeJR03] Westkämper, E.; Jovanoski, D.; Rist T.: New Framework for Digital Factory Planning, in: Proceedings of the 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Saarbrücken, Germany, 2003, S. 191-198.
- [West05] Westkämper, E.: Mächtige Hilfsmittel stehen bereit – Chancen der deutschen Produktionstechnik: Veränderungen schneller und präziser erreichen, in: Intelligenter produzieren 2005/1, VDMA Verlag GmbH, 2005, S. 11-13.
- [Wien05] Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure, 5. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2005
- [WiGK04] Wiendahl, H.-P.; Gerst, D.; Keunecke, L.: Variantenbeherrschung in der Montage. Konzepte und Praxis der flexiblen Produktionsendstufe, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2004.
-

-
- [WiHe04] Wiendahl, H.-P.; Heger, C. L.: Changeability of Factories – A Prerequisite for Global Competitiveness, in: Proceedings of the 37th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Budapest, Hungary, 2004, S. 1-9.
- [Wöhe96] Wöhe, G.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 19. Auflage, Vahlen Verlag, München, 1996.
- [WoLe01] Won, Y.K.; Lee, K.C.: Group technology cell formation considering operation sequences and production volumes, in: International Journal Production Research, Vol. 39, No. 13, 2001, S. 2755-2768.
- [Wutt00] Wuttke, C.C.: Mehrfachnutzung von Simulationsmodellen in der Produktionslogistik, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 20, Dissertation, Saarbrücken, 2000.
- [ZäCS05] Zäh, M. F.; Carnevale, M.; Schack, R.; Müller, S.: Methode zur Umsetzung der Digitalen Fabrik in der Luftfahrtindustrie, in: Industrie Management 21 (2005), S. 15-18.
- [ZäFN04] Zäh, M. F.; Fusch, T.; Neise, P.: Integrative Fabrikplanung mit virtuellen Produktionsmodellen, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 99 (2004) 1-2, S. 54-57.
- [ZäMW04] Zäh, M. F.; Munzert, U.; Wunsch, G.: Simulation von Montageanlagen in der Automobilindustrie, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 99 (2004) 1-2, S. 18-21.
- [ZäPF03] Zäh, M. F.; Patron, C.; Fusch, T.: Die Digitale Fabrik – Definition und Handlungsfelder, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 98 (2003) 3, S. 75-77.
- [ZäRW05] Zäh, M. F.; Rimpau, C.; Wiesbeck, M.: Produktion im globalen Umfeld, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 100 (2005) 5, S. 246-250.
- [ZäSC05] Zäh, M. F.; Schack, R.; Carnevale, M.; Müller, S.: Ansatz zur Projektierung der Digitalen Fabrik, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 100 (2005) 5, S. 286-290.
-

- [ZuKW01] Zuber, E.; Kress, M.; Wagner, W.: Virtuelle Produktion – Partner der digitalen Produktentwicklung, in: wt Werkstattstechnik, 91 (2001) H. 6, S. 308-314.
- [Zenn02] Zenner, C.: Einsatz einer Kopplung von Prozessplanung und Ablaufsimulation in der Automobilindustrie, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM der Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 2002.

Normen und Richtlinien

- [DIN199] N.N.: DIN 199: Begriffe im Zeichnungs- und Stücklistenwesen – Teil 2: Stücklisten, Beuth Verlag, Berlin, 1977.
- [DIN8593] N.N.: DIN 8593: Fertigungsverfahren Fügen – Teil 0: Allgemeines, Beuth Verlag, Berlin, 1985.
- [DIN33400] N.N.: DIN 33400: Gestaltung von Arbeitssystemen nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen. Begriffe und allgemeine Leitsätze, Beuth Verlag, Berlin, 1983.
- [VDI2209] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2209: 3D-Produktmodellierung, (in Vorbereitung).
- [VDI2218] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2218: Feature-Technologie, Beuth Verlag, Berlin, 1999.
- [VDI3633] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen, Beuth Verlag, Berlin, 1995.
- [VDI4499] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 4499, Blatt 1: Digitale Fabrik – Grundlagen (Entwurf), Beuth Verlag, Berlin, 2006.

Internet-Links

- [eInd06] Homepage e-Industrial Services, <http://www.e-industrial-services.de/>, online am 07.03.2006.
-

- [ProS06] Homepage des ProSTEP iViP Vereins, <http://www.prostep.org/de/>, online am 07.03.2006.
- [Tecn06] Homepage der Tecnomatix Lösungen der Unigraphics Solutions GmbH, <http://www.ugsplm.de/produkte/tecnomatix/>, online am 28.02.2006.
-

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Einsatzbereich der Digitalen Fabrik in Anlehnung an [Fran03, Linn02]	3
Abbildung 1-2:	Hauptziele der Arbeit.....	4
Abbildung 1-3:	3-Ebenen-Modell zur Erreichung der Hauptziele der Arbeit.....	6
Abbildung 2-1:	Späte Variantendifferenzierung im Automobilbau in Anlehnung an [ZuKW01].....	9
Abbildung 2-2:	Gliederung der Arbeitsvorbereitung nach [AWF68, Ever97].....	11
Abbildung 2-3:	Gliederung der Arbeitsplanung nach [Ever97].....	12
Abbildung 2-4:	Prozessketten bei unterschiedlicher Auftragsauslösung in Anlehnung an [EvSc96].....	14
Abbildung 2-5:	PPS als Baustein innerhalb der Produktion	15
Abbildung 2-6:	Funktionen der Produktionsplanung und -steuerung nach [Ever89]	16
Abbildung 2-7:	Y-CIM-Modell nach [Sche98].....	17
Abbildung 2-8:	Einteilung der Fügeverfahren nach [DIN8593]	19
Abbildung 2-9:	Ablauf der Montageplanung in Anlehnung an [Bull86, Schi91].....	20
Abbildung 2-10:	Beispiel eines MPM-Netzplans.....	23
Abbildung 2-11:	Fokus der Digitalen Fabrik in Anlehnung an [BlFZ03, VDI4499]	26
Abbildung 2-12:	Angestrebter Nutzen der Digitalen Fabrik nach [Schi03].....	27
Abbildung 2-13:	Umfang eines digitalen Planungswerkzeugs für KMU	32
Abbildung 2-14:	Handlungsfelder der Digitalen Fabrik	34
Abbildung 3-1:	Softwareeinsatz im Produkt- und Produktionsentstehungsprozess in Anlehnung an [BäHa03b]	36
Abbildung 3-2:	DELMIA Planungswerkzeuge	39
Abbildung 3-3:	iViP-Systemarchitektur nach [KrBJ01]	45
Abbildung 4-1:	Unterscheidung der Varianz in Anlehnung an [Bart95, Meng01, Schu88]	50
Abbildung 4-2:	Gegenüberstellung innerer und äußerer Varianz nach [Meng01].....	51
Abbildung 4-3:	Ziele des Variantenmanagements in Anlehnung an [FrFS01].....	52

Abbildung 4-4: Gleichteile- und Plus/Minusstückliste	55
Abbildung 4-5: IT-geeignete Variantenstückliste nach [EiSt01]	56
Abbildung 4-6: Variantenbaumstruktur am Beispiel einer Auspuffanlage nach [Schu88]	57
Abbildung 4-7: Aufbau einer Verbindungsdocumentation in Anlehnung an [SaMH04]	58
Abbildung 5-1: Umfang und Wirkungsbereich des Variantenmanagementansatzes.....	67
Abbildung 5-2: 3-Ebenen-Konzept des Variantenmanagements	68
Abbildung 5-3: Aufbau der generalisierten Produktstruktur	72
Abbildung 5-4: Flussdiagramm zur Erstellung generalisierter Produkte und Baugruppen	73
Abbildung 5-5: Flussdiagramm zum Aufbau einer generalisierten Produktstruktur	75
Abbildung 5-6: Darstellungsformen der generalisierten Produktstruktur	76
Abbildung 5-7: Berücksichtigung von produktvarianten-induzierten Prozessvarianten auf der Grundlage eines generalisierten Produktmodells	78
Abbildung 5-8: Erweiterter Prozessgraph mit Entscheidungsknoten.....	82
Abbildung 5-9: Darstellung von Prozess- und Ressourcevarianten im erweiterten Prozessgraphen	83
Abbildung 5-10: Mehrdeutiger Prozessgraph	86
Abbildung 5-11: Generische Logistikbausteine im erweiterten Prozessgraphen.....	87
Abbildung 5-12: Art- und Mengenvarianz in der generalisierten Produktstruktur	90
Abbildung 5-13: Bauteilinstanzen in der generalisierten Produktstruktur	92
Abbildung 5-14: Generalisiertes Bauteil mit und ohne Parametrik	93
Abbildung 5-15: Existierende Assembly Feature Konzepte in Anlehnung an [AvBB06].....	99
Abbildung 5-16: Assembly Feature Konzept	100
Abbildung 5-17: Erweiterung der generalisierten Produktstruktur mit Fertigungs- und Assembly Features	101
Abbildung 5-18: Verknüpfung von Assembly Feature und Montageprozess	103
Abbildung 5-19: Positionsvarianz bei Ressourcen.....	104
Abbildung 5-20: Übersetzungsmechanismus zwischen Planung und Simulation [BlZe05b]	105

Abbildung 5-21: Implementierung der generalisierten Produktstruktur in CATIA V5.....	109
Abbildung 5-22: Konstruktionstabelle	110
Abbildung 5-23: Beispiel für die Produkt-, Prozess- und Ressourcestrukturierung in einem PTS in Anlehnung an [Kief03]	111
Abbildung 5-24: Darstellung der Informationen eines Planungsobjektes nach [Delm03]....	112
Abbildung 5-25: Referenzen zwischen einem Bauteil und einer übergeordneten Variantenliste	112
Abbildung 5-26: Seite „Zuweisung“ eines produktvarianten-induzierten Entscheidungsknotens.....	113
Abbildung 5-27: Auszug aus einer XML-Datei für die automatische Simulationsmodellgenerierung	115
Abbildung 5-28: Methodenbaustein zum Objektimport in eM-Plant.....	116
Abbildung 5-29: Automatisch erstelltes Simulationsmodell auf der Basis einer XML- Datei.....	117
Abbildung 6-1: Bestandteile und Einbauverhältnisse eines LKW-Längsträgers nach [Kief03].....	120
Abbildung 6-2: Konstruktionsstückliste und generalisierte Konstruktionsstückliste	121
Abbildung 6-3: Prozesssicht für den Standort "Deutschland Nord" nach [Köhl04]	122
Abbildung 6-4: Ausschnitt aus dem Prozessgraphen der LKW-Rohbaugruppe in DPE	123
Abbildung 6-5: Komponenten der Taschenlampe.....	125
Abbildung 6-6: CAD-Variantenmodell der Taschenlampe.....	126
Abbildung 6-7: Gesamtprozessgraph und Teilprozessgraph der Vormontage der Endkappe.....	128
Abbildung 6-8: Fertigungskonzept der Taschenlampenmontage.....	129
Abbildung 6-9: Groblayout der Taschenlampenmontage	130
Abbildung 6-10: Simulationsmodell der Taschenlampenmontage	131

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Aufgaben der Arbeitsablaufplanung nach [Ever97]	13
Tabelle 3-1: Simulationswerkzeuge in der Digitalen Fabrik in Anlehnung an [BlFr01]	37
Tabelle 3-2: Anforderungen bezüglich der Datendurchgängigkeit	41
Tabelle 3-3: Anforderungen bezüglich des operativen Softwareeinsatzes	41
Tabelle 3-4: Anforderungen bezüglich der Erweiterbarkeit der Software	42
Tabelle 3-5: Vergleich DELMIA Process Engineer und eM-Planner	43
Tabelle 4-1: Anforderungen an das Produktmodell	63
Tabelle 4-2: Anforderungen an das Prozess- und Ressourcenmodell	63
Tabelle 4-3: Vergleich der bestehenden Ansätze des Variantenmanagements	64
Tabelle 5-1: Darstellbarkeit von Prozess- und Ressourcenvarianten	84
Tabelle 6-1: Standortunterschiede nach [Köhl04]	120

Abkürzungsverzeichnis

AF	Assembly Feature
API	Application Programming Interface
BG	Baugruppe
BDE	Betriebsdatenerfassung
BMB+F	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufactuirng
DELMIA	Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Applications
DF	Digitale Fabrik
DFZ	Digitale-Fabrik-Zentrum
DPE	DELMIA Process Engineer
eBOP	electronic Bill Of Processes
EDM	Engineering Data Management
ERP	Enterprise Resource Planning
FEMEX	Feature Modelling Experts
ID	IDentifikation bzw. IDentifikationsnummer
IT	Informationstechnologie
iViP	integrierte Virtuelle Produktentstehung
KMU	Kleine und Mittlere Unternehmen
LC	Life Cycle
LED	Leuchtdiode (Light-Emitting Diode)
MAG	Metall-Aktiv-Gas (Metallschutzgasschweißverfahren)
MF	Fertigungs-Feature (Manufacturing Feature)
MPM	Meta Potential Method

MTTR	Mean Time To Repair (Mittlere Reparaturzeit)
NC	Numerical Control
OEM	Original Equipment Manufacturer
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PDM	Produktdatenmanagement
PLM	Product Lifecycle Management
PTS	Planungstypensatz
RC	Robot Control
Rob	Roboter
SA	Sonderausstattung
SE	Simultaneous Engineering
SFB	Sonderforschungsbereich
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SOP	Start of Production
STEP	STandard for the Exchange of Product model data
XML	Extensible Markup Language
ZB	Zusammenbau

Anhang A Gegenüberstellung der Digitale Fabrik-Lösungen DELMIA Process Engineer (Release 12 bzw. 14) und UGS - eM-Planner (Version 7.1) anhand vordefinierter Anforderungen

Anforderung	DELMIA Process Engineer	UGS – eM-Planner
Versionierung	Mit Hilfe von Versionsnummern sowie durch die Definition und Zuweisung unterschiedlicher Planungsstati besteht die Möglichkeit einer Versionierung von Produkten, Prozessen und Ressourcen.	Über ein „Release Management“ ist es möglich, einen aktuellen Planungsstand „einzufrieren“, d.h. er kann nicht mehr verändert werden. Daneben wird ein neues Release erzeugt, mit dem weiter gearbeitet werden kann. Für das „Release Management“ sind Administrator-Rechte erforderlich. Jeder Anwender hat darüber hinaus die Möglichkeit, sich eine lokale Version eines Projekts bzw. einzelner Projektbereiche auf seinem Arbeitsplatz-PC anzulegen, diese zu bearbeiten und sie nach Abschluss seiner Arbeit mit dem „Change Management Modul“ in die Datenbank zurück zu schreiben. Zudem ist es möglich, sich die Historie einzelner Objekte anzeigen zu lassen.
Produktdaten	Produktdaten sind über Skripte nur sehr rudimentär einzulesen. Vollständige Anbindungen an PDM-Systeme (auch an ENOVIA) sind bisher noch nicht praxistauglich realisiert. Die CAD-Geometrie kann in verschiedenen Formaten hinterlegt und über einen externen Viewer betrachtet werden. Intern kann DPE jedoch nur die Formate JT, VRML(1) und CGR verarbeiten.	Eine graphische Darstellung von Produkten in eM-Planner ist nur mit dem .co-Format möglich. eM-Planner unterstützt das .co-Format. Es ist ein Konverter verfügbar, der beliebige andere CAD-Formate in das .co-Format umwandeln kann.

Projekt-Im- und -Export	Seit der Version 5.10 können Projekte mit Hilfe einer externen Anwendung exportiert und importiert werden. Projekte werden immer als neue Projekte importiert, d.h. es können keine bereits bestehenden Projekte aktualisiert werden. Mit Hilfe eines Werkzeugs zur Zuliefererintegration kann jedoch ein Projekt mit einem ergänzenden Zuliefererprojekt zusammengeführt werden. Zusammen mit dem exportierten Projekt muss die Konfiguration sowie der vom Projekt benutzte Planungstypensatz exportiert werden, sofern diese auf dem Zielsystem nicht bereits vorhanden sind. Ebenso können beim Projektexport bzw. -import Benutzerrechte mit übertragen werden. Eine weitere Möglichkeit des Imports und Exports von Projekten bzw. Teilen eines Projekts liefern eigene Skripte.	Ein Import bzw. Export eines Projekts (im .ppj oder .xml Format) oder auch nur von Teilen eines Projekts (im .ppd, .xml oder .csv Format) ist sehr einfach und in der Regel auch problemlos möglich. Soll ein Projekt importiert werden, so ist zuvor, falls nicht bereits vorhanden, die zum Projekt gehörende „Customization“, die Entsprechung des PTS in DPE, zu importieren.
Schnittstellen zu anderen Werkzeugen	Im Rahmen der Produktfamilie von DELMIA sind alle Werkzeuge mehr oder weniger gut über den PPR-Hub an DPE „angebunden“. Über realisierte Schnittstellen oder Anbindungen an weitere CAD-Systeme oder an SAP liegen keine Informationen vor.	Im Rahmen der Produktfamilie von Tecnomatix sind alle Werkzeuge über den eM-Server mehr oder weniger gut an eM-Planner „angebunden“. Darüber hinaus besitzt eM-Planner eine Integration zu MicroStation und AutoCAD. Nach Aussage von Tecnomatix bestehen weitere Schnittstellen zu Pro/ENGINEER, UG, CATIA V4/5 und SAP sowie zu IPPE, TiCon und MS EXCEL.
Anwendbarkeit	Restriktionen, die ganz klar gegen einen potentiellen Einsatz von DPE sprechen, existieren nicht. Sehr komplexe Planungsaufgaben (z.B. eine Vielzahl unterschiedlicher Varianten) stellen den effektiven Einsatz von DPE jedoch in Frage.	Restriktionen, die ganz klar gegen einen potentiellen Einsatz von eM-Planner sprechen, gibt es nicht. Ebenso wie bei DPE stellt jedoch beispielsweise eine Vielzahl unterschiedlicher Varianten den effektiven Einsatz von eM-Planner in Frage.

Benutzer- freundlichkeit	Die Anordnung der einzelnen Fenster auf der DPE-Oberfläche kann benutzerspezifisch gestaltet werden. Das Erlernen der grundsätzlichen Bedienung von DPE erscheint relativ einfach. DPE stellt jedoch keine Art roten Faden zur Verfügung, der den Anwender in der Abarbeitung der durchzuführenden Planungsschritte unterstützt. Beim Starten von DPE wird das zuletzt bearbeitete Projekt wieder geöffnet.	Jeder Benutzer hat die Möglichkeit, das Layout seiner eM-Planner-Oberfläche individuell zu gestalten. Darüber hinaus bietet eM-Planner die Möglichkeit, den Inhalt eines Arbeitsplatzes zu speichern. Das heißt, beim nächsten Öffnen wird nicht nur das zuletzt geöffnete Projekt wieder aufgerufen, sondern auch der Inhalt aller zuletzt geöffneten Fenster. Ebenso wie DPE ist auch eM-Planner prinzipiell relativ einfach zu bedienen, jedoch auch hier fehlt es an einem „roten Faden“ zur Unterstützung der aufeinander folgenden Arbeitsschritte bei der Planung. Da es im Rahmen der Konfigurierbarkeit von eM-Planner nicht möglich ist, Objekthierarchien zu definieren (z.B. dass ein Produkt nur eine Baugruppe, nicht jedoch ein Bauteil enthalten kann), ist das Anlegen neuer Objekte z.B. eines neuen Elements im Produktbaum komplexer und schwieriger als bei DPE. Darüber hinaus besteht für einen Anwender die Möglichkeit, sich die für ihn relevanten Elemente eines Projekts in ein „module“ zu referenzieren, um seine Planungstätigkeiten im Folgenden auf dieses „module“ beschränken zu können. Die Elemente innerhalb eines „module“ weisen eine flache Hierarchie auf, d.h. alle Elemente befinden sich auf der gleichen Ebene.
-------------------------------------	--	---

Ergebnis- darstellung	Über die Funktion „Fertigungskonzept auswerten“ können einzelne Parameter einer Linie analysiert werden. Das Ausdrucken von Informationen ist mit Hilfe von Druckformularen möglich.	Die Darstellung der Prozessabläufe kann sowohl in einem PERT-Chart als auch in einem Gantt-Chart, in dem ähnlich wie bei MS Projekt Zeitabstände zwischen den einzelnen Operationen definiert werden können, erfolgen. Mit Hilfe von Abfragen ist es möglich, alle im Projekt enthaltenen Elemente eines Datentyps (z.B. part oder plant), die ein zu definierendes Kriterium erfüllen, übersichtlich in einer Tabelle darstellen zu lassen. Hierbei kann bzw. muss vordefiniert werden, welche Attribute der anzuzeigenden Elemente in der Tabelle erscheinen sollen. eM-Planner besitzt darüber hinaus ein Werkzeug, um Tabellen und Ähnliches auszudrucken.
Vergleich unterschiedli- cher Lösungs- strategien	Über „Fertigungskonzept vergleichen“ können einzelne Parameter unterschiedlicher Fertigungskonzepte verglichen werden.	Mit Hilfe eines Werkzeugs für das Änderungsmanagement können Änderungen bzw. Unterschiede zwischen zwei Versionen untersucht, gegenübergestellt und ausgewertet werden. Mit einem so genannten „Differentiation Tree“ können Alternativen von Fertigungsprozessen für verschiedene Produkte evaluiert werden.
Mehrbenutzer- fähigkeit	DPE ist prinzipiell mehrbenutzerfähig. Ein Nachteil von DPE besteht darin, dass im PPR-Navigator nicht ersichtlich ist, welche Bereiche innerhalb eines Projekts von einem anderen Benutzer bearbeitet werden.	Über einen so genannten „Check in“ und „Check out“ Mechanismus ist es sehr komfortabel möglich, mit mehreren Benutzern an einem Projekt zu arbeiten. Ein Benutzer „checkt“ dabei die Bereiche bzw. Elemente eines Projekts aus, an denen er gerade arbeitet. Die Planungselemente sind dann zwar noch für alle übrigen Nutzer sichtbar, es können dort jedoch keine Änderungen vorgenommen werden.

Administration	Mit Hilfe der Benutzerverwaltung können Benutzer und Gruppen angelegt und mit einer Vielzahl von Rechten ausgestattet werden. Hierbei ermöglicht DPE eine sehr detaillierte Rechtevergabe, wobei nur sehr schwer ersichtlich ist, welche Rechte für welche Aufgaben benötigt werden. Beim Anlegen eines neuen Projekts müssen dem Projekt die berechtigten Benutzer bzw. Gruppen zugewiesen werden. Dies kann bei vielen bereits existierenden Projekten und dem Anlegen eines neuen Benutzers – soweit er keiner bereits existierenden Gruppe zugewiesen ist – bzw. einer neuen Gruppe zu einem hohen zusätzlichen Aufwand führen. Da DPE zudem die Vergabe von Rechten auf nahezu alle Elemente ermöglicht, ist es zum einen möglich, gewissen Anwendern nur ganz bestimmte Informationen innerhalb eines Projekts zugänglich zu machen. Zum anderen kann hierdurch jedoch der Aufwand für die Benutzerverwaltung und Rechtevergabe ins nahezu Unermessliche steigen.	Ähnlich wie bei DPE ermöglicht eM-Planner Administratoren, Benutzer und Gruppen anzulegen und diese mit Rechten auszustatten. Es können sowohl projektübergreifend allgemeine Rechte für das Speichern oder den Projektimport und -export vergeben als auch projektspezifisch eine Vielzahl von Rechten definiert werden. Ebenso wie bei DPE kann auch hier der Administrationsaufwand sehr groß werden.
Definition von Standards	Über Systemelemente können Standardressourcen mit ihrer Geometrie hinterlegt werden. Über das Speichern von Schablonen können darüber hinaus Teile eines Projekts im jeweiligen PTS in der Systembibliothek gespeichert werden, die dann in weiteren Projekten verwendet werden können. Ähnliche Funktionalitäten lassen sich auch mit Hilfe von Skripten realisieren. Die Struktur von Produkt, Prozess- und Ressourcebaum	Über Projektbibliotheken ist es möglich, Standardprodukte, -prozesse und -ressourcen zu hinterlegen und innerhalb eines Projekts per „Drag and Drop“ einzufügen. Die Standardbibliotheken können dabei in einem Musterprojekt, das als Startpunkt von eM-Planner-Projekten dient, hinterlegt werden. Eine übergeordnete Ressourcenbibliothek in Form von Systemelementen ist bei eM-Planner nicht vorhanden.

	kann durch die Definition von Hierarchien im Planungstypensatz vorgegeben werden. Hierdurch lässt sich beispielsweise definieren, dass ein Produkt auf der nächsten Ebene oder Hierarchiestufe nur eine Baugruppe, nicht jedoch ein Bauteil enthalten kann.	Eine Besonderheit von eM-Planner sind so genannte „Twin Objects“, bei denen mit dem Einfügen eines Prozesses im Prozessbaum automatisch eine zugehörige Ressource im Ressourcebaum erstellt wird.
Konfigurierbarkeit	Erstens können durch die Firma DELMIA Änderungen an der Grundkonfiguration durchgeführt werden, die sich auf alle Projekte auswirken. Hierbei können neben dem Anlegen neuer Datentypen (sowohl unabhängig von bestehenden Datentypen als auch auf der Basis bereits existierender Typen) bestehende Datentypen verändert werden. So ist es beispielsweise möglich, Seiten, Gruppen oder Attribute anzulegen bzw. zu verändern sowie Beziehungen (Eltern-Kind-Beziehungen) zwischen verschiedenen Datentypen zu definieren bzw. zu modifizieren. Mit Hilfe der Konfiguration von Typen bzw. Planungstypen kann das Aussehen der Dialoge weitestgehend frei gestaltet werden. Zweitens können mit einigen Einschränkungen entsprechend der Änderungsmöglichkeiten an der Grundkonfiguration auch Änderungen innerhalb eines Planungstypensatzes durchgeführt werden. Hierbei wirken sich die Änderungen nur auf die Projekte aus, die den entsprechenden Planungstypensatz verwenden. Drittens ermöglichen Skriptaktionen (vgl. Scripting) zusätzlich eine gewisse Anpassungsfähigkeit der Software an spezifische Unternehmensanforderungen.	Mit Hilfe der so genannten „Customization“, einer Art projektspezifischem Planungstypensatz, können ähnlich wie bei DPE neue Objekte erstellt und modifiziert werden. Jedem dieser Objekte können dabei spezifische Attribute zugewiesen werden, die für jedes Objekt auf der Seite „Attribute“ angezeigt werden. Die Konfigurierbarkeit durch den Anwender bezieht sich dabei jedoch nur auf so genannte „soft classes“. Die grundlegende Daten- bzw. Objektstruktur von Produkten, Prozessen und Ressourcen ist von Tecnomatix in den „hard classes“ – ähnlich der Grundkonfiguration bei DPE – vorgegeben und kann vom Anwender selbst nicht verändert werden. Eine Anpassung der Darstellung und Abbildung von Objektseiten, -gruppen und -attributen ist nur durch Tecnomatix selbst möglich. Nach Aussage von Tecnomatix ist es jedoch grundsätzlich möglich, eigene Masken zu definieren. Der Anwender hat aber lediglich die Möglichkeit, die Objekticons sowie die „Objektüberschrift“ innerhalb des entsprechenden Projektbaums selbst zu definieren. Es bleibt festzuhalten, dass die Möglichkeiten der Konfigurierbarkeit von eM-Planner im Vergleich zu DPE deutlich geringer sind.

Scripting	DPE bietet die Möglichkeit, mit Hilfe von VB- und J-Skripten zusätzliche Funktionalitäten zu implementieren. Mit Skripten können Änderungen der DPE-Daten, beliebige mathematische Algorithmen bzw. Funktionen, das Exportieren bzw. Importieren von Daten, das Überprüfen von eingelesenen Datenstrukturen anderer Datensysteme sowie das Filtern von bestimmten Dateninformationen mit entsprechender Bildschirminformation realisiert werden. Hierbei wird zwischen Skripten, die in der System- oder Projektbibliothek hinterlegt werden können, Skriptaktionen, die im Projekt-Planungstypensatz oder in den Planungstypensätzen der Bibliothek stehen können, und VBA-Makros, die innerhalb eines Containers gespeichert werden und zu dem Objekt VBA-Project gehören, unterschieden.	eM-Planner besitzt eine API, mit der es neben der Realisierung eines Zugriffs auf den eM-Server möglich ist, die Funktionalitäten von eM-Planner benutzerspezifisch zu erweitern. Dabei sind aktuell bereits Funktionalitäten wie Abfragen, der Projektimport und -export, Benutzer- und Versions-Management über die API realisiert. Zudem ermöglicht die API eine graphische Benutzerschnittstelle (GUI) zu eM-Planner, mit der kundenspezifische Sichten realisiert werden können. Nach Aussage von Tecnomatix ist es des Weiteren möglich, entsprechende Logiken in der Customization zu hinterlegen.
------------------	---	--

Tabelle A-1: Gegenüberstellung der Digitale Fabrik-Lösungen DELMIA Process Engineer und eM-Planner

Anhang B Erweiterung von DPE zur Berücksichtigung von Produkt-, Prozess- und Ressourcevarianten

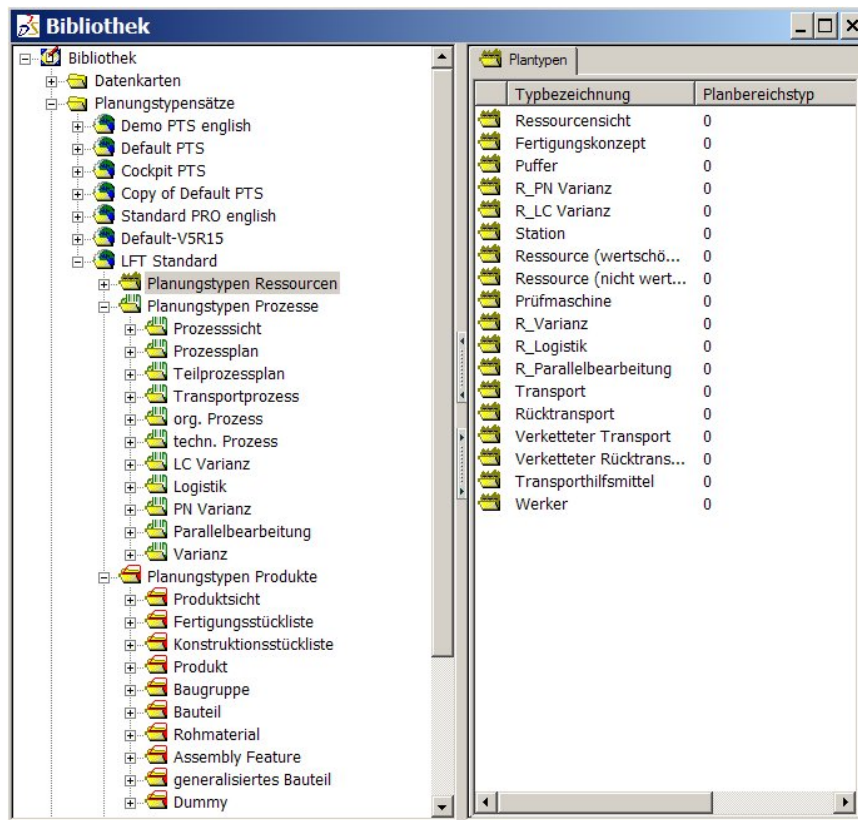


Abbildung B-1: Erweiterter Planungstypensatz

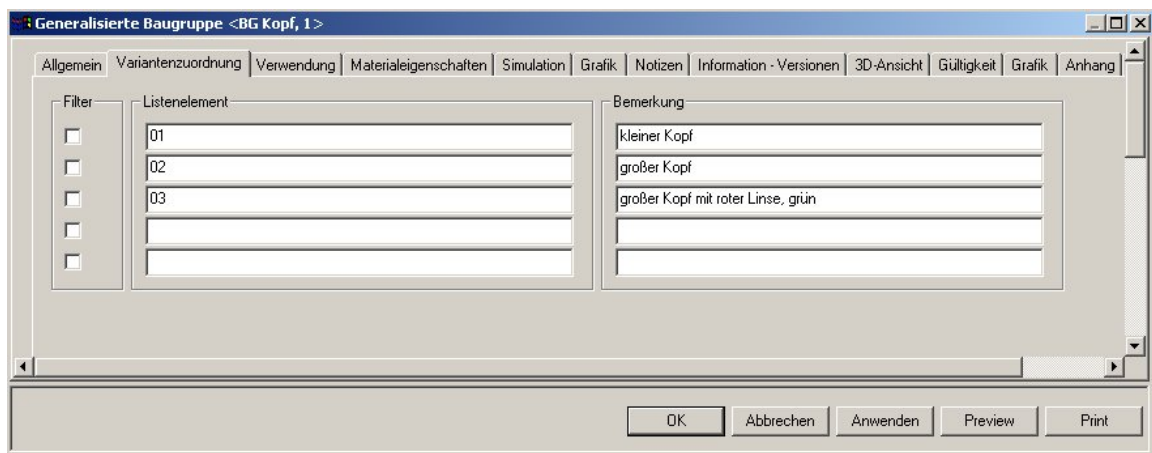


Abbildung B-2: Variantenliste einer generalisierten Baugruppe

Generalisierte Baugruppe <BG Kopf, 1>

Allegemein | Variantenzuordnung | Verwendung | Materialeigenschaften | Simulation | Grafik | Notizen | Information - Versionen | 3D-Ansicht | Gültigkeit | Grafik | Anhang | Produkt

Vorkommen: Kommt einmalig vor | Checkbox : ☒

Listenelemente: 01, 02, 03

wird verwendet in:

übergeordnete Listenelemente: 05, 06, 16, 17

Vorkommen: Kommt mehrmals vor | Checkbox : ☐

Listenelemente:

übergeordnete Baugruppen:

übergeordnete Listenelemente:

OK Abbrechen Anwenden Preview Print

Abbildung B-3: Referenzen zwischen der Variantenliste einer generalisierten Baugruppe und einer übergeordneten Variantenliste

Varianz <V 01, 1>

Allgemein | Zuweisung | Austaktung | Notizen | Gültigkeit | Anhang

Allgemein:

Bezeichnung: New Variantenknoten

Nummer: V 01

Knotenposition:

Anfangsknoten: ☐

Endknoten: ☐

OK Abbrechen Anwenden Preview Print

Abbildung B-4: Seite „Allgemein“ aller Entscheidungsknoten

The screenshot shows the 'PN Varianz <VPN 01, 1>' window with the 'Zuweisung' (Assignment) tab selected. The window has a menu bar with 'Allgemein', 'Ausstattung', 'Notizen', 'Zuweisung', 'Gültigkeit', 'Notizen', and 'Anhang'. A toolbar on the right contains a 'V' icon with 'PN' in red. The main area is divided into several sections: 'Externe Tabelle' with a checkbox and a file path field; 'Art' with a dropdown menu; 'Bemerkung / sonstiges' with a text area; 'Variante' with a list of 01 to 05; 'Benennung' with a list of 01 to 05; and 'Nummer des Folgeelements' with a list of 01 to 05. At the bottom are buttons for 'OK', 'Abbrechen', 'Anwenden', 'Preview', and 'Print'.

Abbildung B-5: Seite „Zuweisung“ eines *produktvarianten-neutralen* Entscheidungsknotens

The screenshot shows the 'LC Varianz <VLC 01, 1>' window with the 'Zuweisung' (Assignment) tab selected. The window has a menu bar with 'Allgemein', 'Ausstattung', 'Notizen', 'Zuweisung', 'Gültigkeit', 'Notizen', and 'Anhang'. A toolbar on the right contains a 'V' icon with 'LC' in red. The main area is divided into several sections: 'Externe Tabelle' with a checkbox and a file path field; 'LC - Zeit' with a list of 01 to 05; 'Zeiteinheit' with a dropdown menu; 'Bezugspunkt' with a list of 01 to 05; and 'Nummer des Folgeelements' with a list of 01 to 05. At the bottom are buttons for 'OK', 'Abbrechen', 'Anwenden', 'Preview', and 'Print'.

Abbildung B-6: Seite „Zuweisung“ für einen *auf den Lebenszyklus bezogenen* Entscheidungsknoten

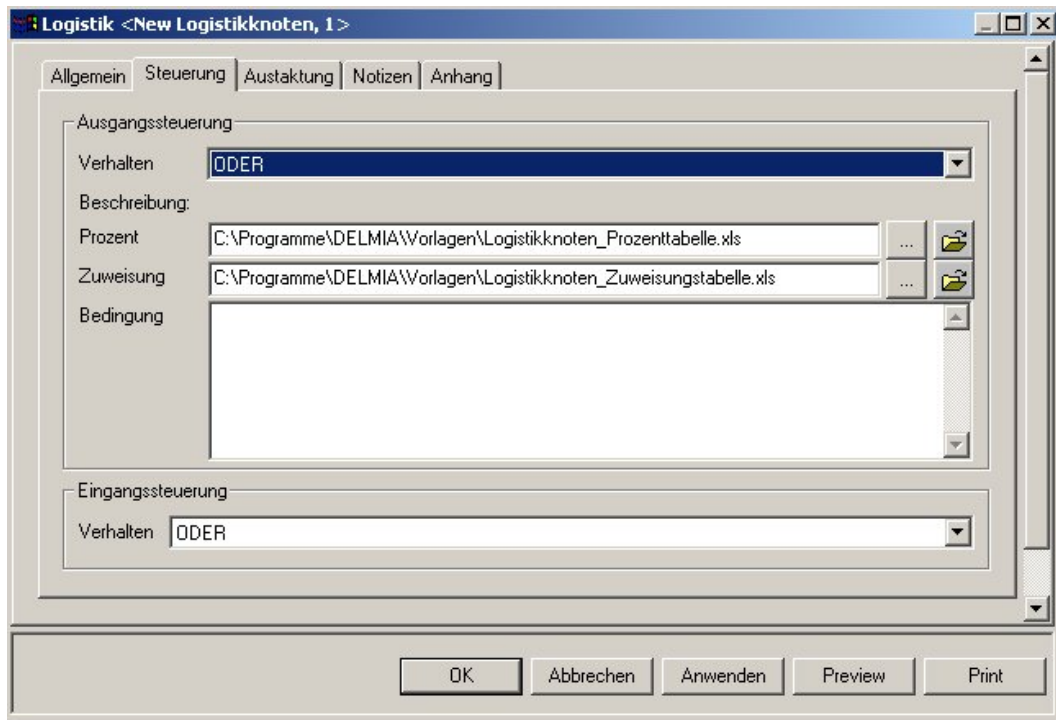


Abbildung B-7: Seite „Steuerung“ bei einer logistikbedingten Verzweigung

Anhang C Praxisszenario 2 – Taschenlampenmontage

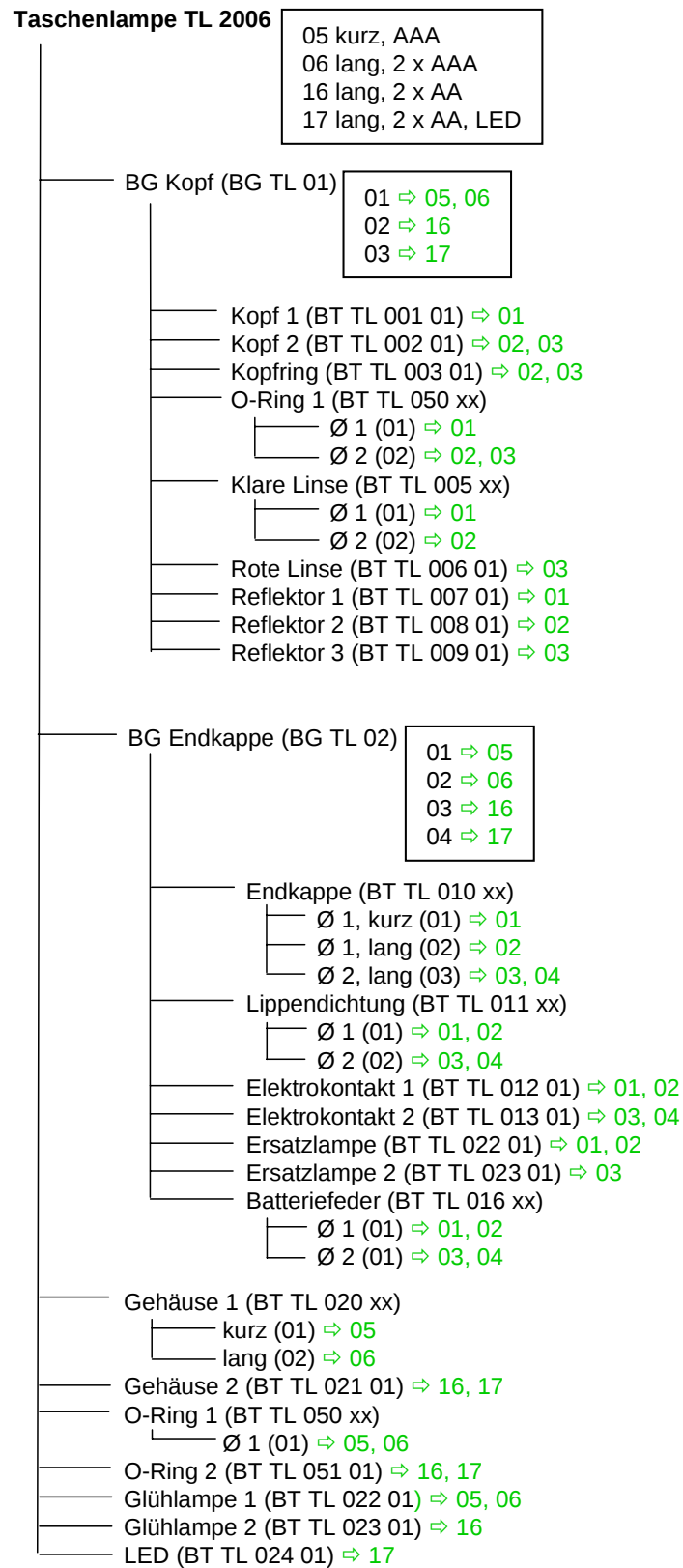


Abbildung C-1: Generalisierte Produktstruktur der vier Taschenlampenvarianten

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name	Christian Zenner
Geburtsdatum	02. Januar 1978
Geburtsort	Merzig
Familienstand	ledig

Schulische Ausbildung:

08/84 - 06/88	Grundschule Mettlach
08/88 - 06/94	Christian-Kretschmar-Realschule Merzig
08/94 - 06/97	Peter-Wust Gymnasium Merzig mit Abschluss der „Allgemeinen Hochschulreife“

Studium:

10/97 - 05/02	Studium der Konstruktions- und Fertigungstechnik an der Universität des Saarlandes, Abschluss zum Diplom-Ingenieur am 13.05.2002
10/02 - heute	Studium der Betriebswirtschaftslehre an der Universität des Saarlandes, Vordiplom am 02.08.2004

Berufstätigkeit:

02/00 - 08/01	Wissenschaftliche Hilfskraft am Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM der Universität des Saarlandes, Saabrücken
06/02 - 03/07	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM der Universität des Saarlandes, Saabrücken

Universität des Saarlandes

Schriftenreihe Produktionstechnik
Herausgeber: H. Bley und C. Weber

ISSN 0945-6244

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände (Stand: November 2006)

- Band 1** Schulte, Michael: *Grundlagen der automatischen funktionsorientierten Klassifizierung technischer Gegenstände im Rahmen intelligenter Konstruktionsunterstützungssysteme (CAD-Systeme)*.
ISBN 3-930429-30-6 (1993)
- Band 2** Schulte, Michael; Stark, Rainer: *Definition und Anwendung höherwertiger Konstruktionselemente (Design Features) am Beispiel von Wellenkonstruktionen*.
ISBN 3-930429-31-4 (1993)
- Band 3** Mischo, Armin: *Modellbasierte Akquisition und Implementierung des technologischen Wissens für die NC-Detailplanung*.
ISBN 3-930429-32-2 (1993)
- Band 4** Rech, Karsten: *Regelungsmodell zur Konzipierung der Informationsverarbeitung in der Produktionslogistik*.
ISBN 3-930429-33-0 (1994)
- Band 5** Stark, Rainer: *Entwicklung eines mathematischen Toleranzmodells zur Integration in (3D-) CAD-Systeme*.
ISBN 3-930429-34-9 (1994)
- Band 6** Dietz, Stefan: *Wissen zur Auswahl von Montagemitteln, seine Aufbereitung und Verarbeitung in CA-Systemen*.
ISBN 3-930429-35-7 (1994)
- Band 7** Muth, Michael: *Repräsentation von Konstruktionswissen unter Verwendung des objektorientierten Paradigmas*.
ISBN 3-930429-36-5 (1994)
- Band 8** Stadelmeyer, Volker: *Entscheidungsunterstützung zur technischen Planung im Fertigungsbereich*.
ISBN 3-930429-37-3 (1994)
- Band 9** Jostock, Jürgen: *Aufbau eines hierarchisch organisierten, wissensunterstützten Fertigungsregelungssystems*.
ISBN 3-930429-38-1 (1994)
- Band 10** Müller, Andreas: *Leitlinie zur Problemdefinition bei der Entwicklung von komplexen Montagesystemen*.
ISBN 3-930429-39-X (1994)

- Band 11** Labisch, Susanna: *Untersuchung des Kaltpressens pulverförmiger Stoffe mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung der Trockenpressung von Sekundärkornmassen.*
ISBN 3-930429-40-3 (1995)
- Band 12** Schmidt, Jürgen: *Untersuchung zur Reinheit spanend bearbeiteter Oberflächen unter besonderer Berücksichtigung des erzeugenden Prozesses.*
ISBN 3-930429-41-1 (1996)
- Band 13** Cuber, Michael: *Entwicklung einer Strategie zur qualitätsgerechten Modellierung des Entwicklungs-/Konstruktionsprozesses.*
ISBN 3-930429-42-X (1996)
- Band 14** Avgoustinov, Nicolay: *Minimizing the Labour for Exchange of Product Definition Data Among N CAx-Systems.*
ISBN 3-930429-43-8 (1997)
- Band 15** Bär, Thomas: *Einsatz der Feature-Technologie für die Integration von Berechnungen in die frühen Phasen des Konstruktionsprozesses.*
ISBN 3-930429-44-6 (1998)
- Band 16** Seel, Uwe: *Roboter gestützte Zellenkalibrierung als Basis einer Feature-basierten Montageplanung.*
ISBN 3-930429-45-4 (1999)
- Band 17** Britten, Werner: *CAD-basierte Übersetzung geometrischer Toleranzen in vektorielle Darstellungen.*
ISBN 3-930429-46-2 (1999)
- Band 18** Jung, Dieter: *Praxis- und Prozessnahes Optimierungsmodell (PPO-Modell) zur systematischen, kontinuierlichen Verbesserung komplexer industrieller Prozesse.*
ISBN 3-930429-47-0 (2000)
- Band 19** Muth, Michael: *CAD-M(COMPUTER AIDED DESIGN using MULTIMEDIA)-Repräsentation und Nutzung von Konstruktionswissen in verteilten Entwicklungsumgebungen.*
ISBN 3-903429-48-9 (2000)
- Band 20** Wuttke, Claas Christian: *Mehrfachnutzung von Simulationsmodellen in der Produktionslogistik.*
ISBN 3-930429-49-7 (2000)
- Band 21** Oltermann, Ralf: *Systematik zur Abschätzung von Fertigungstoleranzen auf Grundlage einer Auswertung der laufenden Fertigung.*
ISBN 3-93042-50-0 (2000)
- Band 22** Werner, Horst: *Integration von CAx-Funktionalitäten in einem neuartigen Konstruktionssystem.*
ISBN 3-930429-51-9 (2001)
- Band 23** Behrning, Stefan: *Messungen von Belegungen durch Fertigungshilfsstoffe auf metallenen Werkstücken mittels mIR-Fasersonde.*
ISBN 3-930429-52-7 (2001)

- Band 24** Thome, Oliver: *Durchgängige Erfassung und Verarbeitung von Toleranzinformationen.*
ISBN 3-930429-53-5 (2001)
- Band 25** Junk, Stefan: *Inkrementelle Blechumformung mit CNC-Werkzeugmaschinen: Verfahrensgrenzen und Umformstrategien.*
ISBN 3-930429-54-3 (2003)
- Band 26** Braun, Peter: *Entwicklung einer Methodik zur Untersuchung des Einflusses von Kühlschmierstoffen auf das Härteverhalten von Einsatzstählen am Beispiel des Kühlschmierstoffs ARAL Sarol 470 EP und der Einsatzstähle C15, 16MnCr5, 9SMnPb28.*
ISBN 3-930429-55-1 (2003)
- Band 27** Rattay, Bernd: *Untersuchung der Einflußgrößen auf die Formfüllung und die Werkzeugbelastungen beim Prägen von Mikrokanalstrukturen in Metallische Bleche.*
ISBN 3-930429-56-X (2003)
- Band 28** Franke, Christina: *Feature-basierte Prozesskettenplanung in der Montage als Basis für die Integration von Simulationswerkzeugen in der Digitalen Fabrik.*
ISBN 3-930429-57-8 (2003)
- Band 29** 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems
ISBN 3-930429-58-6 (2003)
- Band 30** Korne, Thomas: *Fertigungsorientierte Analyse und Optimierung von Gruppenarbeit in der Automobil-Endmontage unter besonderer Berücksichtigung von Informationstechnologie und Digitaler Fabrik.*
ISBN 3-930429-59-4 (2004)
- Band 31** Fischer, Nikolaus: *Messungen geringster organischer Belegungen auf diffus reflektierenden Oberflächen mit einem mIR-faseroptischen Prüfkopf.*
ISBN: 3-930429-60-8 (2005)
- Band 32** Bernardi, Markus: *Gestaltung eines mechatronikorientierten Entwicklungsprozesses für mobile Arbeitsmaschinen und des dazugehörigen Entwicklungsumfeldes.*
ISBN 3-930429-61-6 (2005)
- Band 33** Ryu, Shi-Bok: *Development of a Microklystrode Vacuum Tube: A Focus on the Improvement of Modeling and Manufacturing Processes.*
ISBN 3-930429-62-4 (2005)
- Band 34** Vielhaber, Michael: *Zusammenbauorientiertes Konstruieren im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie am besonderen Beispiel des Karosserierohbaus.*
ISBN 3-930429-63-2 (2005)
- Band 35** Steinbach, Michael: *Systematische Gestaltung von Product-Service Systems.*
ISBN 3-930429-64-0 (2005)
- Band 36** Blumenau, Jean-Claude: *Lean Planning unter besonderer Berücksichtigung der Skalierung wandlungsfähiger Produktionssysteme.*
ISBN 3-930429-65-9 (2006)

Band 37 Zenner, Christian: *Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung*.
ISBN 3-930429-66-7 (2006)