

Manufacturing Process Management Modul zur Synchronisation des Produktplanungsprozess mit der Produktentwicklung

Diplomarbeit

Daniel Baden

Matrikelnummer: 2288845

22.10.2014



Fachbereich Mathematik / Informatik

Studiengang Informatik

1. Gutachter: Dr.-Ing. Karsten Hölscher
2. Gutachter: Prof. Dr. Hans-Jörg Kreowski

Erklärung

Ich versichere, die Diplomarbeit ohne fremde Hilfe angefertigt zu haben. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

(Daniel Baden)

Bremen, 22. Oktober 2014

Allgemeine Hinweise zum Dokument

Abkürzungen und spezielle Begriffe sind im Text kursiv geschrieben. Zitate oder Gedanken anderer Personen sind kenntlich gemacht und eingerückt dargestellt.

Verwendete Literatur oder Quellen sind im Fließtext in Klammern gesetzt oder stehen am Ende eines Absatzes. Es werden stets der Autor und die Jahreszahl angegeben, teilweise mit Titel. Untertitel, der Verlagsort und der Herausgeber wenn vorhanden sind im alphabetisch sortierten Literaturverzeichnis nachzuschlagen.

Bei Internetquellen ist der vollständige Link mit dem Datum des letzten Aufrufs angeführt.

Die Quellen zu Abbildungen und Tabellen finden sich unter der Darstellung selbst. Ein Verzeichnis nach chronologischer Reihenfolge sortiert existiert sowohl für Abbildungen als auch für Tabellen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben. Insbesondere möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. Karsten Hölscher für die Betreuung meiner Diplomarbeit und bei Herrn Dipl.-Ing. Stefan Gregorzik für die inhaltlichen Hilfestellungen bedanken. Ein weiterer Dank geht an Herrn Prof. Dr Hans-Jörg Kreowski für seine Bereitschaft meine Diplomarbeit als Zweitgutachter zu bewerten.

Nicht zuletzt möchte ich mich noch bei meinen Eltern und meiner gesamten Familie für die ständige Unterstützung und Anteilnahme bedanken.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung.....	I
Allgemeine Hinweise zum Dokument	II
Danksagung	III
Inhaltsverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Aufgabenstellung	2
1.3 Aufbau der Arbeit	4
2 Grundlagen	5
2.1 Produktmodell	5
2.2 Produktdaten- und Produktlebenszyklusmanagement.....	6
2.2.1 Definition.....	6
2.2.2 Variantenstückliste	7
2.3 Technische Produktionsplanung	9
2.4 CIM Database.....	18
2.4.1 Allgemein	18
2.4.2 Data Dictionary	20
3 Methode zur Realisierung einer integrierten Planung.....	23
3.1 Verwandte Arbeiten	23
3.2 Situationsanalyse.....	24
3.2.1 Allgemein	24
3.2.2 Ausgangssituation in KMU	25
3.2.3 Aufgaben der integrierten Produktionsplanung für KMU	26
3.2.4 Anforderungen der integrierten Produktionsplanung für KMU	28
3.3 Einordnung des MPM-Modules	29
4 Konzept MPM – Modul	31
4.1 Einleitung	31
4.2 Schnittstellenanalyse	32
4.2.1 PDM-System	33
4.2.2 Nachgelagerte Systeme	34
4.3 Grundkonzept.....	34
4.3.1 Anforderungen.....	34
4.3.2 Arbeitsplan	37
4.3.3 Ortstrukturplan	42

4.3.4	Relationen.....	44
4.3.5	Operationen	46
4.3.6	Produktionsplan.....	51
5	Prototypische Implementierung.....	53
5.1	Vorgehen	53
5.2	Zielszenario für die Anwendung des MPM – Modules	54
5.3	Schnittstellenanalyse CIM DATABASE	55
5.4	Anforderungen	57
5.4.1	Anwendungsfälle.....	57
5.4.2	Anforderungen.....	64
5.5	Architekturmodell	71
5.6	Ergebnisbetrachtung.....	74
6	Evaluation	78
6.1	Auswahl der bestehenden Anwendungen	78
6.1.1	DELMIA	79
6.1.2	Tecnomatix.....	79
6.2	Vergleich der Anwendungen.....	80
6.2.1	Methodik	80
6.2.2	Auswertung	81
7	Zusammenfassung und Ausblick	85
7.1	Zusammenfassung.....	85
7.2	Ausblick	86
8	Literaturverzeichnis	87

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Produktentstehungsprozess (http://www.ensinger-online.com/ , 2009)	1
Abbildung 2: Beispiel Arbeitsplan.....	3
Abbildung 3: Variantenstückliste nach Eignet et. al. am Beispiel von CIM DATABASE (Contact Software GmbH) .	8
Abbildung 4: Einordnung Arbeitsvorbereitung (Gronau, 2002) in Anlehnung an (Eversheim, 1997)	10
Abbildung 5: Zusammenhang von Arbeitsplan und Stückliste (SAP SE, 2014)	13
Abbildung 6: Vorteile einer parallelen Planung.....	15
Abbildung 7: PDM-System als Integrationsplattform.....	19
Abbildung 8: Architektur Data Dictionary (Quelle: (Contact Software GmbH, 2014))	21
Abbildung 9: Softwareintegration (Schack, 2008)	26
Abbildung 10: Abgrenzung von Produktlebenszyklus, Produktentstehungs- und Auftragsabwicklungsprozess(Schack, 2008)	29
Abbildung 11: Einordnung der technischen Produktionsplanung.....	31
Abbildung 12: Elemente der technischen Produktionsplanung	36
Abbildung 13: Knotentypen des Arbeitsplanes	39
Abbildung 14: Struktur Arbeitsplan	40
Abbildung 15: Sequentieller Ablauf von Arbeitsgängen.....	41
Abbildung 16: Paralleler Ablauf.....	42
Abbildung 17: Knotentypen des Ortstrukturplanes	44
Abbildung 18: Verknüpfung Stückliste und Arbeitsgang.....	45
Abbildung 19: Relationen Arbeitsplan zu Stückliste und Ortstrukturplan	46
Abbildung 20: Instanziierungsfunktion.....	47
Abbildung 21: Strukturabgleich Stückliste und Arbeitsplan	49
Abbildung 22: Schema eines Produktionsplanes.....	52
Abbildung 23: Klassenhierarchie CDB	56
Abbildung 24: PYTHON - Klassen Zuordnung CDB	56
Abbildung 25: Interaktion MPM-Objekt	58
Abbildung 26: Neuanlage Produktionsplan „Autositz Basic“	59
Abbildung 27: Planung spezifizieren	60
Abbildung 28: Stücklistenposition einem Arbeitsgang zuordnen	61
Abbildung 29: Arbeitsplan konfigurieren	62
Abbildung 30: Hallenlayout bearbeiten	63
Abbildung 31: Arbeitsplan instanzieren	64
Abbildung 32: Verbindung <i>Data Dictionary</i> Klasse mit <i>PYTHON</i> Klasse	72
Abbildung 33: Architekturmodell MPM - Modul.....	73
Abbildung 34: Strukturdarstellung Produktionsplan	74
Abbildung 35: Arbeitsplan mit Kontextmenü	76
Abbildung 36: Arbeitsplan vor und nach der Konfiguration.....	77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufgaben der Arbeitsplanung nach (Eversheim, 1997)	11
Tabelle 2: Standardoperationen eines CIM DATABASE Objektes(Contact Software GmbH, 2014)	22
Tabelle 3: Kompetenzrahmenzuordnung der Arbeitsplanungsaufgaben nach (Mehnert, 2004)	27
Tabelle 4: Erfüllungsgrad der Anforderungen aus der Schnittstellenanalyse	57
Tabelle 5: Kriterien der Evaluation	81
Tabelle 6: Evaluationsergebnis - Erstellen einer Arbeitsplanung	82
Tabelle 7: Evaluationsergebnis - Variantenabhängige Konfiguration des erstellten Arbeitsplanes.....	82
Tabelle 8: Evaluationsergebnis - Bearbeitung des Arbeitsplanes für verschiedene Produktversionen	83

Abkürzungsverzeichnis

API	Application programming interface (dt.: Programmierschnittstelle)
BOM	Bill of Materials (dt.: Stückliste)
BPMN	Business Process Model and Notation (dt.: Geschäftsprozessmodellierung und Darstellung)
CAD	Computer-Aided Design (dt.: rechnergestützte/r Konstruktion/Entwurf)
CDB	CIM DATABASE (Produktdaten – und Projektmanagement Software der CONTACT Software GmbH)
GUI	Graphical User Interface (dt.: Grafische Benutzeroberfläche)
IT	Information und Telekommunikation / Informationstechnik (engl.: Information Technology)
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
MBOM	Manufacturing bill of materials (dt.: Produktionsstückliste)
MPM	Manufacturing Process Management
PDM	Produktdatenmanagement
PLM	Product Lifecycle Management (dt.: Produktlebenszyklusmanagement)
PPS-System	Produktionsplanung – und Steuerungssystem
STL	Stückliste

1 Einleitung

1.1 Motivation

Aufgrund der Verschiebung von Geschäftsfaktoren von Produktinnovation hin zu Kostendruck und Wettbewerbsfähigkeit, müssen Unternehmen Fertigungsabläufe hinsichtlich Zeit, Kosten und Qualität optimieren. Standortverlagerungen, eine immer höher werdende Frequenz von neuen Produkten und steigende Komplexität durch die stetige Zunahme an Varianten spielen dabei eine entscheidende Rolle und stellen eine Herausforderung für die Flexibilität der Produktionssysteme dar.

Unternehmen, die bereits in der Entwicklungsphase ihrer Produkte das Potential ihrer Ressourcen hinreichend ausschöpfen, verschaffen sich einen Vorsprung gegenüber der Konkurrenz. (Luczak & Everseheim, 1998) (Bracht, Wenzel, & Geckler, 2011)

Seit Mitte der 80er Jahre wurden für diesen Zweck vermehrt PDM Systeme eingesetzt. Sie entstanden aus dem Bedarf heraus CAD-Dokumente parallel zu Papierzeichnung zu verwalten. Durch die enge Anbindung an die Produktstruktur und den vermehrten Einsatz von 3D-Arbeitstechniken entstanden evolutionär bedingt weitere Anforderungen, die ein PDM System leisten musste.

Ursprünglich auf den Entwicklungsprozess eines Produktes fokussiert entstand sukzessiv die Zielsetzung, alle relevanten Informationen des Produktlebenszyklus digital abzubilden.

Parallel zu dieser Entwicklung durchdrang der informationstechnische Fortschritt ebenfalls andere Phasen des Produktentstehungsprozesses (PEP).

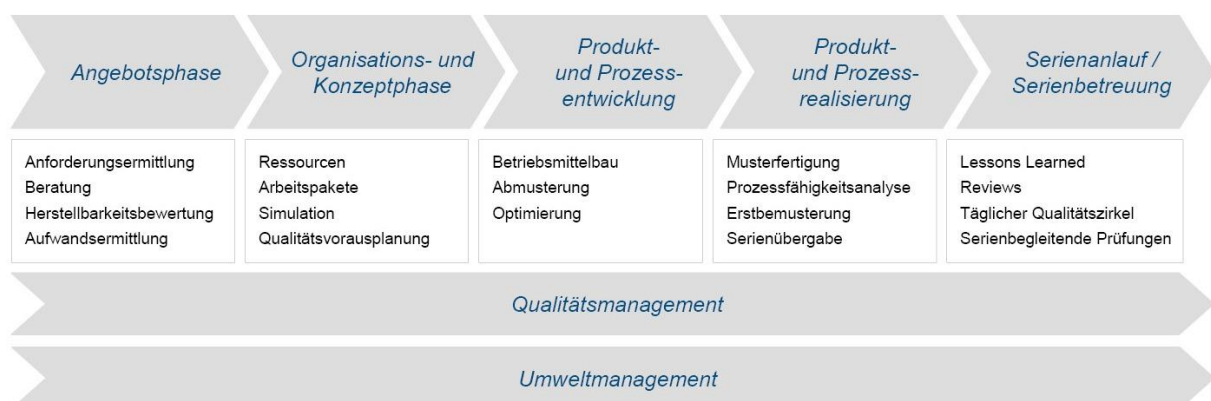


Abbildung 1: Produktentstehungsprozess (<http://www.ensinger-online.com/>, 2009)

Die Produktrealisierung schließt sich wie in Abbildung 1 dargestellt, direkt an den Produktentwicklungsprozess an. Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme (PPS-Systeme) sind die unterstützenden Werkzeuge in dieser Phase.

Immer mehr Entscheidungen, die früher in nachgeschalteten Phasen stattfanden, werden in den Entwurfs- und Konstruktionsprozess verlagert. Der Grund dafür ist das rechtzeitige Erkennen von Problemen und Hindernissen, sowie die frühzeitige einheitliche Ausrichtung aller beteiligten Prozesse. (Eigner & Stelzer, 2009)

Konsequenterweise erscheint es unter Anbetracht dieser Prämisse sinnvoll ebenfalls Teile der Prozessplanung mit in die Produktentwicklung einzubeziehen. Dieser Gedankengang ist keineswegs neu, ist aber auf IT-seitiger Ebene zum heutigen Zeitpunkt relativ unangetastet. Einzuordnen ist das Thema unter dem Überbegriff *Digitale Fabrik*, deren erste Richtlinie von 2008 in Grundlagen zur Digitalen Fabrik der VDI stammt. (VDI4499, 2008)

1.2 Aufgabenstellung

Zielsetzung der Arbeit ist ein Konzept für ein integrierbares Manufacturing Management Modul (MPM) zu entwickeln. Prototypisch soll das Konzept anhand der PDM-Software CIM DATABASE (CDB) implementiert werden. Zum Schluss sollen zur Evaluation des Moduls inhaltlich ähnliche Systeme als Vergleich herangezogen werden.

Thematisch steht hierbei die Synchronisation der Produktionsplanung mit dem Entwicklungsprozess eines Produktes im Vordergrund. Nach Festlegung der Anforderungen beginnt die Konstruktion eines Produktes mit der Erstellung von Modellen in einem CAD-System. Das resultierende Ergebnis dieses Prozesses ist eine Stückliste die in einem PDM System gepflegt wird. Die Stückliste beantwortet die Frage, woraus das Produkt besteht. Allerdings geht aus ihr nicht hervor wie, mit welchen Mitteln und in welcher Reihenfolge die Einzelteile zusammengesetzt werden.

Der herkömmliche Produktentstehungsprozess in Abbildung 1 sieht vor, die Planung der Fertigung in einer zu der Entwicklung nachgelagerten Phase zu platzieren. Im Sinne des frühzeitigen Erkennens von Problemen und der Prozessoptimierung ist dieses Vorgehen fragwürdig. Auch im Hinblick auf wirtschaftliche Faktoren bringt eine frühe Einbindung der Produktionsplanung eine Verkürzung der Realisierungs- und Anlaufphase mit sich. (Eigner & Stelzer, 2009) Die Aufgabenstellung dieser Arbeit lässt sich aus dieser Anforderung ableiten.

Es existieren bereits Lösungen, allerdings zeichnen sich diese oft durch hohe Komplexität aus und sind ungeeignet für das Erreichen von schnellen, pragmatischen Ergebnissen speziell im Kontext des Entwicklungsstadiums eines Produktes.

Fokus des zu realisierenden Konzeptes ist eine auf Kernfunktionalität bezogene, anwenderfreundliche, in das PDM System integrierbare Lösung. Inhaltlich wird eine Software spezifiziert, mit der parallel zum Entwicklungsstand des Produktes die Produktionsplanung top-down modellierbar ist.

Die daraus resultierenden Pläne sollen dabei generisch konzipiert werden. Nähert sich der Reifegrad eines Produktes der Fertigstellung, erfolgt eine konkrete Ausprägung der Planung. Dabei soll das Modul die Möglichkeit bieten, für verschiedene Standorte individuelle Arbeitspläne für das gleiche Produkt zu realisieren.

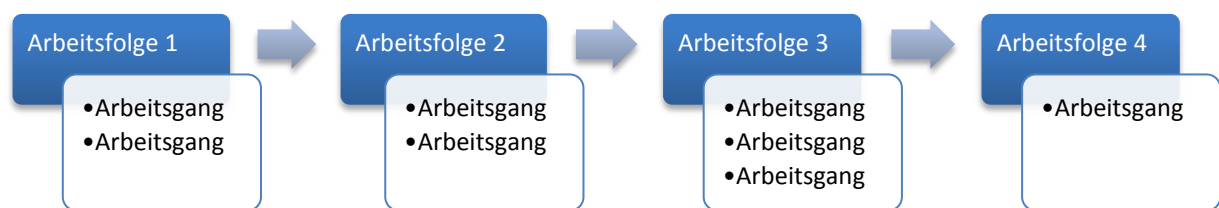


Abbildung 2: Beispiel Arbeitsplan

In der oben aufgeführten Abbildung ist exemplarisch dargestellt, wie eine abstrakte Arbeitsplanung aussehen könnte. Es sind verschiedene Bearbeitungsarten mit zugeordneten Aktionen sichtbar, die ein Teil bei seiner Fertigung durchlaufen muss. In einem konkreten Arbeitsplan werden den Bearbeitungsarten Arbeitstationen und den Aktionen Ressourcen, wie Werkzeuge oder Anlagen zugewiesen.

Ein Arbeitsplan hat dabei nicht immer, wie in der Grafik dargestellt, einen linearen Ablauf. Ebenfalls möglich sind parallele und sequentiell voneinander abhängige Teilprozesse.

Bei der prototypischen Implementierung wird CDB als Grundgerüst verwendet, in der bereits eine bestehende Infrastruktur vorhanden ist. Beispielsweise werden Stücklisten, Varianten, sowie der Lebenszyklus eines Produktes bereits vollständig abgebildet.

Die Konfiguration der Arbeitsplanung wird über die GUI von CDB realisiert. Neben dem Anlegen des Datenmodells, soll eine Möglichkeit zur Visualisierung der Planung angeboten werden. Darüber hinaus werden Schnittstellen zur Verfügung gestellt, um die Pläne in nachgelagerte Systeme zu exportieren.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit soll den Leser zunächst in den Grundlagenkapiteln auf eine weiterführende Erörterung des Themas vorbereiten. Der Schwerpunkt der Grundlagen liegt auf den Bereichen der Produktionstechnik, da ein Basiswissen an dieser Stelle unabdingbar für das weiter Verständnis der Arbeit ist.

Nach einer Übersicht des aktuellen Stands der Produktionsplanung innerhalb von Unternehmen wird zur Kernthematik übergeleitet. Die Erstellung eines Konzeptes zur Realisierung eines Modules zur Synchronisation des Produktplanungsprozess mit der Produktentwicklung.

Beginnend mit der Definition der Anforderungen an das Konzept, wird ein Vorgehen entwickelt, das die Basis zur Umsetzung einer Implementierung darstellt.

Anschließend wird die prototypische Implementierung am Beispiel des PDM – Systems *CIM DATABASE* durchgeführt. Hierbei werden insbesondere die Anwendungsfälle und die funktionalen Anforderungen hervorgehoben, da diese in ähnlicher Form in jedem anderen PDM – System ebenso abgebildet werden müssen.

Den Abschluss der Arbeit bildet die Evaluation des Prototyps. Anhand der Umsetzung von drei Szenarien wird er mit zwei kommerziellen Anwendungen verglichen. Dabei werden die Stärken und die Schwächen des Prototyps analysiert.

2 Grundlagen

2.1 Produktmodell

Ein Produkt im Sinne eines wirtschaftlichen Gutes ist das Erzeugnis eines Wertschöpfungsprozesses. Das Produktmodell ist das virtuelle Konzept eines Produktes. Im industriellen Bereich werden die digitalen Informationen zu diesem Konzept in einem PLM System abgebildet.

Die Abbildung der Produktstruktur ist ein notwendiger Schritt, um die Komplexität zu verstehen und auf Basis dieses Verständnisses zu verändern und zu gestalten. Sie setzt sich dabei aus Komponenten, Baugruppen und deren Strukturbeziehungen zusammen. (Schuh, 2005)

Die wichtigsten Produkt- und Erzeugnisstrukturen in der mechanischen Produktion sind Stücklisten und Verwendungsnachweise. Stücklisten werden in unterschiedlichen Organisationsbereichen entlang des Produktentstehungsprozesses eingesetzt. (Silber, Blohm, Beer, & Seidenberg, 2008)



Je nach Zielsetzung und Anforderung kann die Betrachtungsweise einer Stückliste variieren. Die Entwicklungsstückliste spiegelt die Sicht des Konstrukteurs auf ein Produkt wider. Im weiteren Verlauf des Entstehungsprozesses wird der Blickwinkel je nach Prozessschritt zunehmend verändert. Die Fertigungsstückliste kann gegenüber der Entwicklungsstückliste eine modifizierte Struktur aufweisen und ergänzt sie um Fertigungs- und Montageangaben. (Zenner, 2006)

Variantenstücklisten enthalten neben dem Grundaufbau des Produktes Information zur speziellen Ausprägung, abhängig vom Anwendungskontext oder Kundenwunsch (Beispiel Automobilindustrie).

Verwendungsnachweise hingegen sind synthetische Strukturen, aus denen hervorgeht, in welchen Baugruppen oder Endprodukten ein bestimmtes Teil verbaut ist.

Modelle dieser Art dienen ganzheitlich dem Zweck der Komplexitätsreduktion und können für ein leichteres Verständniss aufeinander aufbauen. Der Detaillierungsgrad je nach Modell kann dabei variieren. In einzelnen Modellen werden Detailinformationen beschrieben und ein weiteres Modell mit reduziertem Detaillierungsgrad fasst diese Modelle zu einem Gesamtbild

zusammen. Ein Beispiel hierfür ist eine Baugruppenzeichnung die durch Einzelteilzeichnungen ergänzt wird. (Volker, Dettmering, Engel, & Karcher, 2005, S. 30-32)

2.2 Produktdaten- und Produktlebenszyklusmanagement

2.2.1 Definition

Mitte der 90er Jahre mit zunehmend starkem Einfluss der IT auf sämtliche Bereiche des „Discrete Manufacturing“ (produzierende Industriebereiche), sowie des „Non Discrete Manufacturing“ setzte sich der Begriff des Produkt Data Managements für die Prozessdokumentation in diesen Bereichen durch.

Aus damaliger Sicht wurde PDM verstanden als Management von produktdefinierenden Daten in Verbindung mit der Abbildung von technischen und/oder organisatorischen Geschäftsprozessen. (Eigner & Stelzer, 2009, S. 31)

Aus heutiger Sicht ist PDM eng mit dem Product Lifecycle Management verknüpft. PDM bildet den Backbone für die Abbildung eines vollständigen Produktlebenszyklus. Es steht die Verwaltung von Daten, Dokumenten, Prozessen und Projekten im Vordergrund, welche sich auf die Produktentwicklung beziehen. (Eigner & Stelzer, 2009)

Jedes produzierende bzw. entwickelnde Unternehmen sieht sich daher mit der Herausforderung konfrontiert, ein geeignetes System zu nutzen, das die Kontrolle interner und externer Abläufe unterstützt. (VDI2219, 1999)

Die heutige Marktsituation national, wie auch international veranlasst einen stetigen Anstieg der Komplexität von Geschäfts- und Entwicklungsprozessen. Strategische Ziele, wie die Senkung von Entwicklungskosten und „Time to Market“ rücken dadurch zunehmend in den Mittelpunkt. Um aus wirtschaftlicher Sicht weiterhin konkurrenzfähig zu sein, ist es unabdingbar langfristig die eigenen Prozesse zu optimieren (Eigner & Stelzer, 2009, S. 5)(Dombrowski, Tiedemann, & Bothe, 2001)

Product Lifecycle Management stellt einen geeigneten Lösungsansatz dar. Die Komplexität eines Unternehmens wird bestimmt durch seine Produktvielfalt. Der hohe Integrationsgrad eines PDM – Systems in allen Phasen des Produktlebenszyklus bietet den Vorteil einer gemeinsamen Datenbasis über die Lebenszeit eines Produktes. Informationsflüsse verschiedener Disziplinen können koordiniert und auch standortunabhängig synchronisiert werden. Relevan-

te Informationen ausgehend vom Entstehungsprozess bis hin zur Wartung werden erfasst. (Volker, Dettmering, Engel, & Karcher, 2005)

Erst die informationstechnische Durchdringung jedes einzelnen Bereiches ermöglicht die Optimierung des gesamten Lebenszyklus. Frontloading, also die Vorverlagerung von Ressourcen und von ergebniskritischen Teilprozessen in die frühen Phasen des Produktlebenszyklus, ist eine Möglichkeit zur Erhöhung der Qualität und Senkung der Kosten. (Eigner & Stelzer, 2009, S. 41)

Historisch gesehen erfüllen PDM- und PLM-Systeme unterschiedliche Zwecke und haben andere Wirkungsbereiche. Im Laufe der Zeit haben sich die beiden Begriffe angenähert, so dass sie im Rahmen dieser Arbeit synonym verwendet werden. (Volker, Dettmering, Engel, & Karcher, 2005)

2.2.2 Variantenstückliste

In einem PDM-System werden Produktdaten und Produktstrukturen häufig in Form von Stücklisten dargestellt. Stücklisten zeichnen sich durch ihren einfachen Aufbau aus, der IT-seitig leicht zu verarbeiten ist. Stücklistenarten unterscheiden sich hauptsächlich in ihrem Anwendungszeck und der Sicht die sie auf Produkt geben. (Schuh, 2005)



Nach DIN-Norm 199-2 werden die folgenden Stücklistenarten definiert, die Baukastenstückliste, Strukturstückliste, Gleichheitsteilliste, Mengenübersichtsliste und die Variantenstückliste. (DIN199-1, 2002) Nähere Beschreibungen zu den einzelnen Stücklisten finden sich beispielsweise in Eigner & Stelzer, 2009.

Relevant für diese Arbeit ist die Variantenstückliste.

„Die Variantenstückliste ist eine Zusammenfassung mehrerer Stücklisten auf einem Vordruck, um verschiedene Gegenstände mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Bestandteile gemeinsam aufführen zu können. Die Variantenstückliste enthält die für alle Varianten erforderlichen und alle für die verschiedenen Varianten zugeordneten Teile.“(DIN199-1, 2002)

Da es bei vorhanden Varianten in einer Produktstruktur nicht sinnvoll erscheint für jede Ausprägung eine eigene Stückliste zu führen, werden Gleichteile- oder Plus/Minus-Stücklisten verwendet. Innerhalb einer Gleichteilestückliste werden künstliche Gleichteilbaugruppen gebildet, die in allen Varianten enthalten sind. Jede Variante besteht dabei aus der künstlichen Gleichteilbaugruppe, sowie zusätzlichen Bauteilen und Baugruppen. (Zenner, 2006)

Die Plus/Minus-Stückliste definiert eine spezielle Variante als Grunderzeugnis. Alle Unterschiede gegenüber dem Grunderzeugnis werden durch Plus- bzw. Minussteile ausgedrückt. Ein Nachteil, den beide Arten zulassen, ist die Nicht-Berücksichtigung von Varianten über mehrere Hierarchieebenen hinweg. (Eigner & Stelzer, 2009)



Im Bezug auf diese Ausarbeitung wird der Begriff der 150%- oder Maximalstückliste verwendet. Der Begriff lehnt sich an die von Eigner et. al. beschriebene IT-geeignete Variantenstückliste an. Er erweitert die beiden konventionellen Ansätze zum Aufbau der Variantenstruktur um einen Variantenplatzhalter. Alle Ausprägungen erhalten die gleiche Identifikationsnummer und werden stattdessen durch Merkmale identifiziert.

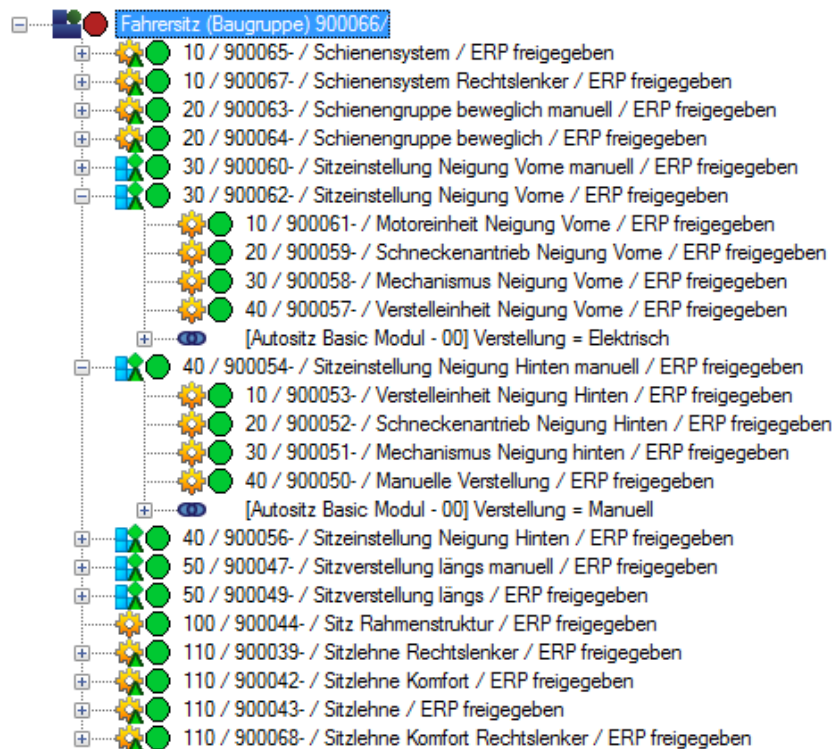


Abbildung 3: Variantenstückliste nach Eignet et. al. am Beispiel von CIM DATABASE
(Contact Software GmbH)

In Abbildung 3 ist ein Beispiel einer Maximalstückliste zu sehen. Die beiden Baugruppen mit der Identifikationsnummer 900062 und 900054 sind beide Bestandteile der übergeordneten Baugruppe 900066. Das Merkmal *Verstellung* legt fest, welches der beiden Elemente verbaut wird. Wäre die *Verstellung Elektrisch* würde 900062 verbaut werden, bei *Manuell* 900054.

Durch die Filterung aller Hierarchieebenen der Maximalstückliste anhand der Merkmalsdefinitionen wird eine konkrete Stückliste für eine bestimmte Produktvariante ausgeleitet.

2.3 Technische Produktionsplanung

Der Begriff der Produktionsplanung wird aufgrund der vielfältigen Tätigkeiten, die während des Prozesses durchgeführt werden, auf recht unterschiedliche Weise verstanden. Teilweise werden Begriffe synonym verwendet und erhalten dadurch eine ungewollte Mehrdeutigkeit. Zu Beginn dieses Abschnittes soll die Bedeutung im Kontext dieser Arbeit erläutert werden.

Fertigungsplanung, Arbeitsplanung, Arbeitsvorbereitung oder Produktionsplanung sind die Synonyme die am Häufigsten Verwendung finden. Der Begriff der Produktionsplanung wird besonders in produzierenden Unternehmen für die Beschreibung von zwei unterschiedlichen Prozessen verwendet. Zum Einen die Vorbereitung der Leistungserstellung und zum Anderen die laufende Planung des Produktionsprogrammes. (Zenner, 2006)

Dies ist auf unterschiedliche Sichtweisen der Planung zurückzuführen. Sowohl aus ingenieurswissenschaftlicher- als auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht findet der Planungsbegriff Verwendung. Eine nähere Betrachtung des Begriffes trägt zum besseren Verständnis bei. Wöhe beschreibt die Planung als das Treffen von in die Zukunft gerichteten Entscheidungen, durch die der betriebliche Prozessablauf als Ganzes und in seinen Teilen festgelegt wird. (Wöhe, 1996)

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht lässt sich damit die Tätigkeit der phasenweisen Planung und Steuerung der Produktion, hinsichtlich Art, Menge und Kapazitäten beschreiben. Also ist dies ein unterstützender Prozess während der eigentlichen Produktion. (Wiendahl, 2005)

Aus IT-Technischer Sicht findet sich die Abbildung dieser Art von Prozessen in einem Produktionsplanung- und Steuerungssystem (PPS) wieder. (Luczak & Everseheim, 1998)

Die Ingenieurwissenschaften blicken auf eine Historie zurück, die den Begriff der Produktionsplanung geprägt haben. Anfang des 20. Jahrhunderts erreichte die Fertigung ein Maß an Komplexität, das ohne Vorauszudenken nicht mehr zu bewältigen war. In dieser Zeit entstand der Begriff der Fertigungs- bzw. Arbeitsvorbereitung, der sich auf den gesamten Herstellprozess auswirkte. (Eversheim, 1997)

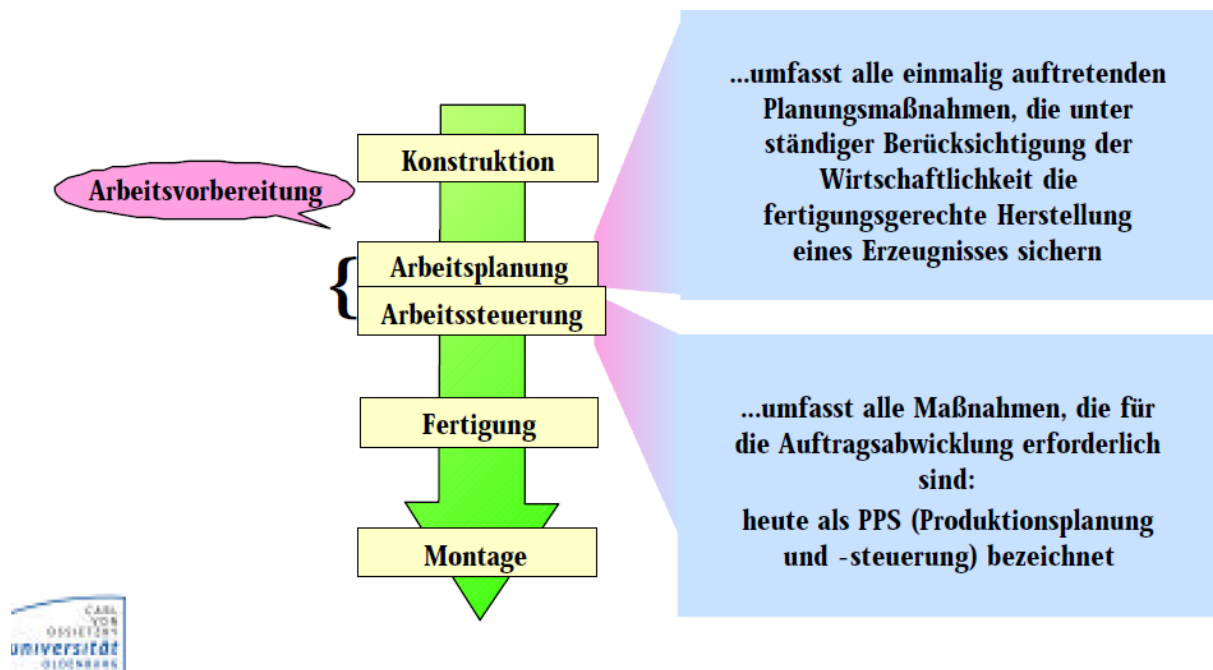


Abbildung 4: Einordnung Arbeitsvorbereitung (Gronau, 2002) in Anlehnung an (Eversheim, 1997)

Nach Eversheim sind der Arbeitsvorbereitung die beiden Bereiche Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung untergeordnet (Abbildung 4). Die Arbeitsplanung beinhaltet alle einmalig auftretenden Planungsmaßnahmen, die unter wirtschaftlichen Aspekten die Herstellung eines Produktes sichern. Beispiele dafür sind das Erstellen der Fertigungsstückliste (mBom) oder die Planung der Arbeitsvorgänge. Die Arbeitsplanung legt somit das *was*, *wie*, und *womit* fest. (Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung (AWF) e.V., 1968)

Die Arbeitssteuerung hingegen enthält alle Maßnahmen, die für eine erfolgreiche Durchführung der Arbeitsplanung erforderlich sind. Sie gibt die Antworten auf die Fragen *wie viel*, *wann*, *wo* und durch *wen*. (Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung (AWF) e.V., 1968)

Eversheim beschreibt zudem die zeitliche Komponente der Arbeitsplanung unter den Begriffen der Arbeitsablaufplanung und der Arbeitssystemplanung. Die Arbeitssystemplanung umfasst dabei die mittel- bis langfristigen Ziele zur wirtschaftlichen Gestaltung der produzierenden Bereiche. Flächen- und Gebäudeplanung, sowie das benötigte Personal sind weitere Aspekte die Einfluss auf die Systemplanung haben.

In der Arbeitsablaufplanung zielt der Zeithorizont auf die kurz- bis mittelfristigen Ziele ab. Aufgaben sind unter anderem die Prozessplanung der Arbeitsvorgänge auf Basis der Fertigungsstückliste, sowie die Festlegung der benötigten Fertigungsmittel. Eine Tabelle weiterer

Aufgaben die Bestandteil der Arbeitsablaufplanung sind finden sich in folgender Tabelle wieder:

Aufgaben der Arbeitsablaufplanung	
Planungsvorbereitung	<ul style="list-style-type: none"> • Beratung der Konstruktion • Grobplanung
Stücklistenverarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Erstellen von Fertigungs- und Montagestücklisten
Arbeitsplanerstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Ausgangsteilbestimmung • Prozessfolgeermittlung • Fertigungsmittelauswahl
Operationsplanung	<ul style="list-style-type: none"> • Spannlagenbestimmung • Werkzeugauswahl • Operationsreihenfolge
Montageplanung	<ul style="list-style-type: none"> • Grob Ablaufplanung • Feinablaufplanung
Prüfplanung	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfplanerstellung • Prüfanweisungserstellung
Fertigungs- und Prüfmittelplanung	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Sonderwerkzeugen und –vorrichtungen
NC-/RC-Programmierung	<ul style="list-style-type: none"> • NC-Programmerstellung • RC-Programmerstellung
Kostenplanung / Kalkulation	<ul style="list-style-type: none"> • Kalkulation • Verfahrensvergleich • Wirtschaftlichkeitsprüfung

Tabelle 1: Aufgaben der Arbeitsplanung nach (Eversheim, 1997)

Die Produktionsplanung deckt sich inhaltlich mit den Aufgaben der Arbeitsablauf- und Arbeitssystemplanung. Einzelne Aufgaben oder die Zeithorizonte können dabei variieren sind

aber im Kontext dieser Arbeit zu vernachlässigen, da nur Teile der Produktionsplanung im konzipierten Modul adressiert werden. Für eine weitere Konkretisierung wird im weiteren Verlauf der Begriff der technischen Produktionsplanung in Anlehnung an (Bley & Zenner, Handling of Process and Resource Variants in the Digital Factory, 2005) verwendet. Die technische Produktionsplanung umfasst die Aspekte der Arbeitsvorbereitung, die zur Planung und Realisierung eines Produktionssystems für die Produktion erforderlich sind. Der Zusatz *Technische* hat eine bilaterale Funktion in dem der Bezug zu dem ingenieurwissenschaftlichen Ansatz der Arbeitsvorbereitung hervorgehoben und eine klare Abgrenzung zum betriebswirtschaftlichen Begriff der Produktionsplanung vollzogen wird.

Laut (DIN33400, 1983) und (Eversheim, 1997) wird der Begriff der technischen Produktionsplanung in dieser Arbeit 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.

2.3.1.1 Fertigungs- und Montageplanung

Die technische Produktionsplanung ist der Oberbegriff für alle planerischen Tätigkeiten zur Vorbereitung der Produktion. Neben Disziplinen wie der Planungsvorbereitung, Operationsplanung, Prozessplanung, Kostenplanung, Prüfplanung, sind auch die Fertigungs- und Montageplanung Bestandteil des Gesamtkonzeptes. (Eversheim, 1997)

Die Komplexität des Prozesses erlaubt es im Rahmen dieser Arbeit nicht eine ganzheitliche Abbildung aller relevanten Faktoren umzusetzen. Da eines der Ziele der Ausarbeitung die Fokussierung auf praxisrelevante Planungstätigkeiten, angemessen für kleine und mittelständische Unternehmen ist, handelt dieser Abschnitt vorrangig von der Fertigungs- und Montageplanung. Erzeugnisse dieser beiden Planungsprozesse sind unter anderem der Arbeitsplan und der Ortstrukturplan.

In der Fachliteratur werden beide Prozesse getrennt dargestellt, da sie sich mit unterschiedlichen Phasen der Planungstätigkeit beschäftigen. Da das Konzept jedoch darauf angewiesen, ist an Stellen zu vereinfachen, bei denen andere Systeme detailliertere, allerdings komplexere Lösungsansätze vorschlagen, wird im Kontext dieser Arbeit der Ortstrukturplan als ein ge-

meinsames Produkt dieser beiden Prozesse angesehen. Aus der Konsequenz der Zusammenlegung heraus ergibt sich, dass der Plan Elemente aus beiden Phasen in sich vereint.

Ursprung jedes Produktes ist ein Kundenwunsch. Kundenwünsche werden zunehmend komplexer und individueller. In der kundenorientierten Produktion gehören Fließbandprodukte zunehmend der Vergangenheit an. Diesem Wandel müssen sich produzierende Unternehmen stellen und dabei wirtschaftlich agieren. Durch die Vielzahl an unterschiedlichen Arbeitsinhalten nimmt gleichzeitig die Wichtigkeit von Arbeitsplänen zu. Mitarbeiter, die sich früher auf ihre Erfahrung verlassen konnten, sind heutzutage mit der steigenden Variantenvielfalt auf detaillierte und qualitativ hochwertige Arbeitsanweisungen angewiesen. Qualität kann aber nur über eine durchgängige Planung erreicht werden, in der bereits früh alle Produktionsfaktoren berücksichtigt werden. (Lindemann, Reichwald, & Zäh, 2006)

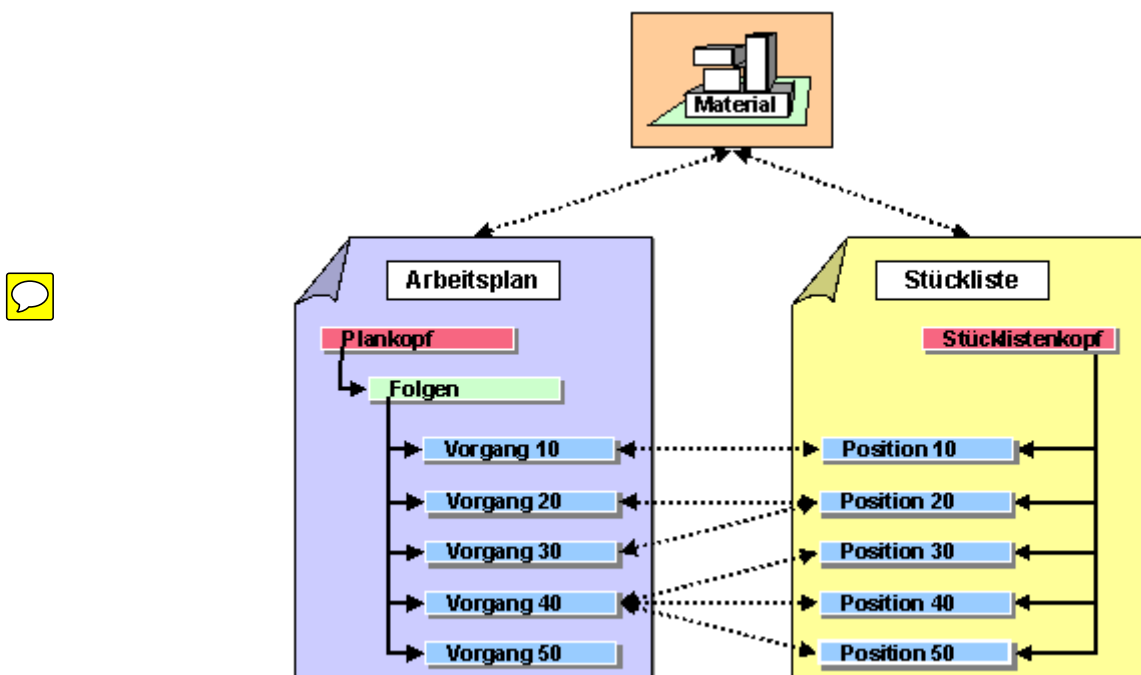


Abbildung 5: Zusammenhang von Arbeitsplan und Stückliste (SAP SE, 2014)

Zusammen mit der Stückliste ist der Arbeitsplan das Instrument zur Steuerung der Produktion. In Abbildung 5 ist die Korrelation zwischen beiden Elementen dargestellt. Dabei sind einzelne Arbeitsgänge mit Stücklistenpositionen verknüpft. Die logische Verknüpfung dieser beiden Elemente ist notwendig für den Entwurf des MPM-Modules und bildet die Grundlage für die Brückenfunktion zwischen der Entwicklungsphase und der Planungsphase.

Analog zu der Stückliste werden die folgenden Möglichkeiten der Arbeitsplanung unterschieden. Wiederholungsplanung, Änderungsplanung, Variantenplanung, Ähnlichkeitsplanung und Neuplanung. Ziel der Arbeit ist die Variantenplanung zu beherrschen. Sie beinhaltet die maximale Anzahl an Arbeitsschritten für die Fertigung einer vollständigen Produktvariante. (Schack, 2008)

Äquivalent zu der Variantenstückliste in Kapitel 2.2.2 lassen sich alle relevanten Arbeitsschritte zur Fertigung eines konkreten Produktes entweder durch die Verknüpfung zur Stückliste oder über die zusätzliche Definition von Produktmerkmalen herausfiltern. (Lindemann, Reichwald, & Zäh, 2006)

Der Arbeitsplan als Teil der Wertschöpfungskette definiert die Tätigkeiten und die Abfolge zur Erzeugung eines Produktes. Ersteller ist der Arbeitsplaner, der ebenfalls für die Festlegung von Arbeitsschritten, Arbeitsplätzen und Qualitätsanforderungen, sowie die Einhaltung von Arbeits- und Sicherheitsrichtlinien verantwortlich ist. (AWF - Arbeitsgemeinschaft, 2005)

Eine Teilaufgabe der Fertigungs- und Montageplanung, ist die Planung der Abläufe und Produktionseinrichtungen. Damit ist die Gesamtheit aller Vorgänge gemeint, die der Erstellung und dem Zusammenbau von geometrischen Körpern dienen. (CIRP, 2004)

Durch die Reduzierung der beiden Prozesse und Zusammenlegung ihrer Aufgaben wird im Kontext dieser Ausarbeitung als Teilprodukt der Ortstrukturplan definiert. Neben dem Arbeitsplan wird ein Plan benötigt, der die physische Komponente der Fertigung und Montage abbildet. Während der Arbeitsplan das *Wie*, beschreibt, beschreibt der Ortstrukturplan das *Wo*. Dabei enthält er sowohl Informationen über den eigentlichen Produktionsstandort, als auch über die Lageposition und das Layout der einzelnen Produktionseinrichtungen, die am Fertigungsprozess beteiligt sind. (Zenner, 2006)

2.3.1.2 MPM-Systeme und existierende Lösungen

Erhöhter Marktdruck innovative Produkte kostengünstig und schneller auf den Markt zu bringen, veranlasst Unternehmen, zunehmend in die Steigerung der Effizienz ihrer Prozesse zu investieren. Die Produktionsplanung ist nach der Entwicklung selbst der zweit größte Kostenfaktor im Produktentstehungsprozess (PEP). (ProSTEP, 2013, S. 5)

Der klassische Ansatz zur Planung der Produktion besteht aus einer sequentiellen Prozessabfolge. (Abbildung 6)

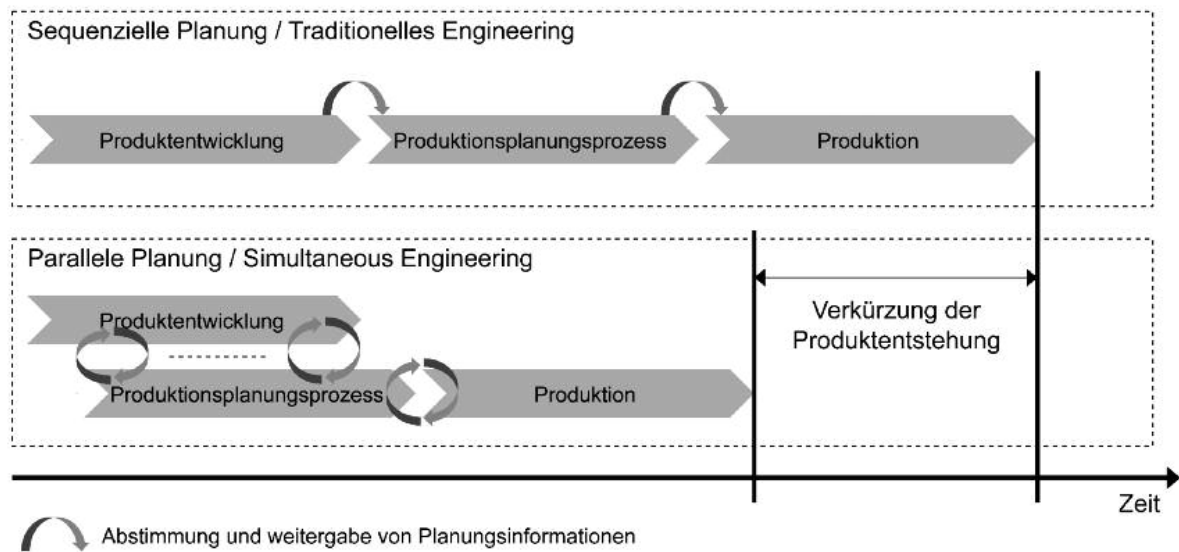


Abbildung 6: Vorteile einer parallelen Planung

Aus der Definition des Simultaneous Engineering ableitend, hätte eine parallele Prozessschaltung der Entwicklung und der Planung eine Verkürzung der Produktentstehung zur Folge. (ProSTEP, 2013)

Die IT-Seitige Synchronisation der beiden Prozesse ist die Herausforderung mit der sich diese Arbeit beschäftigt.

Die rechnerunterstützte Planung der Produktion hat in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen. (Eigner & Stelzer, 2009) Herkömmliche Software die in diesem Bereich zum Einsatz kommt, stößt zunehmend an ihre Grenzen. Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme (PPS) die zu diesem Zweck eingesetzt werden, sind meist Bestandteil einer ERP-Lösung und daher in der Entwicklungsphase nicht einzusetzen. Grund dafür ist die statische Handhabung, die nicht mit dem dynamischen Prozess der Entwicklung koordiniert werden kann. PPS-Systeme fokussieren daher den Bereich, der erst nach einer konkreten Auftragserteilung aktiv wird und decken daher nicht den in Abbildung 6 dargestellten Produktionsplanungsprozess ab. (ProSTEP, 2013)

Interessanter für den Produktionsplanungsprozess sind die Manufacturing Management Systeme. Sie sind in der Lage die Lücke zwischen Entwicklung und Produktion zu schließen. Auf dem Markt existieren hierfür einige Ansätze. Problem ist jedoch, dass es sich dabei in der

Regel um Insellösungen handelt. Medienbrüche, Zeitverluste, redundante Tätigkeiten und eine oftmals fehlende Integration in bestehende Systeme sind die Folgen.(ProSTEP, 2013)

Im Bereich der MPM-Softwarelösungen existieren bereits Lösungen, die ähnliches leisten, wie das hier konzipierte Modul. Zu nennen sind die Ansätze von Siemens Tecnomatix und von PTC MPM-Link. Beide Lösungen sind Komponenten der jeweiligen PLM Software und bieten daher idealerweise eine Vergleichsbasis an der es sich zu orientieren gilt. (Zenner, 2006)

2.3.1.3 Digitale Fabrik

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, 2008)

Die digitale Fabrik ist nach der Definition des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI), ein umfassendes Konstrukt zur elektronischen Erzeugung eines Produktes. Die Einführung und Umsetzung hat in vielen Unternehmen eine hohe Priorität, um den Herausforderungen der stetig komplexer werdenden Planungstätigkeiten gewachsen zu sein. Aktuell, sowie in der zeitnahen Vergangenheit ist die digitale Fabrik Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher und industrieller Arbeiten, schlicht und einfach aus dem Bedürfniss heraus, Produktionssysteme flexibler und reaktionsschneller zu gestalten. (Zäh, Patron, & Fusch, 2003)

Das Konzept der digitalen Fabrik umfasst viele Facetten und wird in der Literatur sehr unterschiedlich verstanden. Insbesondere durch ihren Funktionsumfang stellt die Einführung für Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) eine nicht leicht zu überwindende Hürde dar. Hohe Kosten und ein hoher personeller Aufwand kommen erschwerend hinzu. Mitarbeiter müssen geschult und Unternehmensabläufe zwangsläufig umgestellt werden. (Bernardi, 2005)

Dennoch müssen insbesondere Zulieferer für Großunternehmen gewisse Datenschnittstellen bereitstellen, um konkurrenzfähig zu bleiben. Da eine umfangreiche Einführung der digitalen Fabrik aber mit einem hohen Kostenaufwand verbunden ist, werden ihre Werkzeuge von ihnen oftmals nur für eine Scheinplanung eingesetzt. Im operativen Betrieb verwenden sie weiterhin einfache Standardsoftware, wie Excel oder Powerpoint. Dies führt zu einer Kostenspirale, da das eigentliche Potential der digitalen Fabrik nicht genutzt wird und zusätzlich die

konventionell erstellten Planungsergebnisse in eine vom Kunden geforderte Form überführt werden müssen. (Zenner, 2006)

Da das hier zu entwickelnde Modul ebenfalls die Planungsabläufe von KMU unterstützen soll erscheint eine Abgrenzung zur digitalen Fabrik sinnvoll. Im Folgenden wird daher der Begriff im Kontext dieser Arbeit definiert.

Dombrowski et. al. definieren die Digitale Fabrik als ein rechnerunterstütztes Abbild aller Gestaltungsmerkmale und Prozesse der realen Fabrik. Sie sei ein virtuelles Modell unter Verwendung von realen Planungsdaten. (Dombrowski, Tiedemann, & Bothe, 2001) Wiendahl versteht die Digitale Fabrik als ein Rechnermodell, das sämtliche Elemente und Prozesse einer Fabrik abbildet, um sie für den Menschen leichter verständlich zu machen. (Wiendahl, 2005) Schuh et. al. sehen in der digitalen Fabrik alle Prozesse, Produkte und Ressourcen einer Fabrik projiziert auf ein digitales Modell. (Schuh, 2005)

Die Fachliteratur stimmt im Allgemeinen überein und sieht den Wesentlichen Zweck der digitalen Fabrik darin, die Produktionsstätte realitätsnah abzubilden. Einigkeit herrscht außerdem darüber, alle Insellösungen die bisher in einem Unternehmen in Form von Software existieren, mit in die digitale Fabrik einzubinden. Allerdings reicht eine rein softwareseitige Umstellung nicht für eine effektive und nachhaltige Integration aus. Geschäftsprozesse, Abläufe und Denkweisen müssen umgestellt werden und zusammen mit den neuen Softwarelösungen integriert werden. (Dombrowski, Tiedemann, & Bothe, 2001)(Marczinski, 2004)

20 Prozent einer erfolgreichen Umsetzung der digitalen Fabrik ermöglicht die Software, 80 Prozent hingegen die Veränderung von Arbeitsabläufen und Denkweisen. (Reinfelder & Kotz, 2002)

Ziele sind die ganzheitliche Planung, die Evaluierung und die laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt. Darin stimmen mittlerweile die Wissenschaft und die industrielle Praxis überein. (Schack, 2008)

Dabei ist die technische Produktionsplanung ein wesentlicher Prozess zur Realisierung der Ziele. Die digitale Fabrik schließt somit die Brücke zwischen der Entwicklung und der Produktion und dient hauptsächlich dazu die Produkt- und Produktionsentstehungsprozesse zu optimieren. (Selke, 2005)

Im Kontext dieser Arbeit wird sie ebenfalls als solches Verstanden, als Brückenfunktion zwischen Entwicklungs- und Produktionsphase.

Ziel ist dabei stets die Optimierung von Zeit, Kosten und Qualität. Ermöglicht wird dies, durch den frühzeitigen und parallelen Einsatz der digitalen Werkzeuge während der Produktionsplanung und Produktentwicklung. Ein Mehraufwand während des Projektbeginnes steht dabei einer erheblichen Beschleunigung des Produktionsprozesses gegenüber. Einsparungen in der Planungszeit von bis zu 40% bei gleichzeitig höherer Qualität, sind laut Reinfelder et. al. möglich. (Reinfelder & Kotz, 2002)(Selke, 2005)

Weitere Ziele sind die Verbesserung der Kommunikation innerhalb des Planungsprozesses, eine Standardisierung, sowie die Erweiterung des Wissensmanagements. Diese Ziele werden ausführlicher in (VDI4499, 2008) beschrieben.

2.4 CIM Database

2.4.1 Allgemein

Der konkrete Entwurf zur Anbindung eines MPM Systems wird exemplarisch im Kontext der PLM und Projektmanagement Software CIM Database entwickelt. Die Konzeption sollte dennoch analog auf andere Systeme übertragbar sein.

Die Firma CONTACT Software GmbH hat ihren Hauptsitz in Bremen und ist der Distributor der modular aufgebauten, plattformunabhängigen und mehrsprachigen PDM-Lösung. Die Kernfunktionalität liegt in den Bereichen projektbezogenes Daten – und Dokumentenmanagement.

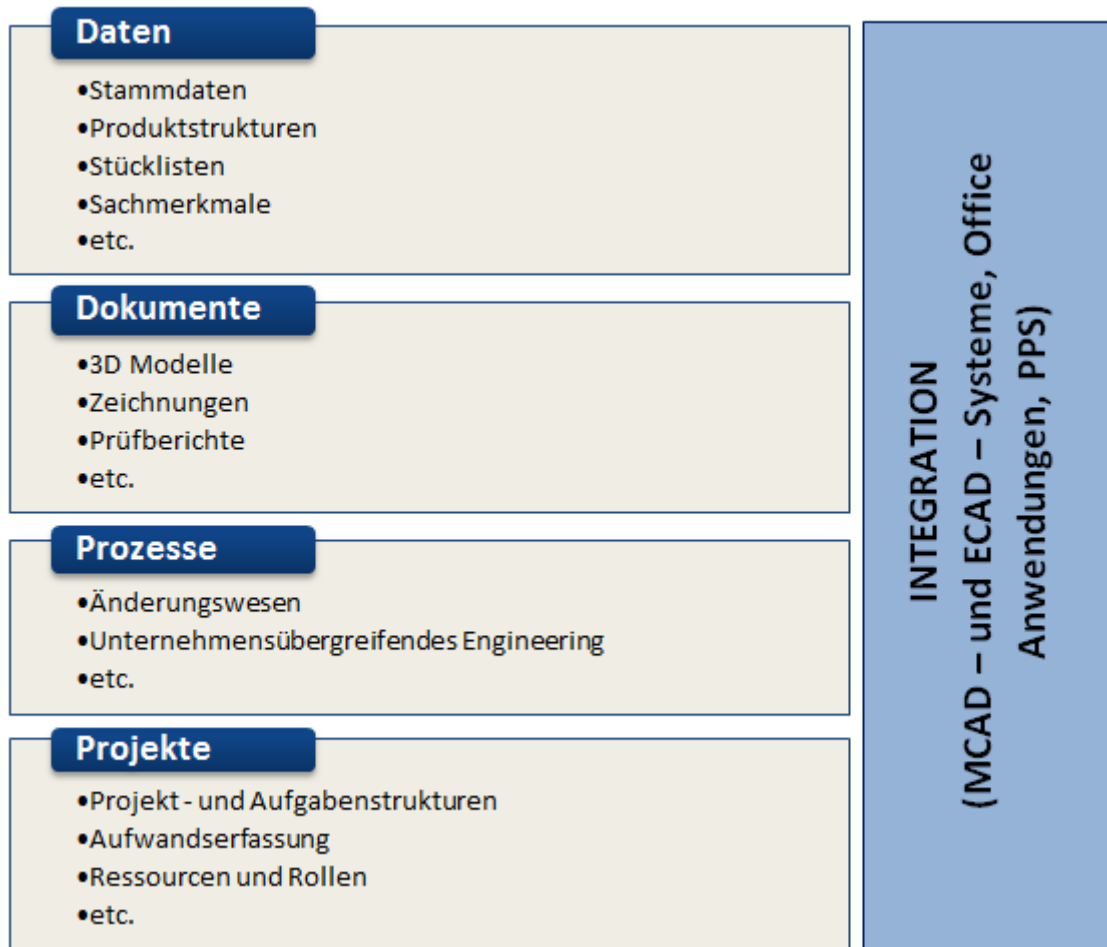


Abbildung 7: PDM-System als Integrationsplattform

Die Oberfläche zeichnet sich durch den klassischen „Windows-Stil“ aus und ist in mehrere Bereiche gegliedert: Menüleiste, Symbolleiste, ein Navigationsbaum und einen zentralen Ansichtsbereich. Alle Elemente lassen sich individuell an den jeweiligen Benutzer anpassen.

Die Standardausführung der Software beinhaltet die Module CAD-Modell- und Dokumentenverwaltung (MDM), Produktdatenhaltung (STL, SML), interner und externer Datenaustausch (PDX), das Project Controlling System (PCS) sowie die Volltext Suchengine und den Web-Client (eLINK).

Eine Installation teilt sich in vier Bereiche auf, dem Software Verzeichnis, dem Instanzverzeichnis, dem Blobstore und der Datenbank.

Das Softwareverzeichnis stellt sämtliche Tools und ausführbaren Dateien zur Verfügung, sowie diverse Templates und Kernfunktionalität.

Das Instanzverzeichnis repräsentiert den Aufbau und die zusätzlichen Modulfunktionalitäten, die üblicherweise speziell auf bestimmte Kundenanforderungen angepasst werden. Alle Änderungen, die vom Standard abweichen werden in der Instanz gepflegt und in den entsprechenden Modulen verwaltet.

Der Blobstore auch *E-Vault* genannt ist der Dateitresor der Software. An dieser Stelle werden alle Nutzdaten auf Dateiebene abgelegt und mit einer eindeutigen *ID* versehen. Eine *SQLITE* Datenbank indexiert die Daten für einen schnelleren Suchmaschinen Zugriff.

CIM DATABASE unterstützt die Schnittstellen zu den Datenbanken von Microsoft SQL, Oracle und Informix. In der Datenbank befinden sich sämtliche Metadaten zu Dateien und Dokumenten. Die Metadaten sind essenziell wichtig für das spätere Wiederauffinden von Informationen. Jeder Datensatz ist kontextabhängig attribuiert und kann durch die Eingabe beschreibender Eigenschaften wiedergefunden werden.

Metadaten beschreiben hierbei nicht nur Dateien, sondern ebenfalls Objekte die in der relationalen Datenbank abgelegt werden, wie Artikel, Projekte, etc. Jedes Objekt verfügt über spezielle Eigenschaften und ist mit anderen CIM DATABASE Objekten über Beziehungen verknüpft.

Objekte und Beziehungen können mit dem integrierten Data Dictionary frei konfiguriert und neu erzeugt werden. Für die Implementierung von zusätzlicher Logik, die über den konfigurierbaren Aspekt hinaus geht, existiert das *cdb.objects*-Framework. In Verbindung mit der Skriptsprache PYTHON ist es so möglich neue Module zu entwickeln.(Contact Software GmbH)

2.4.2 Data Dictionary

Die Geschäftslogik von CIM DATABASE wird im Data Dictionary abgebildet. (siehe Abbildung 8: Architektur Data Dictionary (Quelle:))

Operation	Abfolge
Suchen	<ul style="list-style-type: none"> • Aufblenden der Suchmaske • Suchkriterien eingeben • Objekte werden gefiltert in einer Trefferliste dargestellt
Neuanlage	<ul style="list-style-type: none"> • Aufblenden der Neuanlagemaske • Eingabe der Attributwerte • Speichern des Objektes in der Datenbank
Ändern	<ul style="list-style-type: none"> • Aufblenden der Änderungsmaske • Attributwerte können geändert werden • Speichern des Objektes in der Datenbank
Information	<ul style="list-style-type: none"> • Aufblenden der Informationsmaske • Attributwerte des Objektes werden angezeigt
Kopieren	<ul style="list-style-type: none"> • Kopie des Objektes wird erzeugt • Generierung eines neuen Schlüssels
Löschen	<ul style="list-style-type: none"> • Löschdialog wird aufgeblendet • Nach Bestätigung wird das Objekt aus der Datenbank entfernt

Tabelle 2: Standardoperationen eines CIM DATABASE Objektes(Contact Software GmbH, 2014)

An dieser Stelle sind keine Implementierungen notwendig, alles wird über die GUI von CDB gesteuert.

Für die Integration neuer Geschäftslogik existiert eine Programmierschnittstelle und das so genannte *CDB-Objects-Framework*.

Das Framework wird mit PYTHON angesprochen und unterstützt die Implementierung neuer Funktionalitäten durch Hilfsmethoden, automatisches Verknüpfen zwischen PYTHON-Klasse und Datenbank und automatisches Auslösen verschiedener Events. (Contact Software GmbH)

3 Methode zur Realisierung einer integrierten Planung

3.1 Verwandte Arbeiten

Der Ansatz der rechnerunterstützten Methoden zur effizienteren Realisierung des Produktionsprozesses ist bereits Thema akademischer Arbeiten. *CIM* (computer-integrated manufacturing) ist der Oberbegriff für all diese Methoden. Bereits in den frühen 70er Jahren wurde der Begriff von Joseph Harrington geprägt und verfolgt den Grundgedanken alle Entwicklungs-, Planungs- und Fertigungsprozesse durch bereichsübergreifende Informations- und Anwendungslösungen zu integrieren. (Fiedler & Fiedler, 1991)

In vielen Bereichen des Produktlebenszyklus, wie in etwa der Konstruktion durch CAD – Systeme und der weiteren Verwaltung der Daten in PDM – Systemen ist dieser Gedanke bereits Praxis. In anderen Bereichen, wie der rechnergestützten Planung steigt der Bedarf an einem durchgängigen Daten- und Informationsfluss zunehmend. (Menges & Schwarzwälder, 2005)

Andere Arbeiten die sich bereits mit ähnlichen Thematiken beschäftigen, sind beispielsweise die von (Jonas, 2000), der ein Vorgehen zur durchgängigen und rechnergestützten Planung von Montageanlagen beschreibt. Er definiert die folgenden Anforderungen für ein durchgängiges integriertes Planungsvorgehen:

- Unterstützung eines parallelen Vorgehens von Konstruktion und Montageplanung.
- Gewährleistung eines Änderungsmanagements zwischen den einzelnen Planungsbereichen.
- Schaffung einer durchgängigen Rechnerunterstützung für alle Montageplanungsaufgaben.
- Entlastung des Planers durch Vermeidung redundanter Datengenerierung.
- Unterstützung einer durchgängigen Planungslogik über alle Aufgabenbereiche.
- Einfache Anwendbarkeit mit möglichst grafisch unterstützter Bedienungsoberfläche.
- Gewährleistung der Integrationsfähigkeit in die bestehende Systemwelt.

Diese Anforderungen ergeben sich aus der Bewertung von verschiedenen Methoden zur Realisierung einer Montageplanung. Die Montageplanung ist Bestandteil der Produktionsplanung

und hat daher diverse Berührungspunkte mit dieser Ausarbeitung. Daher gelten die aufgestellten Anforderungen von (Jonas, 2000) zumindest eingeschränkt auch für diese Ausarbeitung.

(Klauke, 2002) hat in Bezug auf die Automobilbranche, ähnlich wie (Jonas, 2000), eine Softwarelösung entwickelt für die durchgängige und methodische Unterstützung der Produktionsplanung. Aufbauend auf einer Analyse der Anforderungen werden Teilaspekte der digitalen Fabrik für ein integriertes Softwaresystem umgesetzt. Der Fokus wird dabei auf planungsrelevante Objekte wie Produkt, Prozess und Ressource gesetzt. Offene Systemschnittstellen werden für die Möglichkeit einer durchgängigen Planung spezifiziert, ebenso wie die Anbindung an PPS – Systeme. (Schack, 2008) bezeichnet sowohl die Arbeit von (Jonas, 2000), als auch von (Klauke, 2002) als die Basis für heute kommerziell erhältliche Standardsoftwarelösungen zur methodischen und integrierten Produktionsplanung.

(Zenner, 2006) beschreibt in seiner Dissertation ein durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung. Er versucht mit seinem Ansatz die Lücke zwischen Entwicklung und Produktionsplanung von Seiten der Produktion aus zu schließen. Dabei verwendet er bestehende Produktionsplanungsprogramme, wie Tecnomatix oder DELMIA Process Engineer und erarbeitet ein Konzept zur Integration eines Variantenmanagements.

Sein Vorgehen zeichnet sich durch ein dreistufiges Modell aus, in dem er zunächst ein Grund- und ein IT-Konzept, sowie anschließend die Implementierung beschreibt. Daran angelehnt wird sich der Konzeptaufbau dieser Ausarbeitung orientieren, da ebenfalls eine möglichst generische Lösung angestrebt wird. Zudem findet die inhomogene Landschaft von klein- und mittelständischen Unternehmen in seinem Konzept Berücksichtigung, welches ebenfalls ein wichtiger Aspekt des MPM – Modules darstellt.

3.2 Situationsanalyse

3.2.1 Allgemein

Die Wirtschaft und ihre Teilnehmer sind ständig mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Aktuell hat sich in vielen Bereichen ein harter Verdrängungswettbewerb etabliert, in dem Produkte in immer kürzerer Zeit entwickelt und bei sinkenden Kosten gleichzeitig höhere Qualität bieten müssen. Rechnergestützte Werkzeuge und Methoden sind seit Jahren ein vielversprechender Ansatzpunkt, um den Anforderungen globaler Märkte gerecht zu werden. (Bracht, Wenzel, & Geckler, 2011)

Ein historisches Beispiel soll diesen Umstand verdeutlichen. Vor den 1970er Jahren wurden enorme Aufwände durch Schreibfehler in Dokumenten verursacht, da ein komplettes Dokument neu abgetippt werden musste. Mit Einführung der Textverarbeitungsprogramme während der 1970er Jahre wurde die Schreibmaschine fast vollständig verdrängt. Qualität, Zeit- und Kosteneffizienz haben sich nach einer Einführungsphase schlagartig gesteigert. (Bracht, Wenzel, & Geckler, 2011)

Gleiches war mit der Einführung von CAD- oder PDM-Systemen zu beobachten. In der heutigen Zeit konstruiert niemand mehr am Zeichenbrett und ordnet seine Konstruktionen in einer Mappe. Der digitale Einfluss auf alle Bereiche in einem produzierenden Unternehmen ist in vielen Routineaufgaben deutlich merkbar.

Heutzutage handelt es sich nicht um Textverarbeitungsprogramme oder CAD-Systeme sondern um die Einführung der digitalen Fabrik in Unternehmen. Die Umsetzung ist kostspielig und erfordert Ressourcen. Der Nutzen scheint laut Reinfelder et. al. den Mehraufwand zu rechtfertigen. Doch insbesondere KMU stehen vor der Herausforderung, den erhöhten Ressourcenbedarf nicht leisten zu können und wenn doch ein System umzusetzen, das über ihre Bedürfnisse hinausgeht. (Reinfelder & Kotz, 2002)

Diese Ausarbeitung beschreibt daher kein Konzept zur Umsetzung einer digitalen Fabrik, sondern die Umsetzung eines Teilaspektes der digitalen Fabrik, ausgerichtet auf die Bedürfnisse von KMU. Dabei sollte die Erwartungshaltung keineswegs sein, alle Funktionen der digitalen Fabrik in dem beschriebenen Modul wiederzufinden. Die Inhalte werden deutlich reduziert, um die Anforderungen und den begrenzten Ressourcenbedarf zu berücksichtigen, den KMU leisten können.

3.2.2 Ausgangssituation in KMU

Die digitale Fabrik ist vor allem bei Großunternehmen seit einigen Jahren Thema. *DaimlerChrysler* beispielsweise startete im Jahr 2000 das Projekt *Digitale Fabrik* und hat es bis 2005 realisiert. Ähnlich sieht es bei anderen großen deutschen Autoherstellern aus. Den meisten kleinen und mittelständischen Unternehmen hingegen steht dieser Schritt noch bevor. (Schack, 2008)

Da KMU häufig Zulieferer von Großunternehmen sind ist die Notwendigkeit sich mit dem Thema auseinanderzusetzen unumgänglich. Allerdings ist die Frage nach der Gestaltung der

digitalen Fabrik in Unternehmen dieser Größenordnungen weitestgehend unbeantwortet. (Bley, Fritz, & Zenner, Die zwei Seiten der Digitalen Fabrik, 2006)(Menges & Schwarzwälder, 2005)

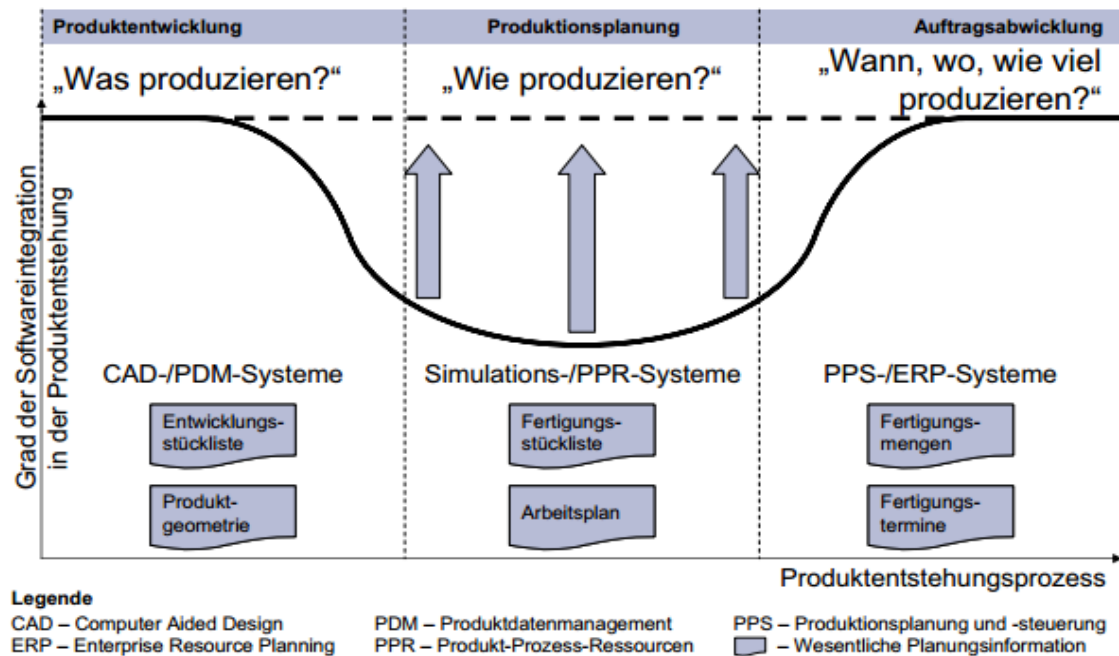


Abbildung 9: Softwareintegration (Schack, 2008)

Wenn auch der Schritt teilweise bereits mit der Einführung von PDM- und ERP//PPS-Systemen vollzogen ist zeigt Abbildung 9, dass der Grad der Softwareintegration in der Produktionsplanung im Vergleich zur Produktentwicklung und der Auftragsabwicklung im Durchschnitt gering ausfällt. Die Ursache ist historisch bedingt auf den bereits frühen Einsatz von PDM-Systemen in der Rechnerunterstützten Produktion zurückzuführen.(Eigner & Stelzer, 2009)

Da der Einsatz von PDM-Systemen in der Entwicklungsphase bereits die Regel ist, lässt sich dieser Ansatz weiterverfolgen und auf Basis des PDM-System eine integrierte Lösung für KMU erarbeiten.

3.2.3 Aufgaben der integrierten Produktionsplanung für KMU

In Abschnitt 2.3.1.1 Fertigungs- und Montageplanung wurden die Aufgaben der Produktionsplanung in Tabelle 1: Aufgaben der Arbeitsplanung nach vorgestellt. Wie bereits mehrfach betont wurde, muss das komplexe Feld der Produktionsplanung, so wie es in der digitalen Fabrik abgebildet ist für KMU praxisorientiert reduziert werden. (Mehnert, 2004) nimmt in

seiner Dissertation eine Klassifizierung der Arbeitsplanungsaufgaben vor. Er ordnet dabei jeder Aufgabe einen Kompetenzrahmen zu.

Aufgaben der Arbeitsablaufplanung	Kompetenzrahmen
Planungsvorbereitung	Arbeitsplanung
Stücklistenverarbeitung	Arbeitsplanung
Arbeitsplanerstellung	Arbeitsplanung
Operationsplanung	Controlling
Montageplanung	Arbeitsplanung
Prüfplanung	Qualitätssicherung
Fertigungs- und Prüfmittelplanung	Fertigung und Qualitätssicherung
NC-/RC-Programmierung	Fertigung
Kostenplanung / Kalkulation	Controlling

Tabelle 3: Kompetenzrahmenzuordnung der Arbeitsplanungsaufgaben nach (Mehnert, 2004)

In Tabelle 3 ist die Zuordnung der Kompetenzrahmen dargestellt. An dieser Stelle werden die Aktivitäten, die im Konzept berücksichtigt werden auf die der Arbeitsplanung reduziert. Vor dem Hintergrund für KMU eine praxisorientierte Lösung zu konzipieren, müssen Bereiche der Produktionsplanung außen vor gelassen werden. Die Aktivitäten die im Rahmen der Arbeitsplanung stattfinden sind für einen zielorientierten Lösungsansatz unverzichtbar (vgl. 1.2 Aufgabenstellung).

Die **Planungsvorbereitung** ist die Schnittstelle zwischen der Konstruktion und der Arbeitsplanung. In der Aktivität wird die Entscheidung über die verwendete Arbeitsplanungsmethode getroffen. (Mehnert, 2004)

In der **Stücklistenverarbeitung** wird die Stückliste mit Arbeitsplanungsinformationen angereichert. Die Stückliste dient dabei dem Informationstransfer zwischen der Konstruktion und der Arbeitsplanung. Durch die Verbindung entsteht die Fertigungsstückliste. (Mehnert, 2004)

Die **Arbeitsplanerstellung** dokumentiert die Reihenfolge aller Prozessschritte, die zur qualitätssichernden Fertigung eines Produktes notwendig sind. Erzeugnis dieser Aktivität ist der Arbeitsplan. (Mehnert, 2004)(Eversheim, 1997)

Die Aktivität der **Montageplanung** besteht aus einer Reihe von weiteren Unterprozessen. Darunter fallen die Informationsanalyse, Bestimmung der Arbeitsvorgangsfolge, Auswahl der Betriebsmittel, Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und die Layoutplanung. Ziel ist die geometrische exakte Planung der Montageanlagen und deren Abfolge. (Jonas, 2000)

Im Sinne des *Simultaneous Engineering* (vgl. 2.3.1.1 Fertigungs- und Montageplanung) reicht es dabei nicht aus, die Aufgaben in ein einfaches Planungskonzept zu integrieren, sondern es muss ein paralleles Vorgehen für die Konstruktion und der Produktionsplanung entwickelt werden.

3.2.4 Anforderungen der integrierten Produktionsplanung für KMU

Eine effektive Verkürzung der Produktentwicklungszeit kann mit konventionellen Methoden nicht erreicht werden. Insbesondere KMU müssen sich den neuen Herausforderungen stellen und in diesem Bereich auf eine durchgängige rechnergestützte Planung setzen. Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, sind derzeitige Lösungen entweder gekapselt von der bestehenden Systemwelt oder aber zu komplex für eine effiziente Einführung.

Dabei kristallisieren sich in Anlehnung an die von (Jonas, 2000) aufgestellten Anforderungen (vgl. 3.1 Verwandte Arbeiten) und aus den Aufgaben der integrierten Produktionsplanung (vgl. 3.2.3 Aufgaben der integrierten Produktionsplanung für KMU) folgende Anforderungen, für das Konzept eines MPM-Modules heraus:

- Unterstützung der parallelen Konstruktion und Arbeitsplanerstellung (Spur & Krause, 1997)
- Verknüpfung und Transfer der Stücklisteninformationen in die Produktionsplanung
- Schaffung einer integrierten und synchronen Montageplanung
- Gewährleistung eines Änderungsmanagements zwischen den einzelnen Planungsbereichen
- Einfache Anwendbarkeit mit möglichst grafisch unterstützter Bedienungsoberfläche (Kleineidam, 1990)
- Gewährleistung der Integration in die bestehende Systemwelt (Ridder, 1987)

In den folgenden Kapiteln wird auf Basis dieser Anforderungen ein Konzept zur integrierten Produktionsplanung für ein PDM – System erarbeitet.

3.3 Einordnung des MPM-Modules

Die Arbeit orientiert sich thematisch am Produktentstehungsprozess eines Unternehmens. Dabei werden speziell die drei aufeinanderfolgenden Phasen der Produktentwicklung, der Produktionsplanung und der Produktion betrachtet. Entlang dieser Phasen existieren bereits einige Lösungen zur technischen Unterstützung des Produktionsapparates.

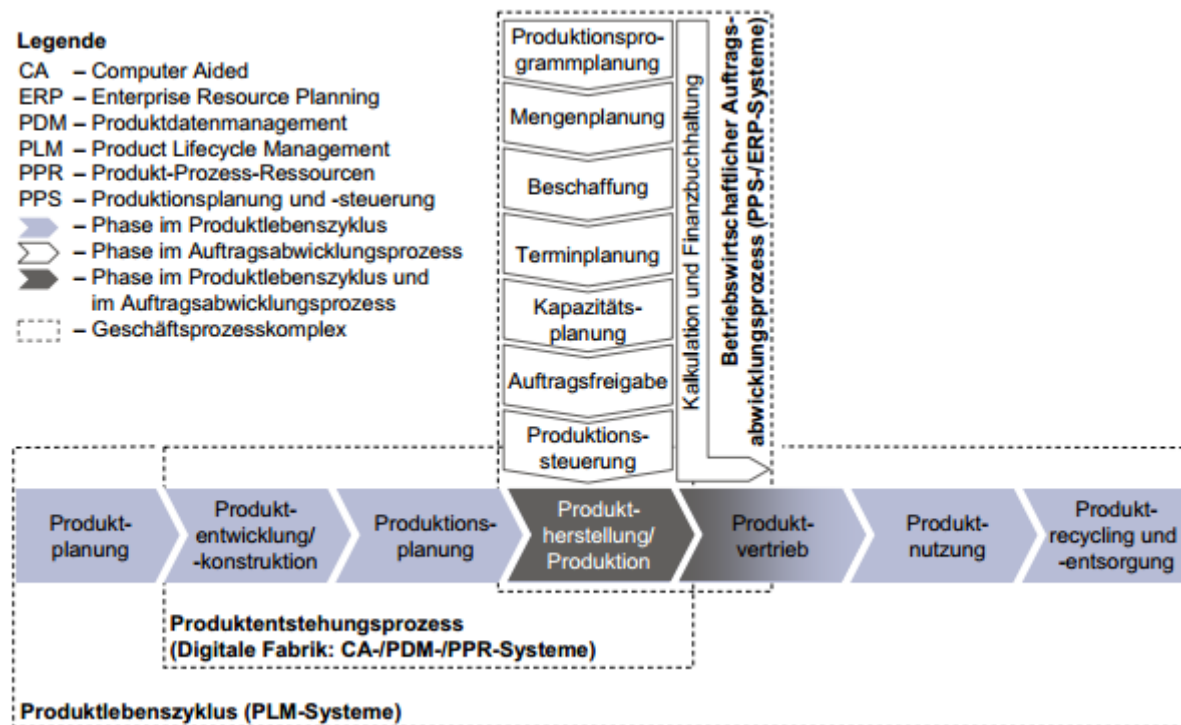


Abbildung 10: Abgrenzung von Produktlebenszyklus, Produktentstehungs- und Auftragsabwicklungsprozess (Schack, 2008)

In Abbildung 10 ist der Zusammenhang noch einmal dargestellt. Eine vollständige Lösung die sowohl prozess-, als auch softwaretechnisch in allen drei Phasen zusammenhängend integriert ist, wird als digitale Fabrik bezeichnet.

Insbesondere bei KMUs mangelt es allerdings an Systemen im Bereich der Produktionsplanung. Einige Unternehmen versuchen sich dabei mit Insellösungen oder konservativen Methoden zu behelfen, diese werden aber meist losgelöst von Vor- und Nachfolgeprozessen betrieben. (Zenner, 2006)

Das hier entwickelte Konzept für ein Manufacturing Process Modul soll diese Brückenfunktion übernehmen. Dabei wird das Konzept für ein System entstehen, das durch Reduzierung der

Komplexität eine praxisorientierte Lösung für den Bereich der Produktionsplanung und eine Verknüpfung zwischen PDM – und ERP – System darstellt.

Durch die Integration in ein PDM – System sollen die vorhandenen Informationen über das Produkt für eine vorrausschauende Planung genutzt werden. Durch den ständigen Abgleich zwischen Entwicklungsstückliste und der neu entwickelten Produktionsplanung sollen Hindernisse in der Produktion frühzeitig identifiziert werden.

Beispielsweise könnten Fälle erkannt werden bei denen Änderungen an der Entwicklungsstückliste vorgenommen werden, die Auswirkungen auf die Abfolge der Fertigungsschritte haben und das zu einem Zeitpunkt der noch in der Entwicklungsphase des Produktes liegt.

Der Fokus der Ausarbeitung liegt auf der Erstellung eines Konzeptes für die Integration eines MPM – Moduls in ein bestehendes PDM – System. Das Konzept wird im Anschluss prototypisch implementiert, um einen Anhaltspunkt auf die Gültigkeit zu erhalten.

Dabei hat die Entwicklung des Konzeptes den Hintergrund, dass eine reine Implementierung nicht sinnvoll erscheint, da eine Übertragung auf ein anderes PDM – System erleichtert werden soll. Aus diesem Grund wird eine höhere Abstraktionsstufe gewählt, um die Grundprinzipien und die Mindestanforderungen in dem Konzept hervorzuheben.

4 Konzept MPM – Modul

4.1 Einleitung

Die technische Produktionsplanung ist, wie die vorhergehenden Kapitel zeigen, keineswegs Neuland, weder im akademischen noch im industriellen Bereich. Mehr denn je, sind produzierende Unternehmen auf eine durchgängige und flexible Lösung angewiesen.

Sie ist das Bindeglied zwischen Konstruktion und Fertigung. Eine einheitliche Planung trägt dabei entscheidend zur Verminderung von Varianz in den Folgeprozessen bei.

Grundlage sind vollständig beschriebene Produkt - und Prozessvarianten die eine zuverlässige Planung ermöglichen.

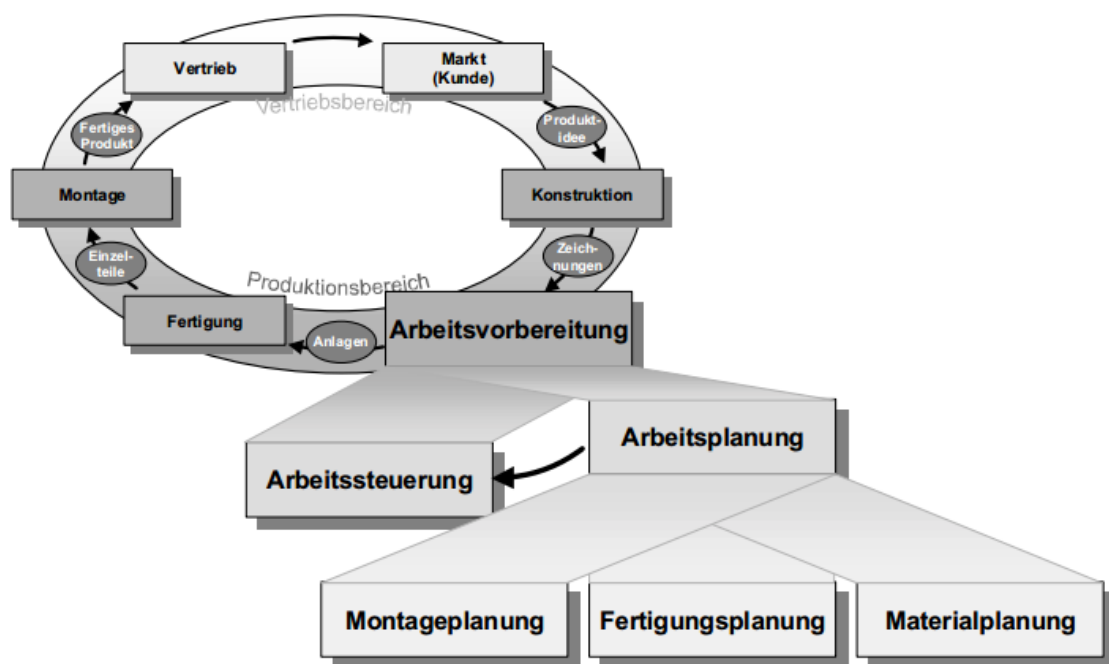


Abbildung 11: Einordnung der technischen Produktionsplanung

Daher wird im folgenden Abschnitt ein 3-Phasen Modell zu einer Schrittweisen Integration eines Lösungsansatzes in ein bestehendes PDM – System entwickelt. Dies erfolgt in Anlehnung an (Zenner, 2006), der ein ähnliches Vorgehen zur Einführung eines durchgängigen Variantenmanagement in der Produktionsplanung gewählt hat.

In Abbildung 11 ist die Einordnung der Arbeitsvorbereitung und somit auch der technischen Produktionsplanung dargestellt (vgl. 2.3.1.1 Fertigungs- und Montageplanung). Es zeigt die Einordnung der Lösung im Kontext des Produktlebenszyklus. In den nächsten Abschnitten werden die notwendigen Schritte zum Abbilden der Brückenfunktion zwischen der Entwicklung und der technischen Produktionsplanung näher spezifiziert.

Die erste Phase ist die Schnittstellenanalyse des PDM – System und der nachgelagerten Systeme. Das PDM – System soll dabei auf die geforderten Grundfunktionalitäten hin untersucht werden. Für eine konsequent umgesetzte Lösung ist es außerdem notwendig, die nachgelagerten Systeme und deren Schnittstellen zu analysieren.

In der zweiten Phase wird das IT-Konzept unabhängig von konkreter Software näher spezifiziert. Durch den Aufbau eines Datenmodelles und der Modellierung von Objekten wird eine generalisierte Architektur konzipiert, die durch geringfügige Anpassungen in unterschiedlichsten Systemen einsetzbar sein soll. Das Konzept wird die Grundlage für die Umsetzung sein und soll es ermöglichen lediglich Teilaspekte zu realisieren oder aber Erweiterungen vorzunehmen. Das Feld der technischen Produktionsplanung ist ein weites (vgl. 2.3.1.3 Digitale Fabrik). Nicht alle Themen können auf Grund der Komplexität mit berücksichtigt werden. Daher findet eine Eingrenzung auf die Kernaspekte statt. Im Fokus steht das Schließen der Lücke zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung.

Die Nahtstelle zwischen Produktentwicklung und der Planung ist die Stückliste. Das hier entwickelte Konzept knüpft daran an. Es soll ein fließender Prozess abgebildet werden. Das Konzept muss daher bereits zu einer frühen Phase der Entwicklung greifen. Erst daraus resultiert der Mehrwert und letztendlich der Nutzen des Modules.

Die Implementierungsphase beschreibt und evaluiert eine prototypische Umsetzung des Konzeptes. Exemplarisch wird dies an der PDM-Software CIM Database veranschaulicht.

Ziel des phasenweisen Vorgehens ist eine frühzeitige Erkennung, in wie weit sich die Anforderungen des hier spezifizierten MPM Modules in Einklang mit einem bestehenden System bringen lassen.

4.2 Schnittstellenanalyse

Der Hintergrund für die Schnittstellenanalyse ist das Prüfen der bestehenden Umgebung auf die notwendigen und eventuell geforderten Schritte für die erfolgreiche Umsetzung eines MPM - Modules. Sie ergibt sich aus der von (Jonas, 2000) aufgestellten Anforderung der In-

tegration in die bestehende Systemwelt (vgl. 3.1 Verwandte Arbeiten). Die Vorgehensweise wird aus zwei Richtungen betrachtet. Der Lösungsansatz wird Bestandteil des bestehenden PDM-Systems. Daher gilt es zu prüfen, ob das PDM-System eine geeignete Datengrundlage bietet, um eine technische Produktionsplanung umzusetzen.

Auf der anderen Seite gilt es ebenfalls zu untersuchen ob nachgelagerte Systeme existieren und welche Schnittstellen bedient werden müssen.

4.2.1 PDM-System

Die Anforderungen an das PDM – System sind für den hier vorgestellten generischen Lösungsansatz so minimal wie möglich gehalten. Sie ergeben sich zum Einen aus dem Leistungsspektrum, welches ein PDM – System in der Regel anbietet (siehe 2.2.1). Zum Anderen werden sie aus den Berührungspunkten zwischen MPM – Modul und PDM – System hergeleitet. Berührungspunkte sind vorrangig die Stückliste mit deren Varianteninformationen (vgl. 3.2.4 Anforderungen der integrierten Produktionsplanung für KMU).

In Bezug auf die Anforderung *Gewährleistung der Integration in die bestehende Systemwelt* gilt es zu prüfen inwiefern das PDM – System die folgenden Anforderungen erfüllt:

1. Verknüpfung und Transfer der Stücklisteninformationen in die Produktionsplanung
2. Zugriff auf Programmierschnittstellen und der bestehenden Infrastruktur des PDM-Systems
3. Ein Variantenmanagement das auf einer regelbasierten Stückliste basiert. Siehe (Zagel, 2006)

Diese Anforderungen gilt es zu prüfen. Zumindest eine äquivalent nutzbare Abbildung der Informationen sollte vorhanden sein.

Eine Verknüpfung der Stücklisteninformation mit der Produktionsplanung hängt mit der zu Grunde liegenden Erweiterbarkeit des PDM-Systems zusammen. Es wird eine Programmierschnittstelle benötigt mit der die Datenhaltung im PDM selbst manipulierbar ist und die es erlaubt eigene Datenverarbeitende Objekte zu implementieren. Es gibt keine Standards für die Erweiterung von PDM-Systemen. Jedes System verfolgt seine eigene individuelle vom Anbieter festgelegte Philosophie. (Eigner & Stelzer, 2009)

Die regelbasierte Stückliste ist hingegen nicht zwingend notwendig. Andere Formen einer Variantenstückliste, wie die Plus-Minus- oder eine Matrixstückliste wären ebenfalls vorstellbar. Da die Berücksichtigung aller möglichen Formen der Variantenstückliste die Übersichtlichkeit des Konzeptes beeinträchtigen würde und nicht zur Weiterentwicklung des Themas beiträgt, beschränkt sich der Lösungsansatz auf die Darstellung der regelbasierten Variantenstückliste.

Weiterhin sind hier die vorgestellten Anforderungen so allgemein wie möglich gehalten und basieren auf den oben genannten Quellen, da eine Untersuchung aller gängigen PDM-Systeme an dieser Stelle zwar sinnvoll wäre, aber im Umfang dieser Arbeit nicht durchgeführt werden kann.

Die Situationsanalyse dient der Einschätzung der Machbarkeit einer Implementierung des Konzeptes und sollte der erste Schritt zur Integration einer Lösung sein. Ergebnis ist eine Abschätzung inwieweit eine Durchführbarkeit zur Implementierung des Konzeptes gewährleistet werden kann.

4.2.2 Nachgelagerte Systeme

Das zu entwerfende Modul soll in den Datenverarbeitungsprozess eines Unternehmens eingliedert werden. An diesem Prozess sind in der Regel mehrere Systeme beteiligt. Daher erscheint es sinnvoll bereits im Vorfeld des Entwurfes des MPM-Modules festzulegen, welche Ausgabeformate unterstützt werden sollen. Vorstellbar wären hier Schnittstellen zu ERP Programmen, Montageplanungen oder Ressourcenplanungen.

Je nach Unternehmen können die nachgelagerten Systeme unterschiedlich ausfallen oder auch komplett wegfallen, daher lassen sich hier keine konkreten Anforderungen spezifizieren. Entscheidend ist es diesen Aspekt bei dem Entwurf des MPM-Modules nicht außen vor zu lassen.

4.3 Grundkonzept

4.3.1 Anforderungen

Die technischen Voraussetzungen für die Erarbeitung und Umsetzung eines Grundkonzeptes für die Produktionsplanung wurde in der Schnittstellenanalyse skizziert.

Ein Kernaspekt des Konzeptes ist die Berücksichtigung der Produktvarianten zur Erstellung der Arbeitsinhalte für die Produktionsplanung. Angelehnt an (Jonas, 2000) Für eine zielgerichtete Planung gilt es die folgenden Anforderungen umzusetzen. (vgl. 3.2.4 Anforderungen der integrierten Produktionsplanung für KMU)

1. Unterstützung der parallelen Konstruktion und Arbeitsplanerstellung
2. Schaffung einer integrierten und synchronen Montageplanung
3. Verknüpfung und Transfer der Stücklisteninformationen in die Produktionsplanung

Für das Erreichen der ersten beiden Anforderungen wird es notwendig sein zwei neuartige Elemente zu definieren, die die Flexibilität und Übersichtlichkeit einer Stückliste aufweisen. Ein PDM System, so wie es in dieser Ausarbeitung verstanden wird, beschränkt seine Reichweite auf die Konstruktionsphase eines Produktes. Durch die Integration der neuen Elemente erweitern wir den Wirkungsgrad auf die Produktionsplanung. Mit Umsetzung der dritten Anforderungen wird die Brücke zwischen der Konstruktion und der Planung geschlossen.

Insbesondere die zunehmende Parallelisierung von Produkt- und Produktionsentwicklung soll in dem MPM-Modul berücksichtigt werden. Zu Beginn der Erstellung der technischen Produktionsplanung ist die Produktentwicklung in der Regel noch nicht abgeschlossen. Das Skelett der Produktstruktur existiert nur in Grundzügen. Darauf basierend soll es dennoch möglich sein eine vom Reifegrad her äquivalente Planung zu erstellen. Verfeinerungen sollten im laufenden Prozess ebenso durchführbar sein wie Änderungen der Struktur.

Die Produktion von Varianten erfordert in der Regel den Einsatz von unterschiedlichen Prozessen und Ressourcen. Eine signifikante Verkürzung der Planungszeit ist daher nur dann zu gewährleisten wenn im Vorfeld alle Kernvarianten des Produktes bereits bekannt sind, auch wenn bis dahin die Stückliste noch nicht ihren finalen Zustand erreicht hat.

Daraus ergeben sich die folgenden Anforderungen die in der frühen Phase des Planungsprozesses berücksichtigt werden sollten (Bley & Zenner, Handling of Process and Resource Variants in the Digital Factory, 2005) (vgl. 3.2.4 Anforderungen der integrierten Produktionsplanung für KMU in Bezug auf *Gewährleistung eines Änderungsmanagements zwischen den einzelnen Planungsbereichen*):

1. Entsprechend des Entwicklungsstandes muss die Produktstruktur in einer für die Planung nutzbaren Form zur Verfügung gestellt werden.
2. Um die Kompatibilität zum Simultaneous Engineering zu gewährleisten muss der Fortschritt der Produktentwicklung sich gleichermaßen auf die Planungsstruktur abbilden lassen.

Zur Erfüllung dieser beiden Anforderungen werden für die technische Produktionsplanung zwei neuartige Elemente für das PDM-System konstruiert: Der Arbeitsplan und der Ortstrukturplan. Die beiden Elemente stellen die Grundlage der Umsetzung zur technischen Produktionsplanung dar.

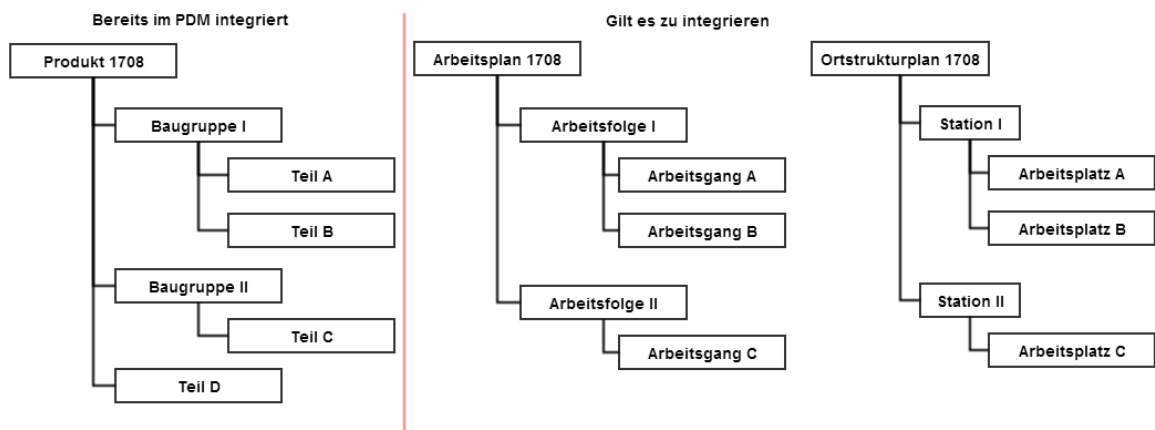


Abbildung 12: Elemente der technischen Produktionsplanung

In Abbildung 12 sind alle Kernelemente und deren Struktur dargestellt. Die linke Struktur ist eine Produktstruktur, wie sie bereits im PDM-System existiert. In der Mitte ist der Arbeitsplan zu sehen, bestehend aus Arbeitsfolgen und Arbeitsgängen. Auf der rechten Seite ist der Ortstrukturplan dargestellt mit den untergeordneten Strukturelementen, Stationen und Arbeitsplätzen. Zur Erfüllung der zweiten Anforderung müssen die drei abgebildeten Elemente miteinander verknüpft werden. Das federführende Element ist die Stückliste, da in der Regel Änderungen von ihr ausgehen. Der Arbeitsplan, sowie der Ortstrukturplan müssen an diese Änderungen angepasst werden. Zur Unterstützung des Produktionsplaners wird die Integrität der drei Strukturen bei Modifikationen überprüft.

In den folgenden Abschnitten wird zunächst getrennt auf die beiden Strukturen Arbeitsplan und Ortstrukturplan eingegangen und deren Aufbau und Zweck vorgestellt. Da beide Elemente dennoch diverse Berührungspunkte insbesondere auch mit der Stückliste haben, werden Operation und Relation, die auf ihnen definiert sind, zusammenhängend erläutert.

4.3.2 Arbeitsplan

Aus der Sicht der technischen Produktionsplanung können Stückliste, Arbeitsplan und Ortstrukturplan simultan erarbeitet und gepflegt werden. Bei der Erzeugung existiert keine natürliche oder chronologische Rangordnung. Dennoch gibt es wie bereits angesprochen gewisse Einschränkungen. Die Erstellung eines Arbeitsplanes und Ortstrukturplanes kann in der Regel nur dann effizient sein, wenn bereits alle Varianten aus der Produktstruktur bekannt sind. Da im Kern dieser Arbeit jedoch der technische Aspekt der Produktionsplanung im Vordergrund steht, werden weitere Effizienz einschränkende Maßnahmen nur am Rande behandelt.

Einer der Vorteile der vorgelagerten Produktionsplanung ist das sukzessive Aufbauen des Arbeitsplanes. Der Produktionsplaner könnte bereits zum Beginn des Konstruktionsprozesses, Schritt für Schritt Arbeitsfolgen und –gänge mit in den Plan einfließen lassen. Keine der Änderungen sind final und können zu jedem beliebigen Zeitpunkt, bis zur Freigabe rückgängig gemacht werden.

Die Vorgehensweise kann volatil sein und ist stets abhängig von der sich noch in der Entwicklung befindliche Produktstruktur. Bei häufigen Änderungen spielt Übersichtlichkeit eine entscheidende Rolle. Das Konzept des Arbeitsplanes sollte daher neben den bereits aufgeführten Anforderungen für Produktionsplanung die folgenden Kriterien erfüllen: (vgl. 3.2.4 Anforderungen der integrierten Produktionsplanung für KMU besonderer Bezug auf *Einfache Anwendbarkeit mit möglichst grafisch unterstützter Bedienungsoberfläche*)

1. Eine übersichtliche flexible Struktur bestehend aus Elementen, die jederzeit anpassbar und austauschbar sind.
2. Leicht zu traversierende Struktur zur Darstellung und Verarbeitung der enthaltenen Informationen
3. Verarbeitung von sequentiellen Abläufen. Verarbeitung von parallelen Abläufen zu Beginn des Arbeitsplanes.
4. Differenzierte Ausprägungen von Knoten und deren Verknüpfungen.

Zur Erfüllung der ersten beiden Anforderungen erscheint es sinnvoll die Informationen in einem Graph ähnlichem Konstrukt abzubilden. Allerdings wird gegenüber eines klassischen Graphen eine Sortierung benötigt, um die Rangordnung der Knoten zu kennzeichnen. Aus diesem Grund wird sowohl der Arbeitsfolge, als auch dem Arbeitsgang eine Positionsnummer zugeordnet, welche die Reihenfolge der Elemente in der Struktur festlegt. Auf die Reihenfolge kann nicht verzichtet werden, da sie den sequentiellen Ablauf der Prozesse vorgibt.

Eine Alternative zur Positionsnummer ist es, eine künstliche Reihenfolge im Graphen zu verwenden. Dementsprechend wäre das erste eingefügte Element unter einem Knoten auch das Erste in der Rangordnung, das nächste Element unter dem gleichen Knoten das zweite in der Rangordnung, usw. Nachteil wäre jedoch ein höherer algorithmischer Aufwand, um Elemente in der Struktur zu verschieben und einzufügen.

Anforderung Nummer drei sieht vor, parallele Abläufe bei der Modellierung eines Arbeitsplanes zu berücksichtigen. Wobei parallele Abläufe nur von dem Wurzelement also dem Arbeitsplanknoten selbst ausgehen. Diese Anforderung würde sich ebenfalls mit der Verwendung eines Graphen als Speicherstruktur decken.

Das vierte Kriterium lässt sich durch eine inhaltliche Erweiterung der Knotentypen realisieren. Ein Arbeitsplan wie er in dieser Arbeit verstanden wird besteht aus drei verschiedenen Knotentypen, dargestellt in Abbildung 13.

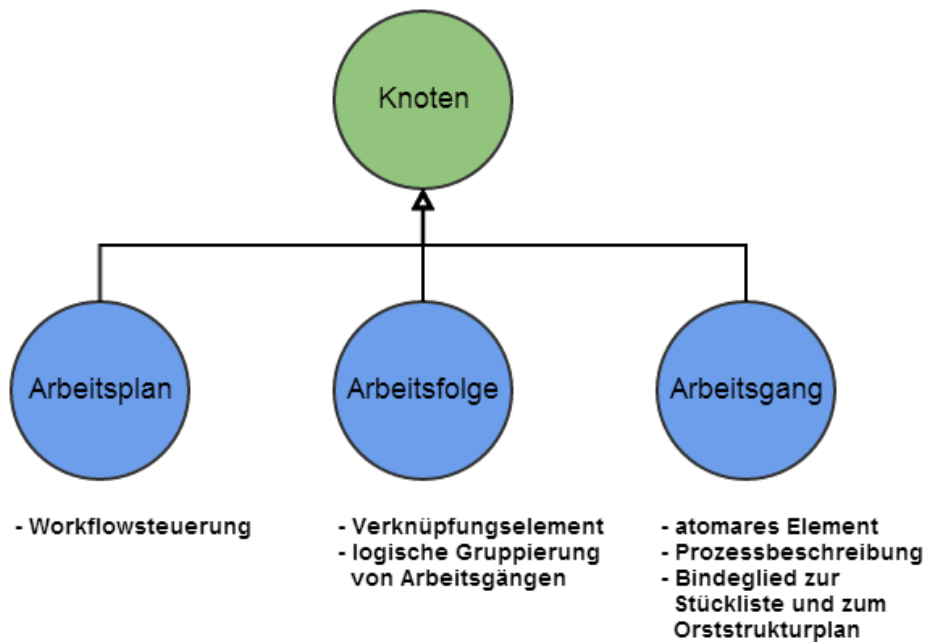


Abbildung 13: Knotentypen des Arbeitsplanes

Der Arbeitsplan selbst ist die Wurzel des Graphen und einzigartig im Konstrukt. Seine Kindknoten sind die Arbeitsfolgen, die entweder untergeordnete Arbeitsfolgen referenzieren oder Arbeitsplätze. Arbeitsplätze sind die Endpunkte in dieser Struktur.

Wie in Abbildung 13 zu sehen unterscheiden sich die Knotentypen in ihren Eigenschaften und müssen daher differenziert werden. Der Arbeitsplan ist die Aufhängung und gleichzeitig die Schnittstelle zum Produkt für das der Arbeitsplan erstellt wird. Die genaue Verknüpfung zum Produkt wird in dem Abschnitt Produktionspläne genauer erläutert. Wie beinahe jedes Objekt in einem PDM - System unterliegt er einem Workflow. Dieser Workflow wird ebenfalls über das Wurzelement gesteuert. Die Workflowsteuerung ist stark abhängig vom jeweiligen PDM System, daher wird an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen. Generell sollte ein Arbeitsplan beim Erreichen eines finalen Reifegrades für weitere Änderungen gesperrt werden.

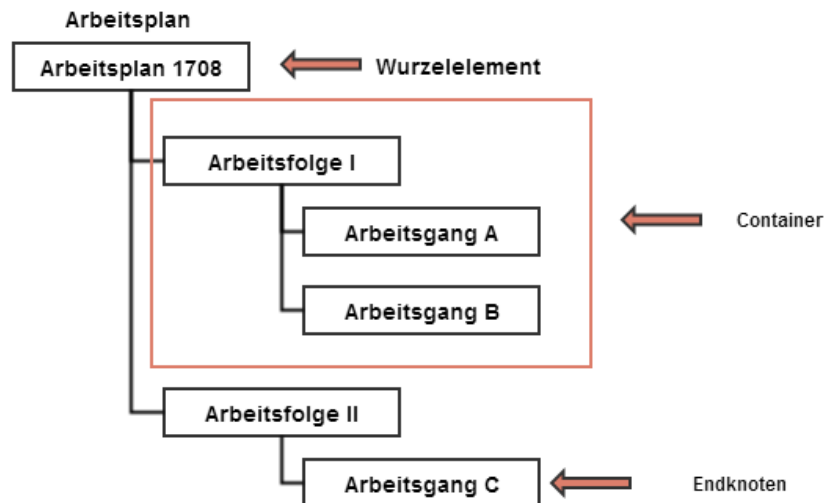


Abbildung 14: Struktur Arbeitsplan

Die Arbeitsfolge ist im Wesentlichen ein Container- und Verknüpfungselement. Arbeitsfolgen können untergeordnete Arbeitsfolgen referenzieren. Bei einer Implementierung muss eine Zyklusüberprüfung durchgeführt werden, so dass keinerlei Kreise entstehen. Inhaltlich ist der Sinn dieses Elementes die logische Gruppierung von Arbeitsgängen. Arbeitsfolgen beschreiben dabei immer einen übergeordneten Prozess der sich aus einer beliebigen Anzahl von Unterprozessen zusammensetzt. Im Kontext des Arbeitsplanes könnte eine Arbeitsfolge beispielsweise mit „Sitz Montage“ betitelt werden und seine Arbeitsgänge könnten dann konkret „Schienensystem montieren“, „Sitzverstellung montieren“ und „Lehne montieren“ sein.

Arbeitsgänge sind die atomaren Einheiten in einem Arbeitsplan. Sie dienen nicht nur zur Beschreibung des konkreten Prozesses, sondern sind auch das Bindeglied zu der Stückliste und dem Ortstrukturplan. In der Regel sollten sie mindestens über die folgenden Attribute verfügen:

1. Rüstzeit: Die Rüstzeit ist die für das Einrichten des Arbeitsplatzes eines Arbeitsganges erforderliche Zeit. (Šmidrkalová, 2005)
2. Stückzeit: Die Zeit je Einheit t ist die Vorgabezeit für die Ausführung eines Ablaufes durch den Menschen. (REFA, 1978)
3. Verteilzeit: Verteilzeit ist zusätzlicher Zeitaufwand, der mit dem Arbeitsgang nur mittelbar im Zusammenhang steht, aber notwendige Tätigkeiten beinhaltet oder der für die Belange des Arbeiters erforderlich ist. (Mohr, 2007)

4. Arbeitsanweisung: Beschreibung des auszuführenden Vorganges.
5. Position: Positionsnummer

Attribute wie die Rüst-, Stück-, und Verteilzeit sind wichtige Angaben in der Produktionsplanung. Vorstellbar wäre die Nutzung dieser Daten zur automatischen Bestimmung der Reihenfolge in der Kundenaufträge am effektivsten produziert werden oder aber die Optimierung und Vermeidung von kritischen Pfaden in der Planung. Die Auswertung dieser Attribute und die Berücksichtigung im weiteren Konzept wird allerdings nicht Teil dieser Arbeit sein, da wie aus dem Beispiel hervorgeht dieses Feld den Umfang der Arbeit überstrapaziert.

Die Abläufe im Arbeitsplan sind keineswegs trivial. Durch die Verwendung der unterschiedlichen Knotentypen, muss ein entsprechendes Konzept für die Rangordnung und somit für die Verarbeitung der Elemente erarbeitet werden. Es wird hier eine Bottom-Up Betrachtung also von den Arbeitsgängen aufwärts vorgenommen.

Die Reihenfolge der Arbeitsgänge wird durch ihre Position bestimmt, die sie bei Ihrer Erstellung entweder automatisch oder manuell zugeordnet bekommen. Sie bestimmt den logischen Ablauf, dargestellt in Abbildung 15.

Sequentieller Ablauf im Arbeitsplan

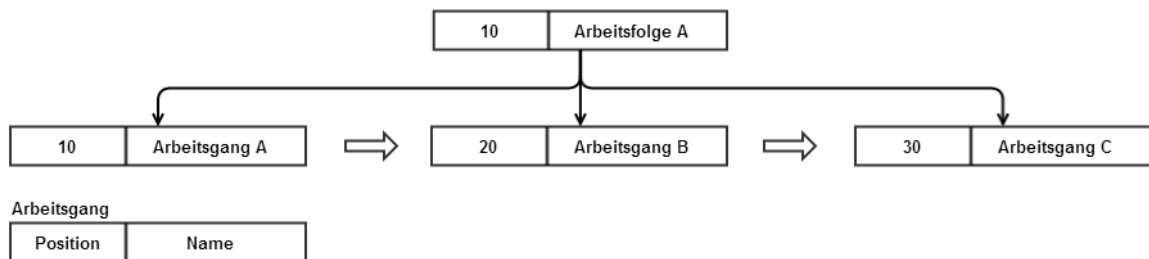


Abbildung 15: Sequentieller Ablauf von Arbeitsgängen

Alle Arbeitsgänge sind Teil der Arbeitsfolge A, wobei Arbeitsgang A an erster Stelle in der Folge steht und Arbeitsgang C an letzter Stelle. Arbeitsgänge unter einer Arbeitsfolge werden grundsätzlich sequentiell verarbeitet.

Parallele Abläufe müssen gemäß den aufgestellten Anforderungen nur eingeschränkt behandelt werden. Arbeitsfolgen können sich nur von der Wurzel an beginnend verzweigen und nicht innerhalb des Arbeitsplanes. Daher wird zwischen Arbeitsfolgen die einen Startknoten darstellen und zwischen inneren Arbeitsfolgen unterschieden. Innere Arbeitsfolgen haben somit immer mindestens eine Arbeitsfolge als Vorgänger.

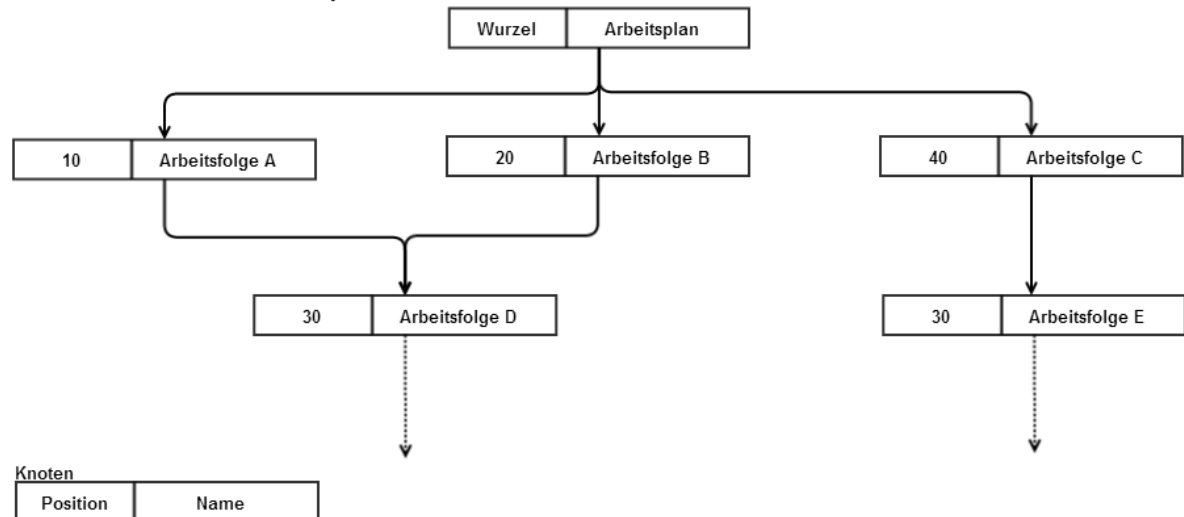
Paralleler Ablauf im Arbeitsplan

Abbildung 16: Paralleler Ablauf

In Abbildung 16 ist ein paralleler Ablauf dargestellt. Der Übersichtlichkeit der Darstellung geschuldet werden die Arbeitsgänge nicht mit aufgeführt. Die drei Arbeitsfolgen A, B und C verlaufen parallel zueinander. Eine Arbeitsfolge hat immer genau einen oder keinen Nachfolger.

In der Produktionsplanung geben Arbeitspläne die generelle Antwort auf die Frage, wie ein Produkt zusammengebaut werden soll. Parallele Arbeitsgänge zu Beginn der Planung sind daher nicht außergewöhnlich, da sich die meisten Produkte aus mehreren Baugruppen zusammensetzen und diese separat voneinander gefertigt werden. Am Ende entsteht immer *ein* Produkt. Aus diesem Grund ergibt sich das Konzept der parallelen Abläufe aus der logischen Konsequenz heraus, dass Arbeitsfolgen im Laufe des Prozesses zusammengeführt werden.

4.3.3 Ortstrukturplan

Der Ortstrukturplan ist von seiner grundlegenden Struktur und seinem Aufbau ähnlich zum Arbeitsplan. Allerdings dient er zur Abbildung des geometrischen Kontextes. Der Arbeitsplan ist ein Instrument, mit dem die notwendigen Schritte zur Produktion eines Gutes beschrieben werden. Der Ortstrukturplan ist von seinem Naturell her ähnlich, mit dem Unterschied, dass er die physische Komponente mit einbezieht. Er ist stets an einen Ort gebunden und seine Gestaltung orientiert sich an den lokalen Gegebenheiten. Daraus resultiert, dass er gegenüber dem Arbeitsplan ein relativ statisches Konstrukt darstellt. Wobei das statisch sich nicht auf

die Flexibilität der Gestaltung innerhalb der Anwendung bezieht. Einmal erstellt wird er tendenziell wenigen Änderungen unterzogen, da jede Änderung bedeuten würde, dass die Werkshalle selbst verändert wird.

Die Anforderungen für die Darstellung und Struktur sind analog zum Arbeitsplan: (vgl. 3.2.4 Anforderungen der integrierten Produktionsplanung für KMU besonderer Bezug auf *Einfache Anwendbarkeit mit möglichst grafisch unterstützter Bedienungsoberfläche* und *Schaffung einer integrierten und synchronen Montageplanung*)

1. Eine übersichtliche flexible Struktur bestehend aus Elementen, die jederzeit anpassbar und austauschbar sind.
2. Leicht zu traversierende Struktur zur Darstellung und Verarbeitung der enthaltenen Informationen
3. Verarbeitung von sequentiellen Abläufen. Verarbeitung von parallelen Abläufen zu Beginn des Ortstrukturplanes.
4. Differenzierte Ausprägungen von Knoten und deren Verknüpfungen.

Damit werden die Struktur und das Prinzip der Abläufe vom Arbeitsplan übernommen. Die Differenzierte Knotenausprägung wird allerdings getrennt voneinander betrachtet.

Der Ortstrukturplan repräsentiert Teile der Montageplanung, die in ihrem Ganzen nicht berücksichtigt wird. Im Rahmen des praxisbezogenen Konzeptes ist die Dokumentation der Planung der Montageeinrichtungen im Ortstrukturplan wiederzufinden. Der Ortstrukturplan nimmt dadurch eine besondere Rolle im Konzept ein, indem er versucht einen gesamten Bereich der Arbeitsplanung auf rein Praxis bezogene Aspekte zu reduzieren und synchron mit dem Arbeitsplan verarbeitet wird.

Die Komponenten des Ortstrukturplanes sind Stationen und Arbeitsplätze, siehe Abbildung 17. Dabei findet die Modellierung der Komponenten analog zu der Anordnung der Stationen und Arbeitsplätze in der Werkshalle statt. Der Ortstrukturplan ist stets mit einer physischen Produktionsstätte oder Halle verknüpft.

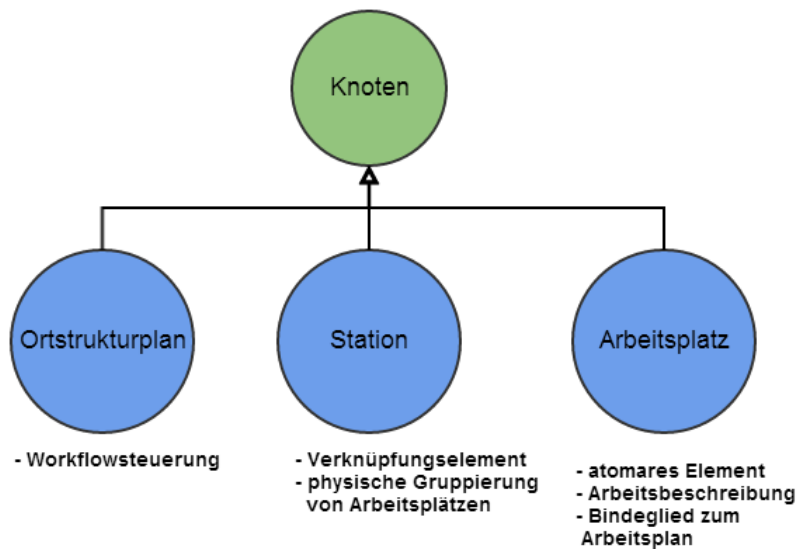


Abbildung 17: Knotentypen des Ortstrukturplanes

Wurzelement ist der Plan selbst. Ihm zugeordnet sind Stationen, die wiederum auf Unterstationen oder Arbeitsplätze verweisen. Stationen sind die inneren Knoten des Graphen, sie gruppieren Arbeitsplätze zu einer physischen Einheit unter sich. Arbeitsplätze sind die Endknoten und sind nicht weiter innerhalb der Struktur verknüpft.

Die Abläufe im Ortstrukturplan sind vom Aufbau identisch mit denen im Arbeitsplan. Parallele Wege existieren nur von der Wurzel ausgehend und sie laufen Trichterförmig bis zur Fertigung des Produktes zusammen.

4.3.4 Relationen

Die Integration des Konzeptes in ein bestehendes PDM-System ist eine der zentralen Zielsetzungen dieser Arbeit. Es müssen daher Verknüpfungen zwischen bestehenden- und neu konzipierten Elementen geschaffen werden. Zur Reduzierung der Komplexität und Erhöhung der Kompatibilität sollen im Grundkonzept möglichst wenige Berührungspunkte als Voraussetzung gelten.

Der Fokus des Konzeptes liegt auf der Synchronisation der Entwicklungsstückliste mit dem Arbeitsplan und dem Ortstrukturplan. Eine Verknüpfung dieser Elemente ist daher unabdingbar.

Im Abschnitt 2.3.1.1 Fertigungs- und Montageplanung wurde bereits auf den Zusammenhang zwischen Arbeitsplan und Variantenstückliste verwiesen. Der Arbeitsgang ist das Bindeglied zwischen ihnen. Einem Arbeitsgang kann keines, eines oder mehrere Einzelteile aus einer Maximalstückliste zugeordnet werden. Abbildung 18 zeigt eine solche Verknüpfung.

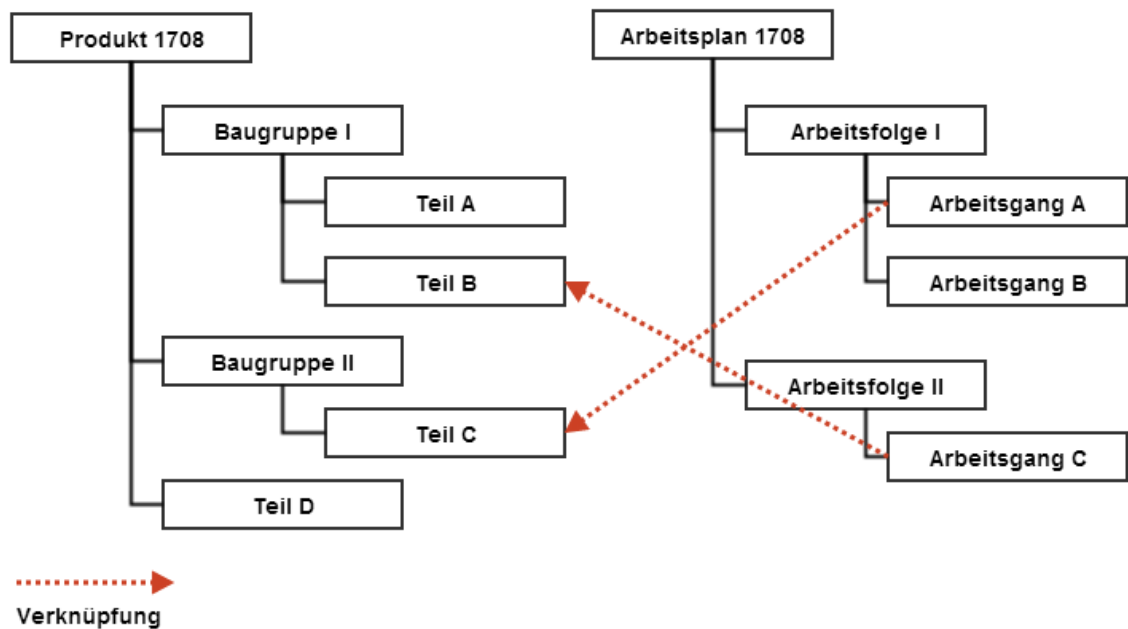


Abbildung 18: Verknüpfung Stückliste und Arbeitsgang

Die Zuordnung der Stücklistenposition sagt aus, welches Einzelteil an welchem Arbeitsgang beteiligt ist. Durch die sukzessive Verknüpfung aller Stücklistenpositionen wird die Antwort auf die Frage „wie“ ein Produkt gefertigt werden soll stets konkreter.

Die zweite relevante Relation setzt den Arbeitsgang in Beziehung zum Arbeitsplatz des Ortstrukturplanes. Durch dessen sukzessive Verknüpfung wird die Antwort auf die Frage „wo“ genau Einzelteile zusammengesetzt werden konkretisiert.

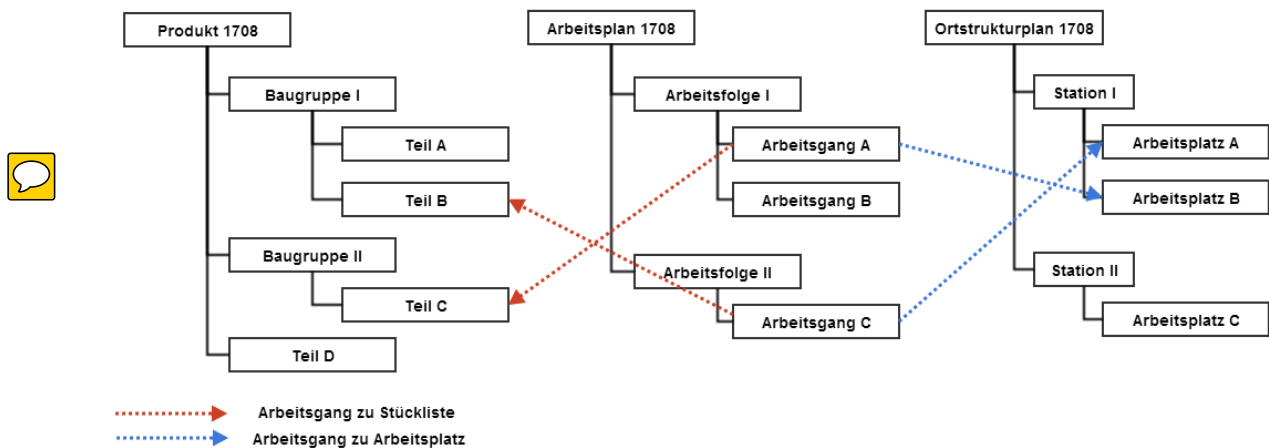


Abbildung 19: Relationen Arbeitsplan zu Stückliste und Ortstrukturplan

In Abbildung 19 ist das gesamte Relationsschema veranschaulicht. Für das Grundkonzept ist zunächst nur das Verständniss dieser Relationen wichtig. Aus einem globaleren Kontext heraus betrachtet ist die Abbildung die Verbindung zwischen der Entwicklungsphase und der Produktionsplanung.

Folge daraus ist die Definition von drei grundlegenden Funktionen für das MPM-Modul. Es wird das Grundgerüst gelegt für:

1. Die Erzeugung von Instanzen des Arbeitsplanes und des Ortstrukturplanes zur chronologisch unabhängigen und persistenten Sicherung.
2. Die Synchronisation von Stückliste und Plänen.
3. Das Filtern der Produktionsplanung in Abhängigkeit zu der Variantenstückliste.

4.3.5 Operationen

Basierend auf den postulierten Funktionen aus dem vorherigen Abschnitt, beschreibt dieser Abschnitt die abstrakte Definition von Operationen auf dem Arbeits- und Ortstrukturplan.

Die Planung muss sich an den iterativen Charakter der Entwicklung anpassen, um Vollständigkeit gewährleisten zu können. Vollständigkeit heißt dabei durch Unterstützung des Modules eine Historie zu entwickeln, die den gesamten Prozess der Planung widerspiegelt.

Aus der Konsequenz dieser Anforderung heraus wird ein Mechanismus definiert, der es ermöglicht zu variablen Zeitpunkten Zustände zu instanziiieren. Ein iterativer Prozess unterliegt Zyklen, das Ergebnis jedes Zyklus sollte in der Software abbildbar sein, um Änderungen nachzuvollziehen und eventuell rückgängig zu machen.

Die Definition einer Instanzierungsfunktion im Grundkonzept würde somit vorsehen, alle Elemente die im Kontext der Planung bearbeitet werden persistent und unveränderlich zu speichern inklusive der Referenzen zu der dazugehörigen Stückliste. Der Arbeitsplan ist das Bindeglied zwischen der Stückliste und dem Ortstrukturplan. Sinnvoll erscheint daher die Definition der Funktion in seinem Kontext. Die Arbeitsgänge referenzieren sowohl Elemente der Stückliste, als auch die Arbeitsplätze des Ortstrukturplanes. Die Funktion sollte derart implementiert werden, dass alle Elemente des Arbeitsplanes, sowie des Ortstrukturplanes inklusive aller Relationen zur Stückliste instanziiert werden. Eine Instanzierung würde allen Elementen einen neuen Indexstand zuordnen und die instanziierten Objekte vor weiterer Bearbeitung schützen.

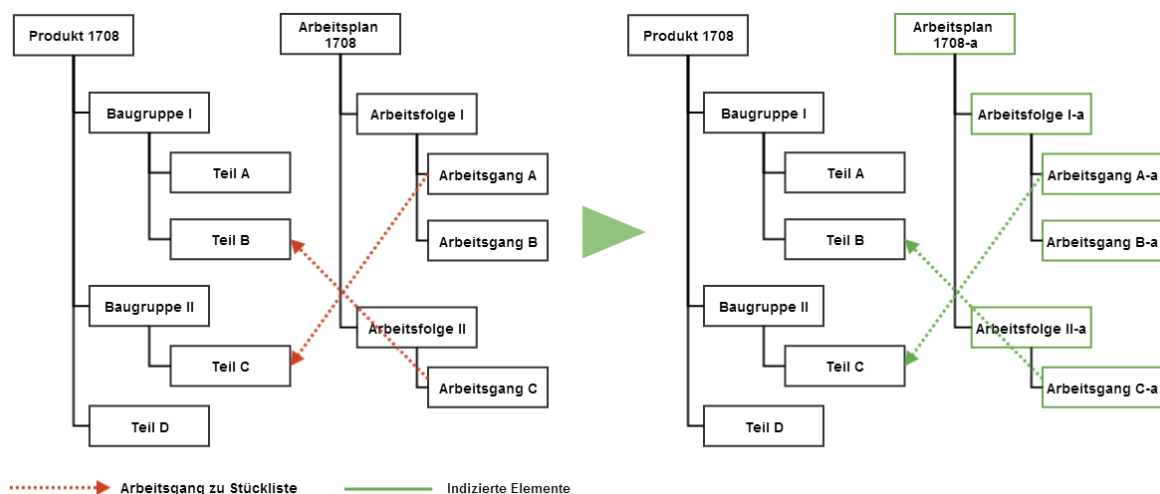


Abbildung 20: Instanzierungsfunktion

In Abbildung 20 ist ein Arbeitsplan links vor und rechts nach der Instanzierung zu sehen. Alle grün markierten Elemente sind Kopien vom aktuellen Zustand. Die Namen wurden um einen Index erweitert. Aus *Arbeitsplan 1708* wird *Arbeitsplan 1708-a*. Weitere Instanzierungen könnten alphabetisch weitergeführt werden. Die aktuelle Arbeitskopie ist immer die mit dem höchsten Indexstand. Jedes Element eines neuen Indexstandes speichert die Identifikationsnummer seines Vorgängers. In diesem Beispiel wurde *Arbeitsplan 1708* instanziiert und ist ab diesem Zeitpunkt für einen Anwender unveränderlich. Er stellt das Ergebnis eines Pla-

nungszyklus dar. Der Ortstrukturplan der in der Abbildung nicht dargestellt ist, wird parallel und nach dem gleichen Prinzip, wie der Arbeitsplan instanziiert. Alle Elemente werden kopiert und bekommen einen Index bzw. wenn bereits vorhanden wird der Index erhöht.

Die Instanziierungsfunktion ist eine Planungsfunktion und wirkt sich direkt auf den Arbeits- und Ortstrukturplan aus. Die Stückliste hingegen ist Teil des Entwicklungsprozesses und kann nur im Kontext der Entwicklung einen neuen Indexstand erhalten. Aus diesem Grund verweisen die Referenzen vom instanziierten Arbeitsplan auf die Indexstände der Stückliste die zum Zeitpunkt der Instanziierung aktuell waren. Die Referenzen sind im Nachhinein ebenfalls unveränderlich. Damit wird eine Momentaufnahme des aktuellen Zustandes erzeugt. Über die Iteration der technischen Produktionsplanung hinweg entsteht somit eine nachvollziehbare Historie.

Während des gesamten Vorganges muss gewährleistet sein, dass sich die Stückliste und die Pläne in einem synchronen Zustand befinden, bzw. das Modul sollte den Nutzer dabei unterstützen diesen zu erreichen. Zur Realisierung sind mehrere Szenarien vorstellbar, die entweder voll- oder halbautomatisch, die Elemente miteinander synchronisieren. Ermöglicht werden die Szenarien durch die relationale Verknüpfung der Elemente die im vorherigen Abschnitt definiert wurde. Eine automatische Synchronisation der Stücklistenelemente mit den Elementen aus dem Arbeitsplan und dem Ortstrukturplan ist generell dann vorstellbar, wenn die Strukturen ausgereift und alle benötigten Relationen vorhanden sind. Dadurch könnten Verschiebungen einzelner Elemente auf die beiden anderen Strukturen übertragen werden. Dieser Anwendungsfall ist keineswegs trivial und soll an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden, da zu viele Annahmen getroffen werden müssten. In einem Realbeispiel in dem klare Regeln für das Verschieben von Elementen im Bezug auf Vorgänger- und Nachfolgerknoten gelten, wäre eine automatisierte Synchronisation erneut zu evaluieren.

Halbautomatische Szenarien hingegen können in diesem Konzept konkreter dargestellt werden. Sie sollen den Nutzer dabei unterstützen einen konsistenten Zustand, basierend auf dem vorherigen herzustellen. Änderungen in einer der Strukturen sollen durch einen Abgleich ebenfalls auf die anderen übertragen werden.

Ändert sich beispielsweise die Stückliste durch den Ausbau eines bereits mit einem Arbeitsgang verknüpften Einzelteils, so muss der Nutzer darüber informiert werden. An diesem Punkt scheitert in der Regel eine automatische Implementierung der Synchronisation, da eine Entscheidung getroffen werden muss, inwiefern sich die Änderung in der Stückliste auf den Arbeitsplan auswirkt. Eine mögliche Folge könnte der Wegfall des Arbeitsganges sein, da

sein einziger Zweck darin Bestand das Teil zu montieren. Dies ist aber nicht notwendigerweise der Fall. Ebenso wäre keine Veränderung am Arbeitsplan denkbar. In der Praxis trifft der technische Produktionsplaner die Entscheidung. Das Modul soll ihn dabei unterstützen, indem es ihm mindestens die Veränderung signalisiert.

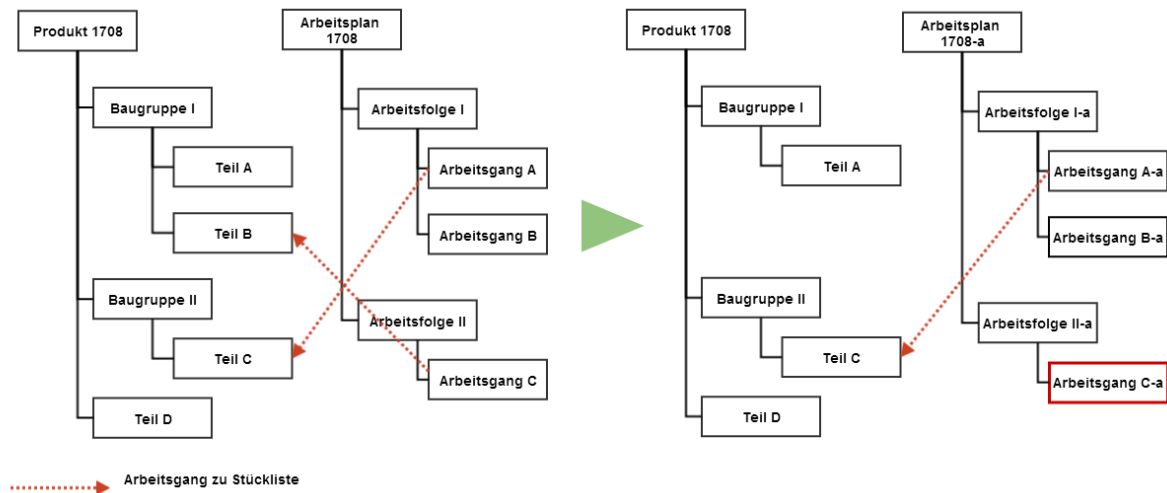


Abbildung 21: Strukturabgleich Stückliste und Arbeitsplan

In Abbildung 21 ist auf der linken Seite die ursprüngliche Stückliste abgebildet. Auf der rechten Seite wurde eine Veränderung vorgenommen, in dem *Teil B* entfernt wurde. Dem Nutzer wird per Markierung des *Arbeitsganges C* die Änderung signalisiert und er kann entsprechend reagieren. Der visuelle Benachrichtigungsansatz, der Markierung ist in diesem Fall nur als Beispiel zu verstehen. In einer konkreten Implementierung könnte ebenfalls ein Report erzeugt werden oder dem Nutzer wird eine Veränderung textuell signalisiert.

Ein Strukturabgleich kann durchgeführt werden, nachdem die Pläne mindestens einmal instanziiert wurden. Er soll dem Anwender zum einen die Differenz gegenüber der letzten Instanz anzeigen und ihm bei der Synchronisation der Strukturen unterstützen. Dabei werden folgende Faktoren berücksichtigt über die der Anwender informiert wird:

- Element wurde entfernt
- Element wurde verschoben
- Änderung von Referenzen eines Elementes (siehe Abbildung 21)

Elemente können in diesem Fall Arbeitsfolgen und Arbeitsgänge aus dem Arbeitsplan oder Stationen und Arbeitsplätze aus dem Ortstrukturplan sein.

Stets zu beachten ist, dass ein Objekt mehrere Referenzen haben kann. Bei erneuter Betrachtung des obigen Beispiels, müssten alle Objekte markiert werden, die von *Teil B* referenziert wurden.

Ein asynchroner Zustand zeichnet sich in der Regel durch den Wegfall von Referenzen aus. Asynchrone Zustände werden, wie oben erwähnt durch den Abgleich der aktuellen Pläne mit einer ihrer Instanzen ermittelt.

Ausschließlich Elemente, die in beiden Ständen enthalten sind, finden dabei Berücksichtigung. Neu hinzugefügte Elemente werden von dem Abgleich ignoriert. Beide Strukturen, der instanziierte Plan und der aktuelle Plan müssen vollständig traversiert und alle Elemente miteinander verglichen werden. Bei der Instanziierung wird die Identifikationsnummer des zu instanziiierenden Elementes mit in die Arbeitskopie hineingeschrieben. Dadurch wird der Vergleich der beiden Objekte erleichtert.

Für den Abgleich werden zwei flache Listen aller Elemente der Strukturen gebildet. Anschließend wird über die Liste der Instanz iteriert und jedes Element mit seinem Korrespondenten aus der Arbeitskopie zu vergleichen. Dabei wird auf die drei oben aufgeführten Kriterien geprüft.

- Wird ein Element nicht in der Arbeitskopielliste gefunden, wurde es entfernt.
- Unterscheidet sich der Elternknoten oder die Positionsnummer der beiden Elemente, wurde es verschoben.
- Falls sich die Relationen unterscheiden, wurden die Referenzen des Elementes geändert.

Der Anwender sollte generell über alle drei Zustände informiert werden, insbesondere wenn Referenzen entfallen. Entfällt beispielsweise ein Einzelteil aus der Stückliste, das von einem Arbeitsgang referenziert wurde, wirkt sich dieser Umstand eventuell nicht nur direkt auf den Arbeitsgang aus, sondern auch auf einen Arbeitsplatz, der wiederum den Arbeitsgang referenziert.

Der entscheidende Faktor ist die grundlegende Erkennung dieser Synchronisationsprobleme, um die Probleme Anwendergesteuert zu einer Lösung zu führen.

Der Aufbau der Produktionsplanung ist eng mit der Variantenstückliste des Produktes verknüpft. (vgl. 3.2.4 Anforderungen der integrierten Produktionsplanung für KMU in Bezug auf *Unterstützung der parallelen Konstruktion und Arbeitsplanerstellung*)

Aus der Anforderung heraus, neben den Stücklistenvarianten ebenfalls Varianten für Arbeitspläne und Ortstrukturpläne zu haben ergibt sich die Operation der parallelen Filterung der Strukturen. Die Alternative zu einer parallelen Filterung wäre für jede Produktvariante jeweils einen eigenen Arbeits- und Ortstrukturplan anzulegen. Im Sinne der Produktqualität und Benutzerfreundlichkeit erscheint dieser Ansatz nicht geeignet. (ISO9126-1, 2001)

Daher wird eine parallele Filterung der Strukturen ausgehend von der Variantenstückliste für das Grundkonzept definiert. In einer Variantenstückliste werden durch Festlegung von Eigenschaften Einzelteile für eine bestimmte Produktausprägung aus der Maximalstückliste entfernt. Durch die Verknüpfung der Pläne mit der Stückliste kann die Filterung auf Arbeitsgänge und Arbeitsplätze überführt werden. Steht ein Arbeitsgang mit einem Einzelteil aus der Stückliste in Relation, welches durch eine Variantenfilterung entfernt werden soll, wird der Arbeitsgang parallel dazu entfernt.

Für Arbeits- und Ortstrukturpläne werden daher keine eigenen Filtereigenschaften definiert, es werden die bereits vorhandenen aus dem Produktmanagement verwendet. Vorteil dieses Mechanismus ist das Stückliste und Pläne nach einer Filterung sich in einem synchronen Zustand befinden. Arbeitsgänge und –plätze die keinen Bezug zu einem der Teile aus der Stückliste haben, werden temporär entfernt.

Dieser Mechanismus wird ebenfalls für die Erstellung der Logistikpläne verwendet. Ein Logistikplan ergibt sich aus der Filterung des Ortstrukturplanes nach einer Instanziierung. Der Logistikplan ist eine weitere Planungsfunktion, die den Anwender bei der Produktionsplanung entlasten soll. Er findet an dieser Stelle nur am Rande eine Erwähnung, da er kein Bestandteil der Kernanforderungen ist, aber in der prototypischen Implementierung Berücksichtigung findet.

4.3.6 Produktionsplan

Ziel des Konzepts ist die Erweiterung eines bestehenden PDM – Systems. Die Integration neuer Komponenten ist eine Herausforderung, die stets Risiken mit sich trägt. Um diese Risiken zu minimieren, werden die Schnittstellen gekapselt. Dadurch soll die Anzahl der Berührungspunkte mit der bestehenden Software gering gehalten werden, um Inkompatibilitäten mit anderen Erweiterungen zu vermeiden. (Balzert, Lehrbuch der Softwaretechnik, 2011)

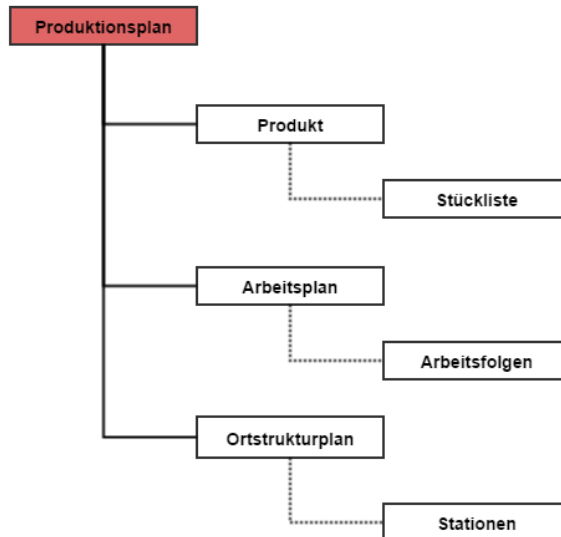


Abbildung 22: Schema eines Produktionsplanes

Produktionspläne beschreiben im Konzept der integrierten Planung die Komposition zwischen Stückliste (Produkt), Arbeitsplan und Ortstrukturplan (siehe Abbildung 22). Dabei handelt es sich jeweils um eine eins zu eins Relation. Für ein anderes Produkt oder aber für das gleiche Produkt, das an einem anderen Standort produziert wird, wird ein neuer Produktionsplan angelegt.

Der Produktionsplan an sich bietet keine eigene Funktionalität und ist in keinster Weise mit dem Arbeitsplan oder Ortstrukturplan zu vergleichen. Er ist ein Container der einen Hauptteil der Funktionalität der integrierten Planung kapselt und das Verbindungselement zwischen den drei oben genannten Elementen darstellt. Durch ihn können die Elemente in anderen Kontexten wiederverwendet werden, in dem beispielsweise der Produktionsplan kopiert und nur der Ortstrukturplan ausgetauscht wird, da das Produkt zusätzlich an einem anderen Standort produziert werden soll.

5 Prototypische Implementierung

5.1 Vorgehen

Aus den theoretischen Grundlagen heraus, ergibt sich der Ansatz zur Entwicklung des Manufacturing Process Management – Modules (MPM-Modul). Das Ziel besteht darin, die beiden Produktentstehungsphasen, die Entwicklung und die Produktionsplanung miteinander zu verknüpfen. Durch Verwendung der PLM Software CIM DATABASE, besteht bereits eine Datenbasis, die alle relevanten Informationen der Produktentwicklung zur Verfügung stellt. Die Produktionsplanung hingegen ist weder struktur-, noch Datenmäßig erfasst.

Daher gilt es im Folgenden auf Basis der Anwendungsfälle und der funktionalen-, sowie der nicht funktionalen Anforderungen die benötigten Eigenschaften des Modules zu definieren.

Die zu entwerfende Lösung soll es Konstrukteuren und Arbeitsplanern ermöglichen für ein spezifisches Produkt und einen beliebigen Standort, die im Konzept vorgestellten Maßnahmen der Arbeitsvorbereitung zu treffen. Dazu gehört der Entwurf eines Arbeitsplanes, sowie eines Ortstrukturplanes, deren Beschaffenheit abhängig vom zugeordneten Produkt, der Produktvariante und dem Standort ausgeprägt wird.

Im Gegensatz zum Arbeitsplan hat der Ortstrukturplan eine statische Natur, da für jedes Werk in der Regel nur ein Hallenlayout existiert. Das Hallenlayout visualisiert alle Stationen der Ortstruktur, die durch den Anwender der Realität entsprechend angeordnet werden.

Durch die Anlage im Kontext eines Produktes wird ein Arbeitsplan stets für alle Produktvarianten spezifiziert. Allerdings ist nicht jeder Arbeitsschritt für jede Produktvariante notwendig, daher findet eine Filterung des Arbeitsplanes in Abhängigkeit von der Variante statt.

Die Planung orientiert sich permanent an der Entwicklung des Produktes und wird entsprechend durch die Änderung der einzelnen Arbeitsplanelemente angepasst.

Ist ein Zielstatus erreicht, besteht die Möglichkeit den Arbeitsplan in Abhängigkeit einer Produktvariante zu instanziiieren.

Die prototypische Implementierung des Modules wird exemplarisch anhand der PDM Software CIM DATABASE vorgenommen. Dadurch soll der Praxisbezug verdeutlicht und dem Leser eine plastischere Vorstellung von dem Konzept vermittelt werden.

Daran angelehnt ist der erste Schritt in der Umsetzung die Schnittstellenanalyse. (vgl. 4.2 Schnittstellenanalyse) Hier wird der Rahmen der Integration für das PDM – System festgelegt und dessen Kompatibilität untersucht.

Der zweite Schritt ist die Erarbeitung der Anwendungsfälle, aus denen anschließend die funktionalen- und nicht funktionalen Anforderungen abgeleitet werden. Das Architekturmodell wird im Anschluss skizziert.

Die Architektur ist stark Abhängig von der Kundenumgebung und dem verwendeten PDM – System. Das Modell wird skizziert und es werden Beispiele für die Umsetzung gegeben aber auf eine detaillierte Differenzierung wird an dieser Stelle verzichtet. Daher liegt der Fokus dieses Kapitels auf der Erfassung der Anwendungsfälle und der Anforderungen, da diese unabhängig vom PDM – System Gültigkeit haben.

Der nächste Abschnitt soll durch ein Beispiel in das Thema einleiten und eine Vorstellung des Zielszenarios vermitteln.

5.2 Zielszenario für die Anwendung des MPM – Modules

Ein simples Beispiel soll das Vorgehen eines Arbeitsplaners im Umgang mit der Software verdeutlichen.

Schritt eins des Planers ist es, den Ortstrukturplan im MPM-Modul abzubilden. Im Ortstrukturplan werden alle Arbeitsstation und –plätze, so wie sie im realen Unternehmen existieren angelegt. Im Anschluss wird der Arbeitsplan erstellt mit den dazugehörigen Arbeitsfolgen und –schritten.

Angenommen es existiert bereits ein Produkt „Autositz“ mit einer Maximalstückliste in der PLM Software.

Der Arbeitsplaner erstellt einen Produktionsplan und verknüpft das Produkt, den Arbeitsplan und den Ortstrukturplan dadurch miteinander. Anschließend verbindet er die Teile aus der Maximalstückliste mit den dazugehörigen Arbeitsschritten. Die Arbeitsschritte werden im Anschluss mit den jeweiligen Arbeitsplätzen aus dem Hallenlayout verknüpft.

Der „Autositz“ ist ein Produkt, das je nach Kundenwunsch speziell ausgeprägt werden kann. Beispielsweise kann der Kunde zwischen einer manuellen oder einer elektronischen Sitzverstellung wählen, je nach Wahl muss die Maximalstückliste gefiltert werden.

Die Filterung zieht dabei nicht nur Veränderungen an der Stückliste mit sich sondern es kann ebenfalls zu einem veränderten Ablauf der Produktion kommen. Diese Veränderung schlägt sich auf den Arbeitsplan nieder und wird automatisch vom Modul berücksichtigt, in dem Arbeitsschritte hinzukommen oder wegfallen.

Hat ein Arbeitsplan einen Reifegrad erreicht, der nach Meinung des Arbeitsplaners in ein ERP System übertragen werden kann, besteht die Möglichkeit der Instanziierung.

Die Instanziierung ist eine unveränderliche Momentaufnahme des Arbeitsplanes, mit ihr wird automatisch ein Logistikplan erstellt, der je nach Verknüpfungen zum Ortstrukturplan Liefer-routen für die Einzelteile angibt.

Der Logistikplan stellt hierbei eine Vorlage für die weitere Überarbeitung eines Logistikers dar. Beide Pläne können nach einer Konsistenzprüfung in das ERP-System übertragen werden.

5.3 Schnittstellenanalyse CIM DATABASE

In Bezug auf den Abschnitt 4.2 Schnittstellenanalyse wird das zu Grunde liegende PDM – System CIM DATABASE hinsichtlich der Integration von externen Komponenten untersucht. Dabei müssen die folgenden Anforderungen berücksichtigt werden. (vgl. 4.2 Schnittstellenanalyse)

1. Verknüpfung und Transfer der Stücklisteninformationen in die Produktionsplanung.
2. Zugriff auf Programmierschnittstellen und der bestehenden Infrastruktur des PDM-Systems.
3. Ein Variantenmanagement das auf einer regelbasierten Stückliste basiert.

Wie in Abschnitt 2.4 CIM Database beschrieben ist die Softwarearchitektur von CIM DATABASE modular aufgebaut. Es existiert ein Data Dictionary in dem alle Klassen mit denen der Nutzer interagiert gepflegt werden. Klassen bestehen aus Attributen, Relationen, Operationen, Tabellen und Masken. Neue Klassen können hinzugefügt und mit bestehenden verknüpft werden. (siehe Abbildung 23: Klassenhierarchie CDB)

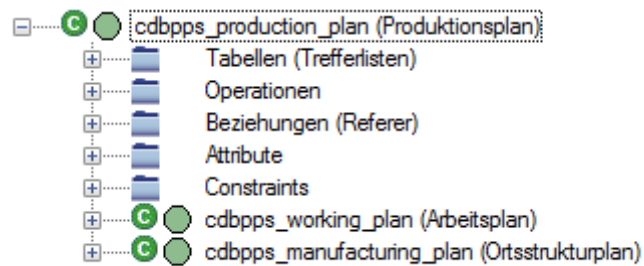


Abbildung 23: Klassenhierarchie CDB

Der Zugriff auf Programmierschnittstellen wird durch die Implementierung von *User-Exits* unterstützt. Jede Klasse kann an eine benutzerdefinierte PYTHON – Klasse geknüpft werden und vordefinierte Events implementieren, sowie auf bestehende Daten zugreifen.




Klassenname	cdbpps_production_plan	<input checked="" type="checkbox"/> abstrakt	Sortierung	
Basisklasse			Status	valid
Relation	cdbpps_production_plan		Überschrift	Produktionspläne
Beschriftung	Produktionsplan			
Tabelle	cdbpps_production_plan			
Objektbeschreibung	cdbpps_production_plan			
Icon	Modify		Objekt-Icon	Modify
Default Aktion			Life Cycle Konfig.	
Im Verlauf anzeigen	<input checked="" type="checkbox"/>			
Dateianhänge erlauben	<input type="checkbox"/>			
Dateinamen-Muster				
Klasse wird indiziert	<input type="checkbox"/>			
Klasse wird repliziert	Nie			
Voll qual. Python-Name	cs.pps.pps_plan.pps_production_plans.PPS_Production_Plan			
Type Selector				
Modul	cs.pps.pps_plan			
Modulzuordnung (Daten)	Folder (einzeln, optional)		Update (Daten)	Never updated

Abbildung 24: PYTHON - Klassen Zuordnung CDB

In Abbildung 24: PYTHON - Klassen Zuordnung CDB ist die Zuordnung der PYTHON - Klasse zu der CDB – Klasse mit rot markiert.

Die Stücklistenverwaltung in CIM DATABASE wird über Artikel gesteuert. In der Regel werden Konstruktionsdokumente in CDB über eine CAD – Integration gespeichert. CAD – Dokumente haben eine eins zu eins Beziehung zu einem Artikel. Jeder Artikel ist dabei eine Stücklistenposition und kann n-mal in einer Stückliste verbaut werden. Dabei können Stück-

listenpositionen ebenfalls als Variantenbaustein ausgeprägt werden. Dadurch können je nach konfigurierter Variante verschiedene Stücklistenpositionen referenziert werden.

Anforderung	Erfüllungsgrad
Verknüpfung und Transfer der Stücklisteninformationen in die Produktionsplanung	
Zugriff auf Programmierschnittstellen und der bestehenden Infrastruktur des PDM-Systems	
Ein Variantenmanagement das auf einer regelbasierten Stückliste basiert	




 erfüllt  teilweise erfüllt  nicht erfüllt

Tabelle 4: Erfüllungsgrad der Anforderungen aus der Schnittstellenanalyse

Die drei Anforderungen werden von CDB mehr als ausreichend erfüllt. Der Zugriff auf die Programmierschnittstellen ist nur aus dem Grund teilweise erfüllt, da sich keine eigenen Events innerhalb der GUI definieren lassen, auf die per PYTHON – Code zugegriffen werden kann. Dennoch sind die vordefinierten Events ausreichend für die Implementierung des MPM – Modules.

Die Untersuchung der Schnittstellen der nachgelagerten Systeme wird an dieser Stelle in Ausblick gestellt, da eine Verknüpfung mit PPS – oder ERP – Systemen nicht Bestandteil der prototypischen Implementierung ist.

5.4 Anforderungen

5.4.1 Anwendungsfälle

In diesem Kapitel werden die Anwendungsfälle für das Modul spezifiziert. Die Darstellung erfolgt grafisch und erleichtert die Ermittlung der funktionalen und nichtfunktionalen Anforderungen. Die Anwendungsfälle ergeben sich aus dem Konzept für das MPM - Modul (siehe Kapitel 4). Alle Faktoren die im allgemeinen Konzept berücksichtigt wurden, spiegeln sich aus Anwendersicht in konkreter Weise in den Anwendungsfällen wieder. Dabei werden die zu erwartenden Reaktionen des Systems auf die Einflüsse des Anwenders näher spezifiziert. Die

Anwendungsfälle sind bereits in der CIM DATABASE Umgebung angesiedelt und entsprechend modelliert.

In einem Anwendungsfalldiagramm oder auch UseCase-Diagramm sind beliebig viele UseCases enthalten. (Oestereich & Bremer, 2012) Für die Darstellung der Hauptanwendungsfälle des MPM-Moduls wurde BPMN verwendet. BPMN steht für „Business Process Model and Notation“. Generell wird BPMN für die Visualisierung von Geschäftsprozessen verwendet, findet aber auch immer weiter Einzug in der Prozessmodellierung. Vorteil dieser Darstellungsart ist die Vielfalt der zu verwendeten Elemente und deren für den Betrachter intuitive Verständlichkeit. (Allweyer, 2009)

5.4.1.1 Anwendungsfall I – Interaktion MPM-Objekte

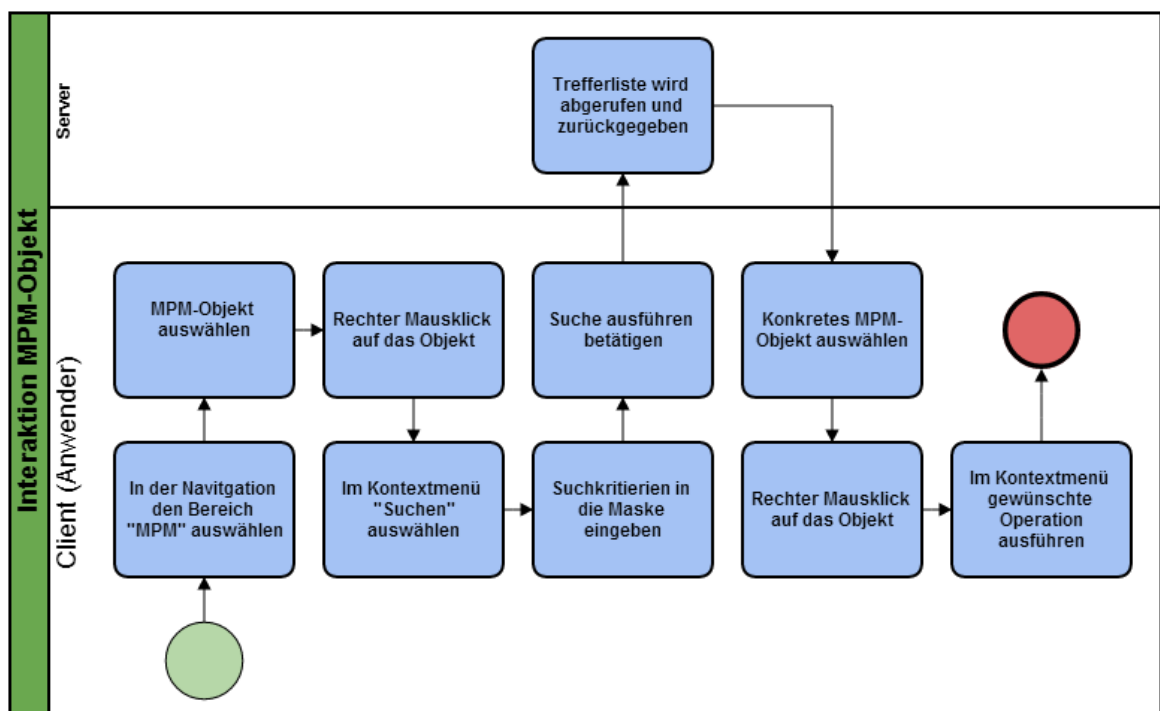


Abbildung 25: Interaktion MPM-Objekt

Durch die Integration des Modules in ein bestehendes System, existiert eine Menge von trivialen Anwendungsfällen, die an dieser Stelle kein eigenes BPMN-Diagramm erhalten. Stattdessen ist in Abbildung 25 ein allgemeiner Anwendungsfall detailliert dargestellt, der alle trivialen Anwendungsfälle im Kern erfasst. Die Bezeichnung MPM-Objekt, dient in der Abbildung als Platzhalter für ein beliebiges Objekt aus dem MPM-Modul. Operationen sind alle

Standardfunktionen eines CDB-Objektes. Eine Liste der Standardoperationen ist der Tabelle 2: Standardoperationen eines CIM DATABASE Objektes zu entnehmen.

Der Fokus dieses Kapitels wird auf die Anwendungsfälle gelegt, die nicht trivial und Kernfunktionalität des Modules widerspiegeln. Dabei bestehen diese entweder aus einer Verkettung von Standardoperationen oder setzen vom Standard abweichende Geschäftslogik voraus.

5.4.1.2 Anwendungsfall II – Neuanlage Produktionsplanung

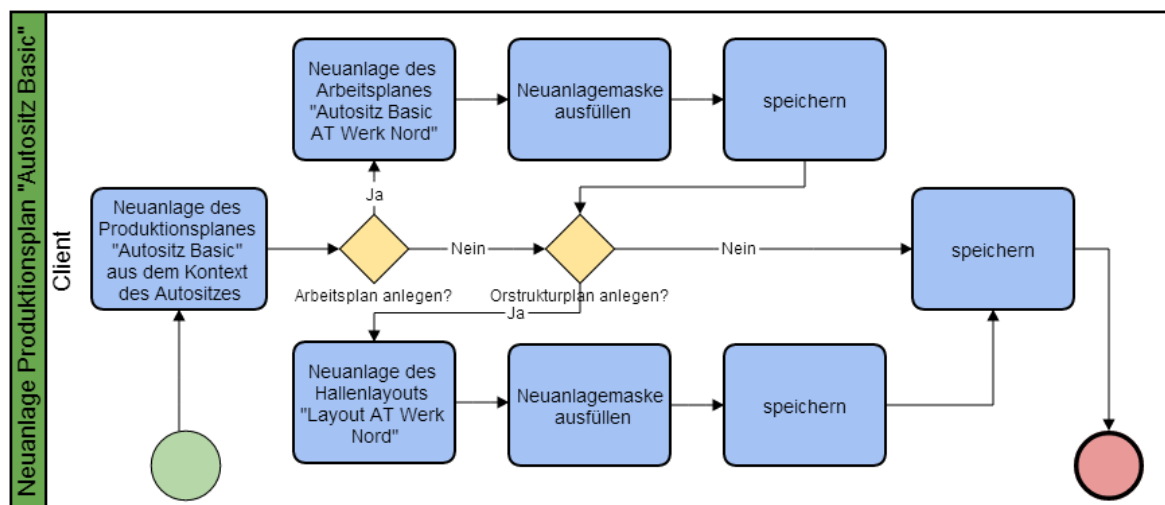


Abbildung 26: Neuanlage Produktionsplan „Autositz Basic“

Die Neuanlage eines Produktionsplanes ist für den Anwender der Einstieg in die Modulfunktionalität. Die Produktionsplanung ist das Bindeglied zwischen dem Produkt, dem Arbeitsplan und dem Ortstrukturplan. In der Neuanlage im Kontext eines Produktes werden diese drei Objekte miteinander verknüpft.

5.4.1.3 Anwendungsfall III – Planung spezifizieren

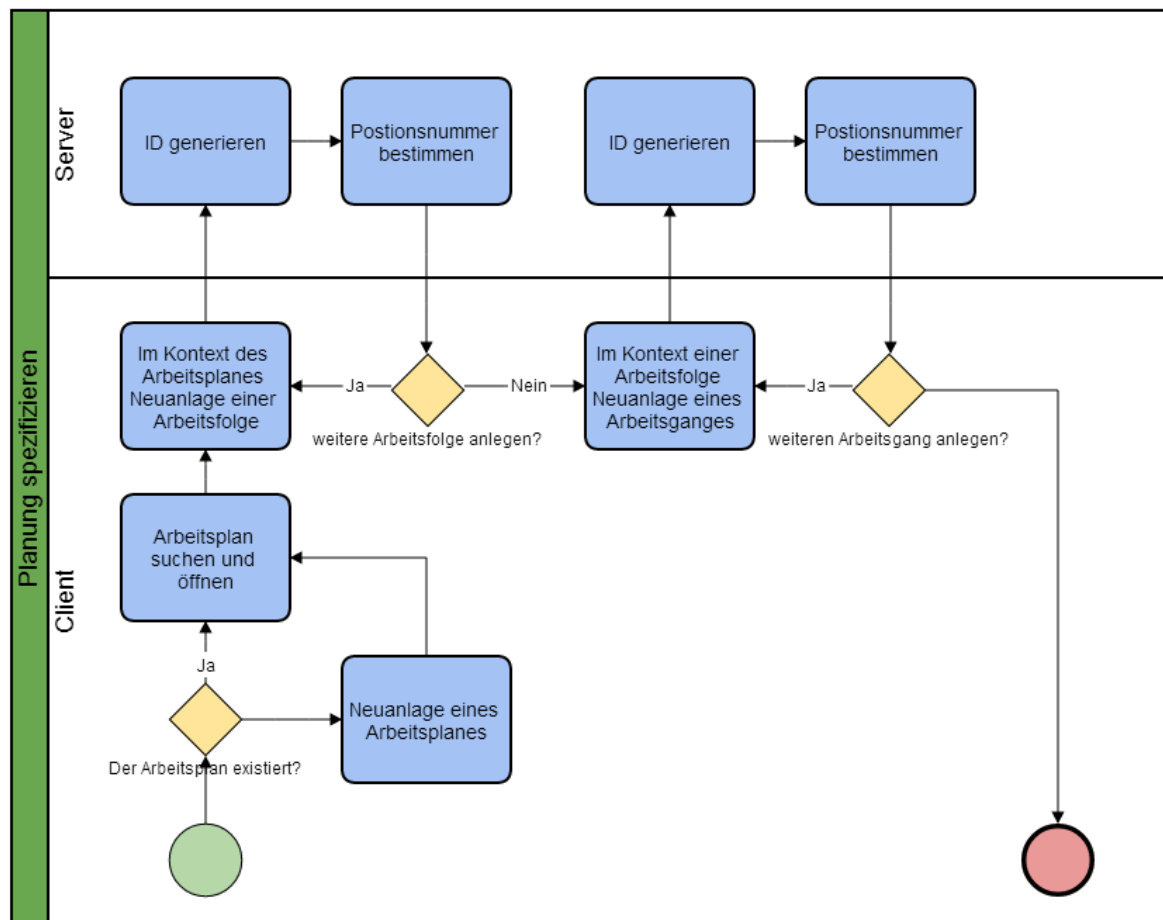


Abbildung 27: Planung spezifizieren

Das Hauptziel für den Anwender ist es einen Arbeitsplan und einen Ortstrukturplan in dem Modul zu spezifizieren. In Abbildung 27 ist dafür beispielhaft das Anlegen eines Arbeitsplanes abgebildet. Das Anlegen eines Ortstrukturplans ist identisch, bis auf die Bezeichnungen der Objekte, daher wird auf eine konkrete Darstellung dieses Anwendungsfalles verzichtet.

Der Arbeitsplan und Ortstrukturplan sind Graphen, die sukzessiv durch das Hinzufügen von Knoten (Arbeitsfolgen, Arbeitsgängen, Stationen, Arbeitsplätze) aufgebaut werden.

5.4.1.4 Anwendungsfall IV – Stücklistenposition zu einem Arbeitsgang zuordnen

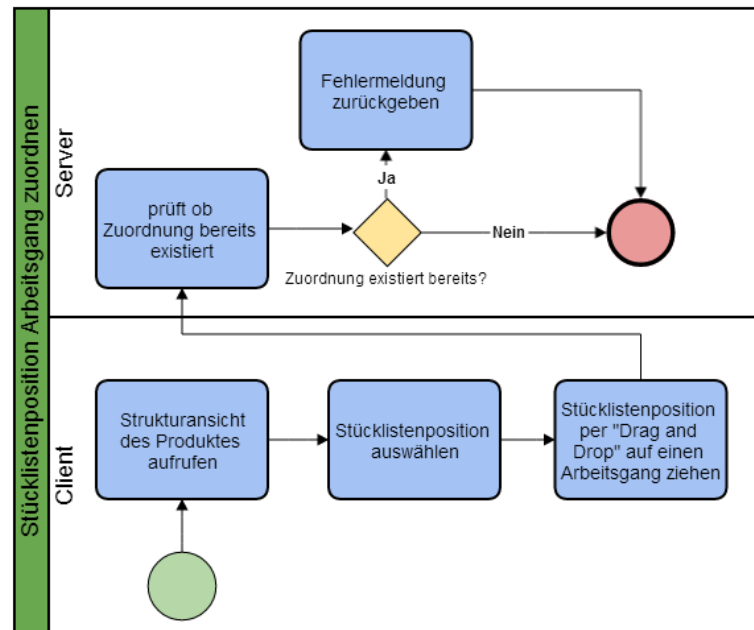


Abbildung 28: Stücklistenposition einem Arbeitsgang zuordnen

Die Zuordnung der Stücklistenpositionen zu einem Arbeitsgang kann per Hand erfolgen, oder so wie in Abbildung 28 dargestellt, per „Drag and Drop“. Dabei wird überprüft, ob die gleiche Position bereits zugeordnet ist.

5.4.1.5 Anwendungsfall V – Arbeitsplan konfigurieren

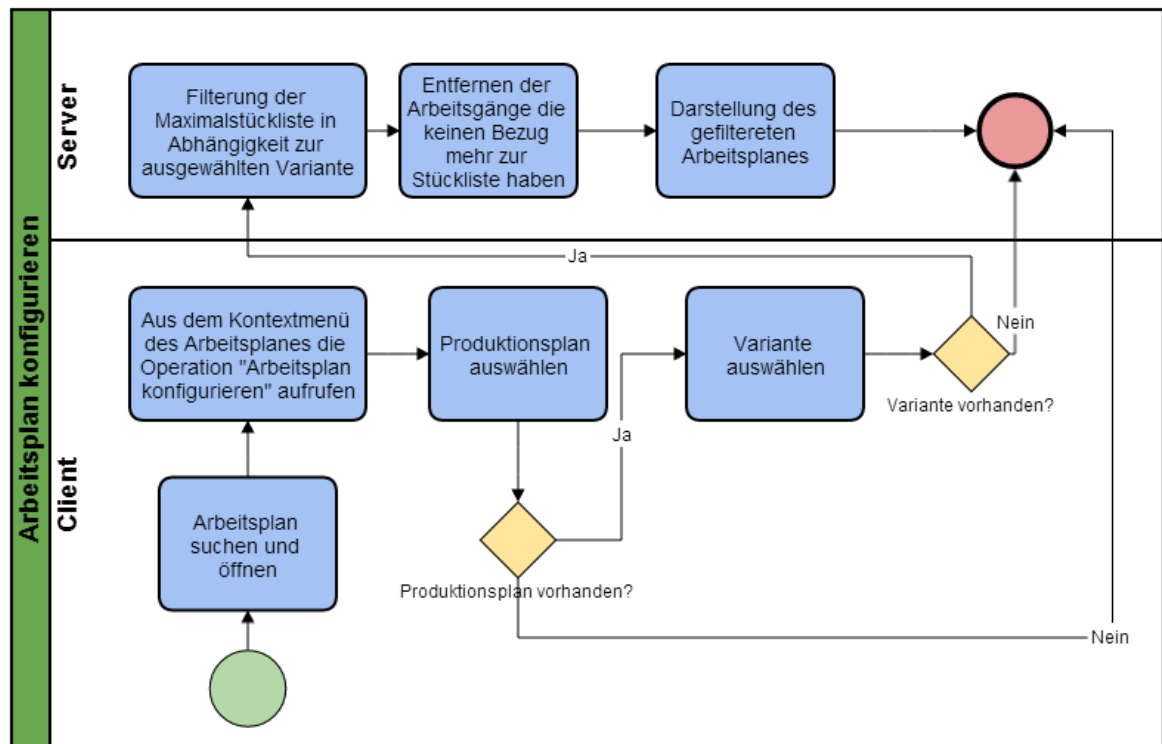


Abbildung 29: Arbeitsplan konfigurieren

Nach der Erstellung des Produktionsplanes und der Zuordnung eines Arbeitsplanes sowie eines Produktes, kann der Anwender den Arbeitsplan in Abhängigkeit von der Produktvariante konfigurieren. Durch die Zuordnung von Stücklistenpositionen (Anwendungsfall V) zu den Arbeitsgängen werden die Arbeitsgänge herausgefiltert die keinen weiteren Bezug zu der Variantenstückliste haben.

5.4.1.6 Anwendungsfall VI – Hallenlayout bearbeiten

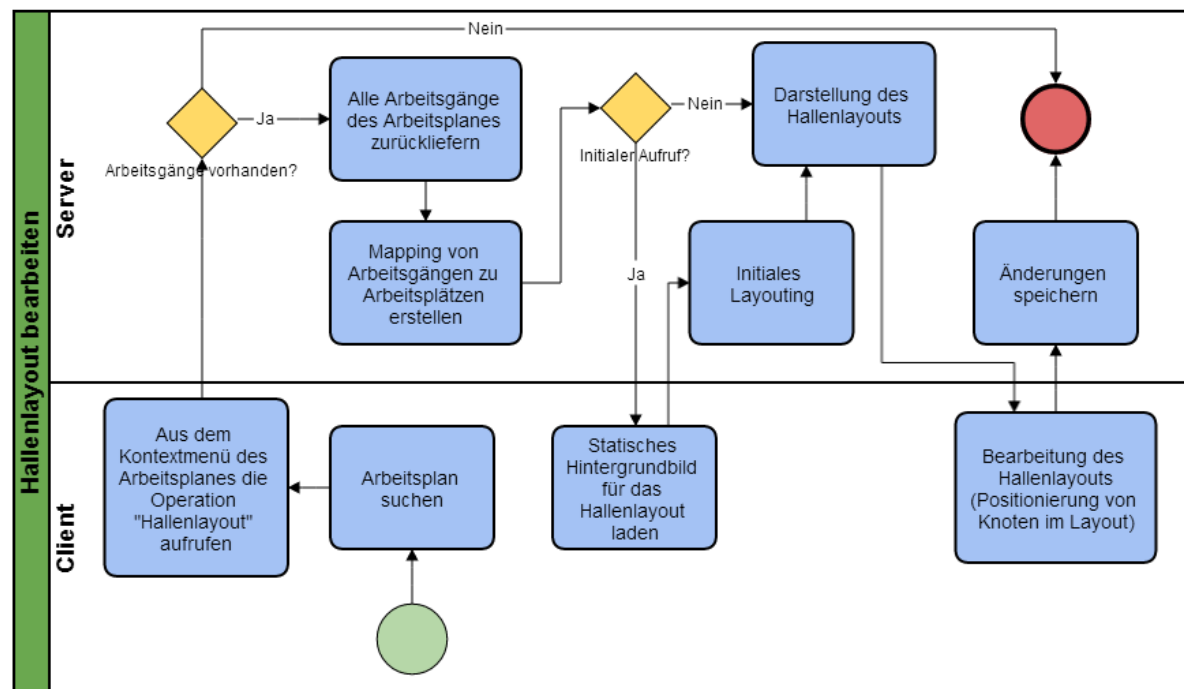


Abbildung 30: Hallenlayout bearbeiten

Der Anwender legt durch die Bearbeitung des Hallenlayouts, eine Abbildung der Geometrischen Positionen der Stationen fest. Die Stationen aus dem Ortstrukturplan, werden als Blöcke dargestellt und können per „Drag and Drop“ angeordnet werden. Der Server speichert diese Anordnung. Existiert noch kein Layout, erhalten die Blöcke eine zufällig Position, so dass sie nicht überlappen.

5.4.1.7 Anwendungsfall VII – Arbeitsplan instanziiieren

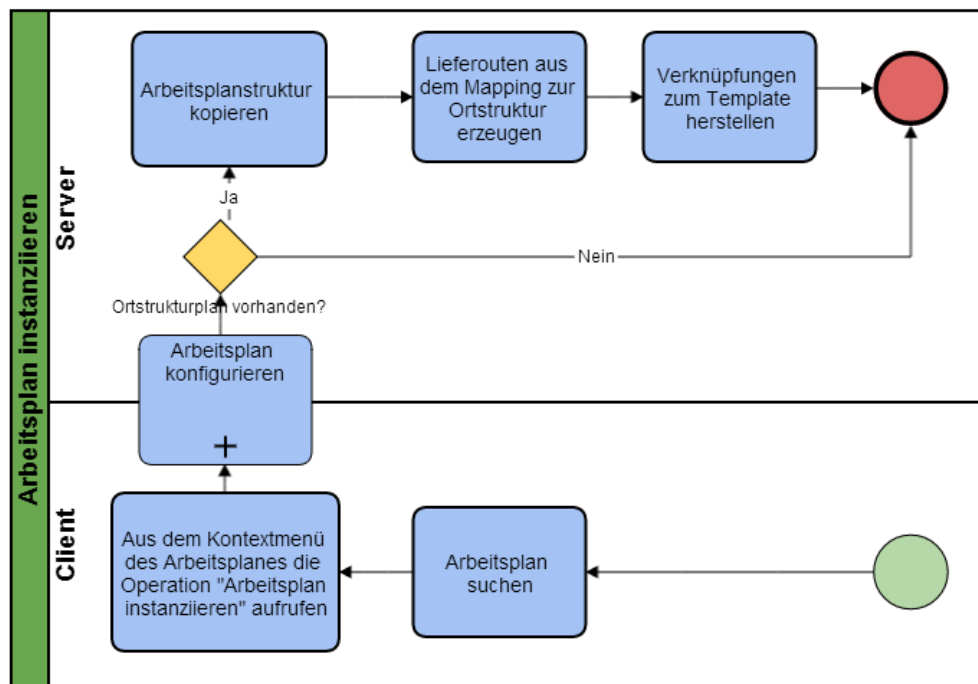


Abbildung 31: Arbeitsplan instanziiieren

Bei der Instanziierung handelt es sich um eine Momentaufnahme, einer Produktvariante. Dafür muss der Anwender zunächst Anwendungsfall V, die Arbeitsplankonfiguration durchführen, um die Arbeitsplanstruktur gemäß einer Produktvariante zu filtern. Vom Arbeitsplan selbst, sowie seinen Arbeitsgängen und –schritten wird eine Kopie erzeugt.

Durch die zugeordneten Arbeitsplätze aus dem Ortstrukturplan wird bei der Instanziierung automatisch ein Logistikplan erstellt. Dieser enthält Vorschläge für Lieferrouten, in welcher Reihenfolge Arbeitsmaterialien an die Arbeitsplätze geliefert werden.

5.4.2 Anforderungen

5.4.2.1 Allgemein

Die folgenden Szenarien stellen die spezifischen Problemstellungen des Modules vor. Das erarbeitete Konzept und die Anwendungsfälle aus den vorherigen Kapiteln dienen als Grundlage für die Definition der funktionalen- und nicht funktionalen Anforderungen. Die Anforderungen werden zunächst mit Vor- und Nachbedingung, sowie wie möglicher Alternativen spezifiziert. Umfang ist dabei stets ein konkreter in sich abgeschlossener Teilprozess innerhalb des Gesamtsystemverhaltens. (V-Modell XT, 2014)

5.4.2.2 Funktionale Anforderungen

Die funktionalen Anforderungen beschreiben explizite Grundfunktionalitäten die einen pragmatischen Ansatz zur Erstellung einer Produktionsplanung bieten. Die nachfolgend aufgelisteten Anforderungen, werden dabei genauer betrachtet.

- Anlage von Produktionsplänen
- Erstellen eines Arbeitsplanes
- Erstellen eines Ortstrukturplanes
- Erstellen eines Hallenlayouts
- Instanzieren eines Arbeitsplanes
- Konfiguration eines Arbeitsplanes in Abhängigkeit einer Produktvariante
- Mappen von Arbeitsgängen zu Arbeitsplätzen
- Verknüpfen von Arbeitsplan, Ortstruktur und Produkt
- Erstellen und bearbeiten eines Logistikplanes
- Konsistenzcheck von Arbeitsplänen
- Mappen von Stücklistenpositionen zu einem Arbeitsplan

Für die Beschreibung der funktionalen Anforderungen werden generelle Bedingungen vorausgesetzt. Es existiert ein vordefiniertes Projekt, ein zum Projekt verknüpft Produkt mit einer Maximalstückliste, die ein oder mehrere Varianten enthält und mindestens ein Unternehmen für die Festlegung des Ortstrukturplanes.

FA_01: Anlage eines Produktionsplanes

Vorbedingung:

-

Ablauf:

Aus der Benutzeroberfläche heraus ist es möglich ein Produktionsplan anzulegen. Dazu wird die entsprechende Klasse Produktionsplan ausgewählt und eine Neuanlage durchgeführt. (siehe Abbildung 25: Interaktion MPM-Objekt – Operation Neuanlage) Alternativ wird die Neuanlage aus dem Kontext eines Produktes durchgeführt. (siehe Abbildung 26: Neuanlage Produktionsplan „Autositz Basic“)

Wenn der Produktionsplan im Kontext eines Produktes erzeugt wird, wird die Verknüpfung automatisch bei der Neuanlage registriert, ansonsten muss manuell die Verknüpfung zum Produkt durchgeführt werden.

Falls bereits ein Arbeitsplan und/oder ein Ortstrukturplan existiert, kann direkt bei der Neuanlage oder später im Änderungsmodus eine Verknüpfung hergestellt werden.

Nachbedingung:

Es existiert ein Produktionsplan, optional mit Verknüpfung zu einem Arbeitsplan, einem Produkt und/oder einem Ortstrukturplan.

FA_02: Erstellen eines Arbeitsplanes

Vorbedingung:

-

Ablauf:

Es wird aus der Benutzeroberfläche heraus ein neuer Arbeitsplan angelegt. (siehe Abbildung 25: Interaktion MPM-Objekt – Operation Neuanlage) Er wird in einer Strukturansicht dargestellt mit sich selbst als Wurzelement. In der Strukturansicht kann der Anwender die genaue Planung spezifizieren. (siehe Abbildung 27: Planung spezifizieren) Neue Arbeitsfolgen können erstellt werden und diese werden automatisch mit dem Arbeitsplan in Relation gesetzt. Zu den Arbeitsfolgen lassen sich im Folgenden Arbeitsgänge erstellen. Die Strukturansicht visualisiert dabei alle Elemente in einer Baumstruktur.

Nachbedingung:

Es existiert ein Arbeitsplan. Der Arbeitsplan hat keine oder mehrere Arbeitsfolgen, falls er mindestens eine Arbeitsfolge hat, kann er keine oder mehrere Arbeitsgänge haben.

FA_03: Erstellen eines Ortstrukturplanes

Vorbedingung:

-

Ablauf:

Von der Handhabung unterscheiden sich Arbeitsplan und Ortstruktur nicht, es existieren inhaltliche Unterschiede. Daher siehe FA_04.

Statt eines Arbeitsplanobjektes wird ein Ortstrukturplanobjekt erstellt. Die Arbeitsfolgen werden als Stationen und die Arbeitsgänge als Arbeitsplätze spezifiziert.

Nachbedingung:

Es existiert ein Ortstrukturplan. Der Ortstrukturplan hat keine oder mehrere Stationen, falls er mindestens eine Station hat, kann er keine oder mehrere Arbeitsplätze haben.

FA_04: Erstellen eines Hallenlayouts

Vorbedingung:

Es existiert ein Arbeitsplan mit mindestens einem Arbeitsgang.

Es existiert ein Ortstrukturplan mit mindestens einem Arbeitsplatz.

Es besteht ein Mapping zwischen mindestens einem Arbeitsgang und einem Arbeitsplatz.

Ablauf:

Der Anwender wählt einen Arbeitsplan aus und wählt aus dem Kontextmenü die Operation „Hallenlayout“ aus. Ziel des Hallenlayouts ist es eine Fertigungshalle und deren Arbeitsplätze von der Struktur her abzubilden und zu visualisieren. (siehe Abbildung 30: Hallenlayout bearbeiten) Beim Initialen Aufruf werden alle Knoten nach ihrer Reihenfolge in der Struktur nebeneinander dargestellt. Ein Knoten besteht aus dem Arbeitsgang und dem dazu verknüpften Arbeitsplatz. Er wird als Rechteck dargestellt und beinhaltet als Beschriftung den Namen des Arbeitsganges und des Arbeitsplatzes. Per Drag and Drop kann der Anwender die Knoten beliebig anordnen. Bei jeder Verschiebung wird die Position des Knotens gespeichert und bei erneutem Aufruf des Hallenlayouts wird der Knoten an dieser Position dargestellt.

Nachbedingung:

Neu strukturiertes Hallenlayout mit gespeicherten Positionsangaben der einzelnen Knoten.

FA_05: Instanzieren eines Arbeitsplanes

Vorbedingung:

Es existiert ein Arbeitsplan.

Ablauf:

Es wird ein Arbeitsplan ausgewählt und aus dem Kontextmenü die Operation „Arbeitsplan instanziiieren“ ausgewählt. (siehe Abbildung 31: Arbeitsplan instanziiieren) In der darauf folgenden Maske wählt der Anwender den Produktionsplan und die Produktvariante aus für die der Arbeitsplan instanziiert werden soll. (siehe Abbildung 29: Arbeitsplan konfigurieren) Befindet sich der Anwender bereits im Kontext eines Produktionsplanes, muss nur die Produktvariante ausgewählt werden. In der Strukturansicht des jeweiligen Produktionsplanes sind alle instanziierten Arbeitspläne aufgeführt. Parallel erstellt die Operation automatisch einen Logistikplan der ebenfalls in der Strukturansicht des ausgewählten Produktionsplanes erscheint.

Nachbedingung:

Instanziiierter Arbeitsplan und ein Logistikplan.

FA_06: Konfiguration eines Arbeitsplanes in Abhängigkeit einer Produktvariante

Vorbedingung:

Es existiert ein Arbeitsplan.

Ablauf:

Nach der Auswahl eines Arbeitsplanes bietet das Kontextmenü die Operation „Arbeitsplan konfigurieren“ an. In der nachfolgenden Maske wird per Katalogauswahl der Produktionsplan und eine Variante ausgewählt. (siehe Abbildung 29: Arbeitsplan konfigurieren)

Nachbedingung:

Anwender sieht in einer Strukturansicht den gefilterten Arbeitsplan in Abhängigkeit zu der Produktvariante.

FA_07: Mappen von Arbeitsgängen zu Arbeitsplätzen

Vorbedingung:

Es existiert ein Produktionsplan, dem mindestens ein Arbeitsplan mit einer Arbeitsfolge und einem Arbeitsgang und ein Ortstrukturplan mit mindestens einer Station und einem Arbeitsplatz zugeordnet sind.

Ablauf:

Der Anwender öffnet die Strukturansicht des Produktionsplans. Aus der Strukturansicht wählt er einen Arbeitsgang aus und kann diesen per Drag and Drop auf einen beliebigen Arbeitsplatz platzieren.

Nachbedingung:

Es besteht eine Verknüpfung zwischen dem ausgewählten Arbeitsgang und Arbeitsplatz.

FA_09: Erstellen und bearbeiten eines Logistikplanes

Vorbedingung:

Es existieren ein Produktionsplan, ein verknüpftes Produkt, ein Arbeitsplan und ein Ortstrukturplan. Im Arbeitsplan sind Arbeitsgänge mit Stücklistenpositionen aus dem Produkt und mit Arbeitsplätzen aus dem Ortstrukturplan verknüpft.

Ablauf:

Aus dem Kontextmenü des Arbeitsplanes wird die Operation „Arbeitsplan instanziiieren“ aufgerufen. (siehe FA_05) Nach Aufruf der Operation wird automatisch eine Lieferroute in der Produktionsplanung erstellt. Die Lieferroute kann im Anschluss vom Anwender manuell bearbeitet werden. Dabei ist es möglich neue Lieferrouten, Stationen und Arbeitsplätze hinzuzufügen

Nachbedingung:

Der Arbeitsplan wurde instanziiert und aus den Verknüpfungen zwischen Produkt, Ortsstrukturplan und Produkt wurde ein Logistikplan erzeugt.

FA_10: Konsistenzcheck von Arbeitsplänen

Vorbedingung:

Es existiert eine Instanz eines Arbeitsplans.

Ablauf:

Durch die Operation „Konsistenz Check“ am Arbeitsplan werden die verknüpften Stücklistenpositionen und Arbeitsplätze überprüft. Falls es Änderungen an diesen Objekten gab, bspw. sie wurden gelöscht wird der Nutzer darauf per Nachrichtenbox aufmerksam gemacht und kann manuell die Inkonsistenzen überarbeiten.

Nachbedingung:

Anwender ist über Inkonsistenzen im Arbeitsplan informiert.

FA_11: Mappen von Stücklistenpositionen zu einem Arbeitsplan

Vorbedingung:

Es existiert ein Arbeitsplan mit mindestens einem Arbeitsgang und es gibt ein verknüpftes Produkt zu dem Arbeitsplan.

Ablauf:

Per Drag and Drop kann der Anwender die Stücklistenpositionen aus dem Produkt auf die Arbeitsgänge des Arbeitsplanes ziehen und somit eine Relation zu diesen herstellen.

Nachbedingung:

Die ausgewählten Arbeitsgänge haben eine verknüpfte Stücklistenposition.

5.4.2.3 Nichtfunktionale Anforderungen

Die Nichtfunktionalen Anforderungen spezifizieren qualitative Aspekte des Modules und müssen entsprechend im Architekturentwurf berücksichtigt werden.

Hierfür unterteilen wir Sie in die fünf folgenden Bereiche Look and Feel, Benutzbarkeit, Performanz und Sicherheit. (Balzert, Lehrbuch der Softwaretechnik, 2009)

Für eine maximale Kundenzufriedenheit ist es wichtig nicht nur alle Funktionen anzubieten, sondern diese auch für den Anwender entsprechend Transparent und Komfortabel zu gestalten. Hierunter fallen alle Funktionen bei denen keine eindeutige Zuordnung zu funktionalen Anforderungen möglich ist. (V-Modell XT, 2014)

NFA_1 Performanz

- Das Modul soll keine unnötigen Ressourcen verbrauchen.

- Keine der Operation sollte länger als zwei Sekunden den Anwender ohne Benachrichtigung warten lassen.

NFA_2 Benutzbarkeit

- Anwender soll das Modul intuitiv verwenden können und auf keinerlei Anleitungen zurückgreifen müssen.

NFA_3 Look and Feel

- Das Modul verwendet in den neu erstellten Benutzerinterfaces Farben die CDB konform sind.
- Der Nutzer soll wenn er CDB kennt direkt vertraut mit dem Modul sein.

NFA_4 Zuverlässigkeit

- Fehler sollen abgefangen werden und entsprechende Fehlermeldungen dem Anwender mitgeteilt werden.
- Das Modul soll insgesamt stabil und robust gegenüber Eingaben des Anwenders funktionieren.

5.5 Architekturmodell

Die funktionalen Anforderungen spezifizieren die Kernoperation die für die Umsetzung des MPM – Modules notwendig sind. Daraus ergibt sich die Architektur der Klassen, wie sie im *CDB – Data Dictionary* (siehe 2.4.2 Data Dictionary) abgebildet werden. Neben der Abbildung im *Data Dictionary* existiert eine korrespondierende Klasse im *PYTHON* - Code.

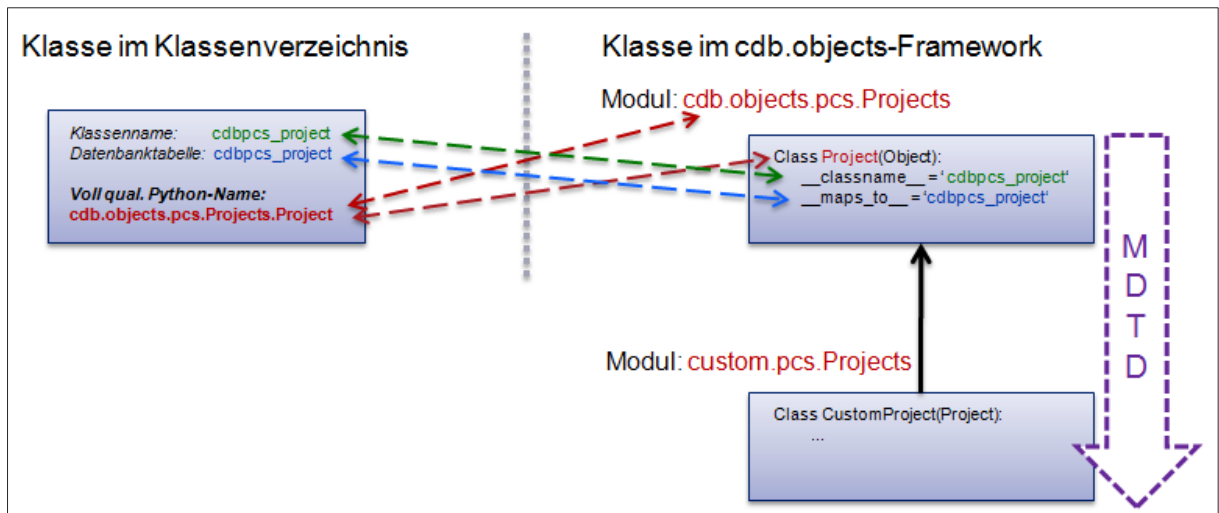


Abbildung 32: Verbindung *Data Dictionary* Klasse mit *PYTHON* Klasse

In Abbildung 32 ist die Verknüpfung zwischen *Data Dictionary* und *PYTHON* dargestellt. Der Klassenname aus CDB wird in den Quelltext eingetragen und mit dem Makro `__classname__` entsprechend gemappt. Das Makro `__maps_to__` verknüpft die Klasse mit der entsprechenden Datenbankrelation. Anschließend können auf die entsprechenden Attribute, Events und Operationen der Klasse zugegriffen werden.

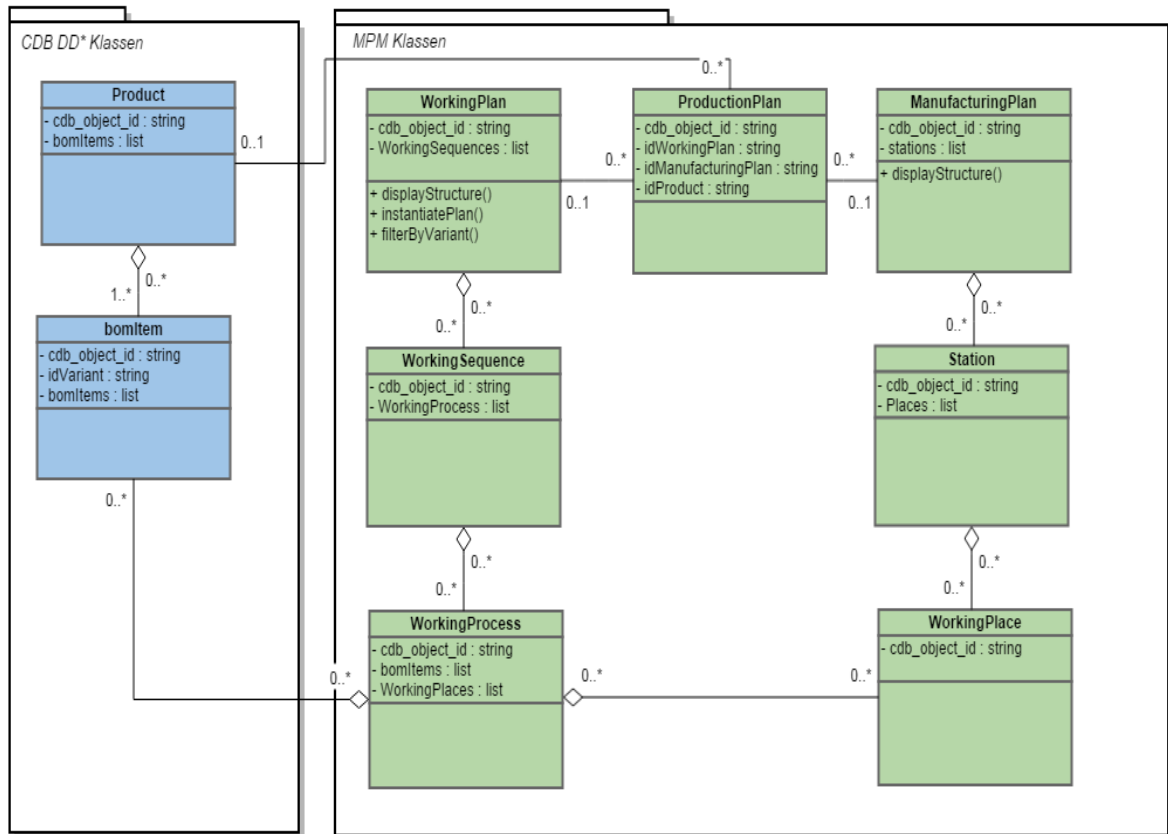


Abbildung 33: Architekturmodell MPM - Modul

Aufgrund der Korrespondenz zwischen Klassendefinition und Datenbankschema beschränkt sich der Architekturentwurf in Abbildung 33 auf ein UML – Klassendiagramm (Unified Modelling Language (Object Management Group, 2014)). Der Entwurf wurde stark vereinfacht, um die Schnittstelle zwischen den Standard *CDB Data Dictionary* Klassen und den Klassen des *MPM – Modules* hervorzuheben. Ebenfalls sind die Attribute der Klassen nicht mit aufgeführt. Lediglich der Primärschlüssel, welcher CDB bedingt, für jede Klasse die *cdb_object_id* ist und die Fremdschlüssel sind dargestellt. In einem Datenbankschema würden die Listen entsprechend durch Relationstabellen ersetzt werden.

Es wird hier das Grundgerüst illustriert, welches im Konzept für das MPM – Modul ausgearbeitet wurde. Die Schnittstellen zwischen MPM – Modul und PDM – System sind gemäß dem Konzept so minimal wie möglich gehalten. Es existiert eine Referenz von dem Produkt (Product) zu den Produktionsplänen (ProductionPlan) und eine Referenz der Stücklistenpositionen (bomItem) zu den Arbeitsgängen (WorkingProcess). Durch diese Relationen können die Daten aus dem PDM – System mit denen der Planung verknüpft werden. Die Funktionen

InstantiatePlan und *FilterById* verwenden die Zuordnung der Stücklistenposition für Ihre Realisierung.

Im nächsten Abschnitt werden anhand von Screenshots des Prototyps die Implementierung und der Zusammenhang zur Architektur weiter verdeutlicht.

5.6 Ergebnisbetrachtung

Nach der Erarbeitung des Konzeptes und der prototypischen Implementierung wird an dieser Stelle das Ergebnis anhand der Umsetzung in CDB vorgestellt und erläutert. Dabei wurden einige ausgewählte Ansichten und Funktionen herausgegriffen, die einen Gesamteindruck der Implementierung vermitteln sollen. Eine komplette Betrachtung der Umsetzung würde über den Rahmen der Ausarbeitung hinausgehen und kann in einem späteren Handbuch nachgeliefert werden.

Es wurden die aus Kapitel 5.4 genannten Anforderungen und Anwendungsfälle implementiert und basierend auf dem Konzept des Architekturmodells die Verbindung zwischen den bestehenden CDB Komponenten und dem MPM - Modul realisiert.

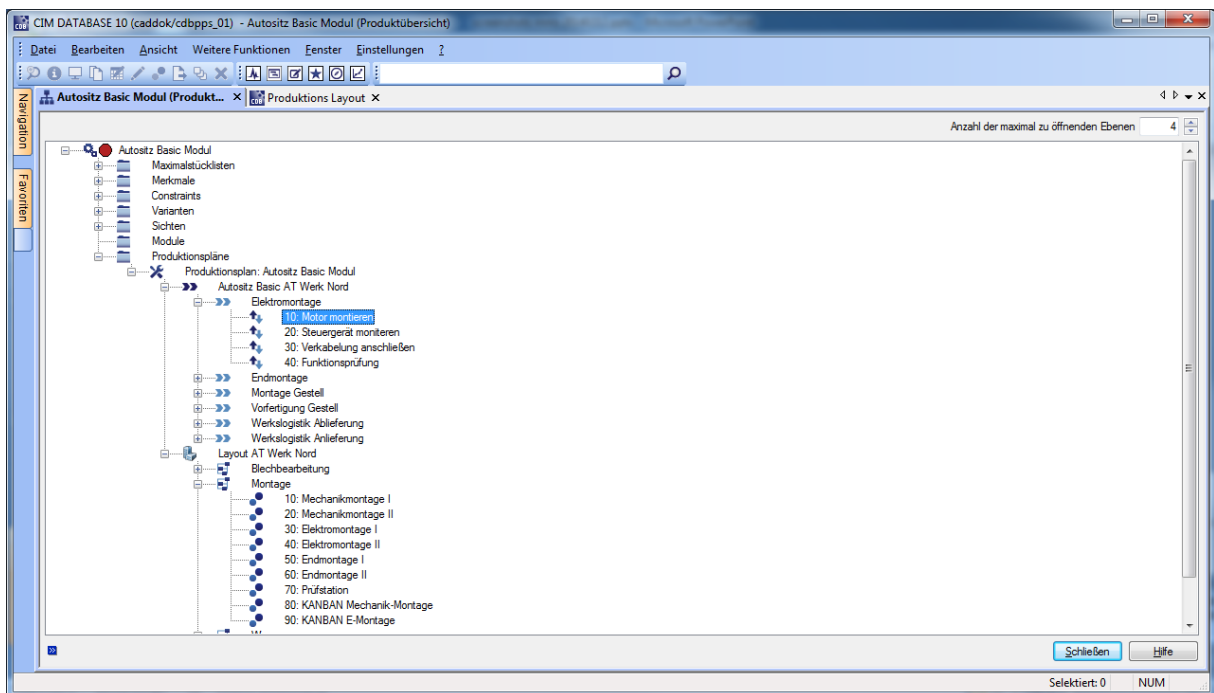


Abbildung 34: Strukturdarstellung Produktionsplan

In Abbildung 34 ist die Strukturdarstellung eines Produktes in CDB dargestellt. Teil der Struktur ist die Relation zu den Produktionsplänen, welche die Verknüpfung zu den Funktio-

nen des MPM - Modules abbilden. Ebenso gliedern sich mit dem Produktionsplan, Arbeitspläne und Ortstrukturpläne mit in die Struktur ein. Der Arbeitsplan ist in der Abbildung mit *Autositz Basi AT Werk Nord* und der Ortstrukturplan mit *Layout AT Werk Nord* betitelt.

Vor dem Hintergrund der nicht funktionalen Anforderungen wurden die hinzugefügten Objekte, in die für den Anwender bekannte Arbeitsumgebung eingeflochten. *NFA_2* und *NFA_3* aus Kapitel 5.4.2.3 fanden dabei Berücksichtigung. Es wurden keine neuen GUI – Elemente verwendet und das Modul passt sich in das Benutzerinterface layoutseitig und von der Farbgebung in CIM DATABASE ein. *NFA_1* und *NFA_4* wurden nur indirekt beeinflusst, da an dieser Stelle CDB bereits Abstürze und Fehler aus der Programmierung abfängt und eine Fehlermeldung an den Benutzer weiterreicht. Durch die Verwendung der bereitgestellten GUI - Komponenten sind Eingaben in Masken und die Verwendung des Benutzerinterfaces ebenfalls robust gegenüber Fehleingaben.

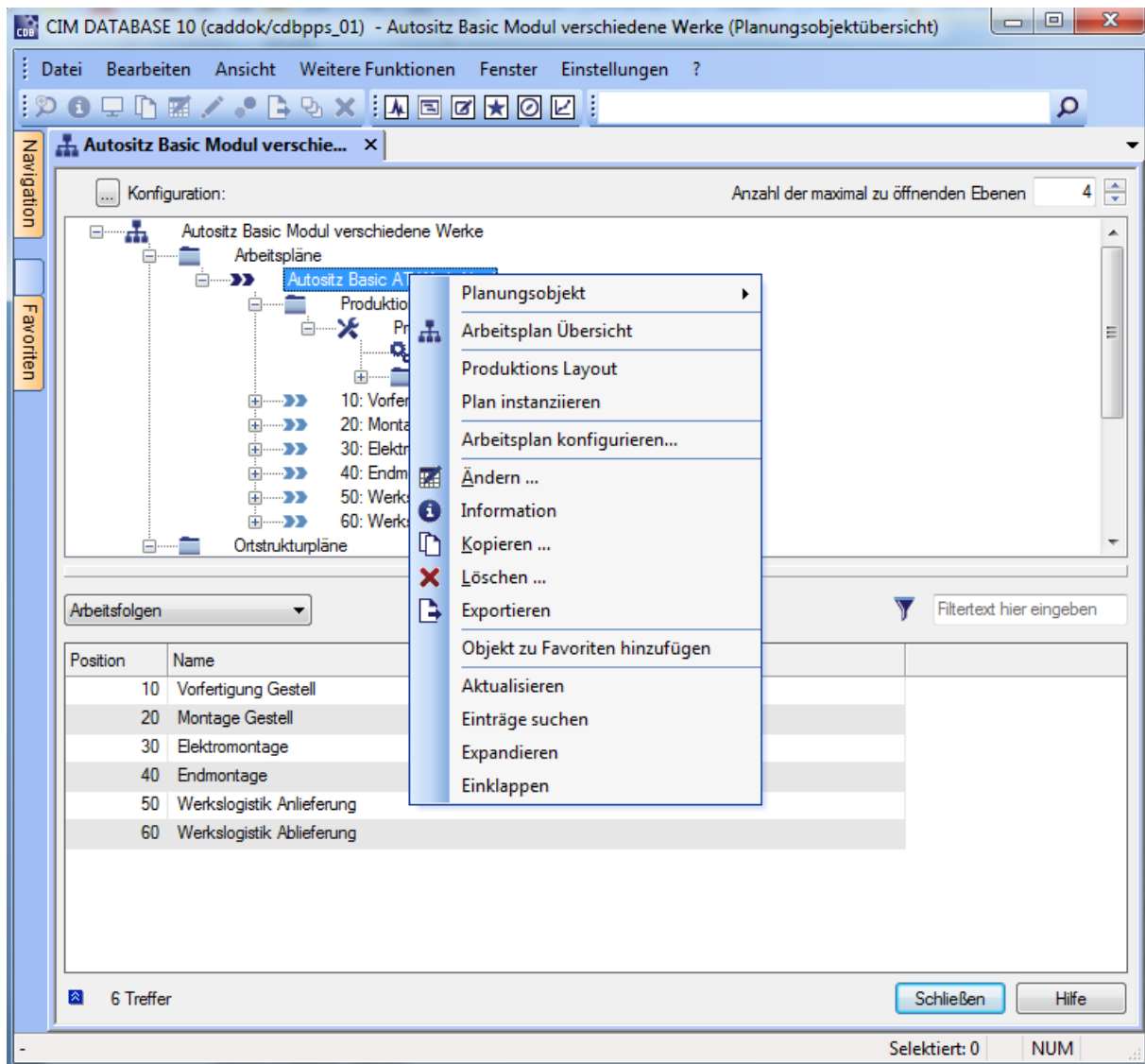


Abbildung 35: Arbeitsplan mit Kontextmenü

Abbildung 35 zeigt das Arbeitsplanobjekt. Im unteren Drittel des Screenshots ist die Relation zu den Arbeitsfolgen zu sehen. Im mittleren Teil sieht man die Struktur des Arbeitsplanes mit den jeweiligen Arbeitsfolgen und deren Positionsnummer. Durch das Expandieren der Arbeitsfolgen würden die Arbeitsgänge sichtbar werden.

Im abgebildeten Kontextmenü sind die standardmäßigen CDB Operationen sichtbar, wie *Ändern*, *Informationen*, *Kopieren*, etc. Ebenfalls zu sehen sind die selbst definierten Operationen *Arbeitsplan konfigurieren*, *Produktions Layout* (=Hallenlayout) und *Arbeitsplan instanziiieren*.

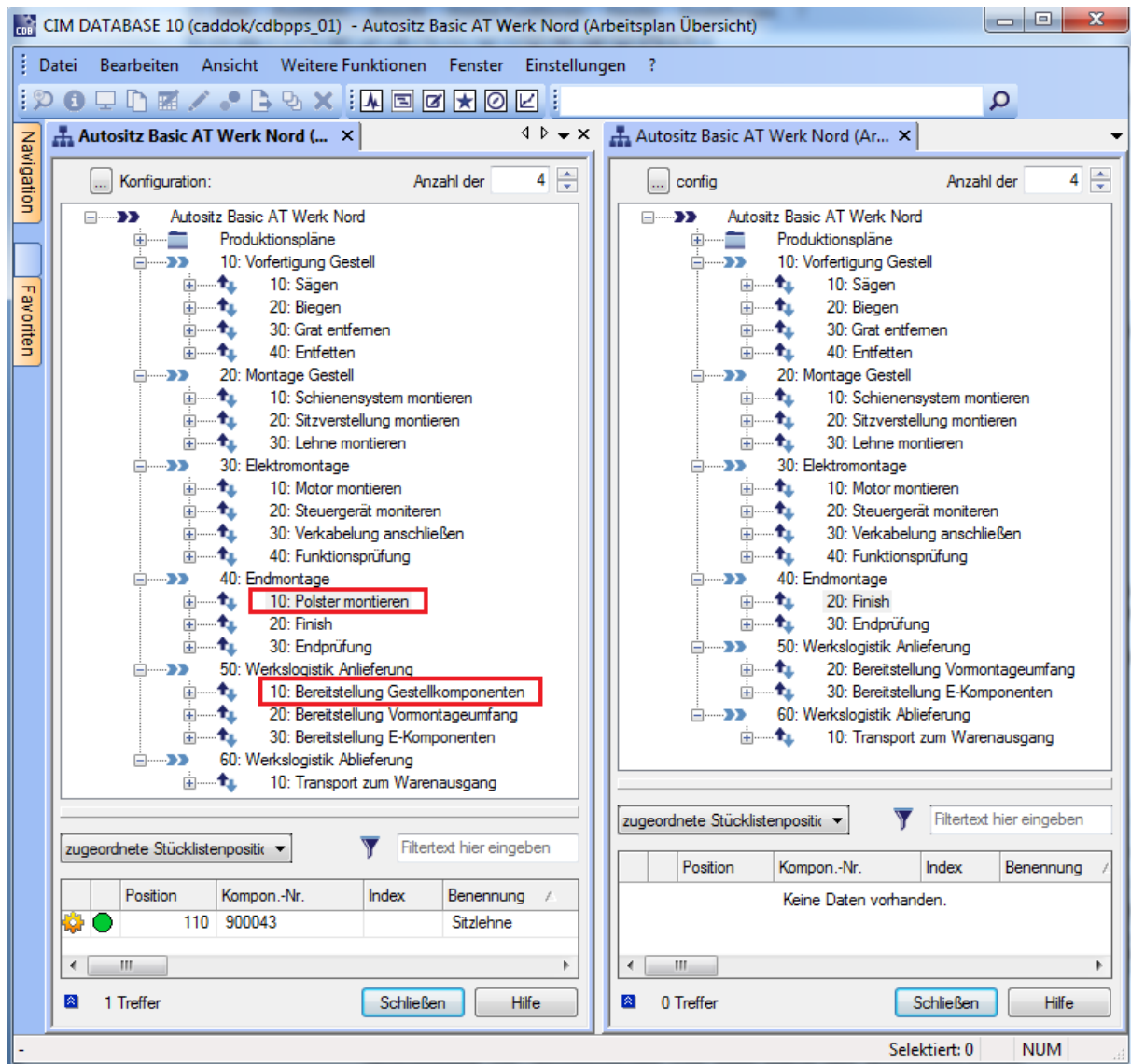


Abbildung 36: Arbeitsplan vor und nach der Konfiguration

Die Abbildung 36 zeigt den maximalen Arbeitsplan links und rechts den konfigurierten Arbeitsplan nach Aufruf der Operation *Arbeitsplan konfigurieren*. Die in rot eingefärbten Arbeitsgänge wurden durch die Konfiguration herausgefiltert. Bei dem Arbeitsgang Polster montieren auf der linken Seite ist unten die zugeordnete Stücklistenposition zu sehen. Diese Stücklistenposition ist in der Konfiguration die auf der rechten Seite abgebildet ist nicht verbaut. Anhand dessen erkennt der implementierte Filteralgorithmus, dass ebenfalls der dazugehörige Arbeitsgang aus dem Arbeitsplan entfernt werden kann.

6 Evaluation

Um bei der Erarbeitung eines gültigen Konzeptes Schlüsse auf die Gültigkeit zu ziehen, wird der vorgestellte Prototyp in diesem Kapitel mit bestehenden IT-Lösungen in der technischen Produktionsplanung verglichen.

Hierzu werden zwei kommerzielle Anwendungen und eine thematisch ähnlich angesiedelte hausinterne Lösung von CONTACT Software mit der prototypischen Implementierung abgeglichen. Ziel ist es dabei Rückschlüsse auf die Gültigkeit des Konzeptes zu erhalten und dessen Praxistauglichkeit zu prüfen.

6.1 Auswahl der bestehenden Anwendungen

Der momentane Markt bietet zum heutigen Zeitpunkt ein breites Spektrum an Planungswerkzeugen. Für die Evaluation musste eine Vorauswahl getroffen werden, um die Lösungen zu finden, die auf dem derzeitigen Markt einen repräsentativen Charakter darstellen.

Eine Studie aus dem Jahr 2006 durchgeführt von Bley, H et. al. ergab, dass die bedeutendsten Produkte DELIMIA und Tecnomatix sind. Diese Systeme kristallisierten sich nach dem Vergleich der folgenden Eigenschaften heraus: (Bley & Zenner, Die zwei Seiten der Digitalen Fabrik, 2006)

- Funktionsumfang der Software
- Die Verbreitung der Software, besonders aus Sicht der Zulieferer
- Vorgabe von Geschäftsleitung oder Kunden

Das Ergebnis wurde im Rahmen dieser Ausarbeitung mit einer Anfrage an das Fraunhofer IPK in Berlin abgeglichen. Das Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik untersucht seit mehreren Jahren den Markt für jegliche Software die in Korrelation mit der Produktentwicklung steht. Die Gültigkeit, auch wenn gleich andere Produkte seit 2006 aufgeholt haben hat dennoch Bestand.

In den folgenden Abschnitten werden die Anwendungen kurz vorgestellt und im Anschluss mit der prototypischen Implementierung verglichen.

6.1.1 DELMIA

DELMIA Planungswerkzeuge ist ein Lösungsansatz der Firma DELMIA ein Tochterunternehmen des Systemhauses Dassault Systèmes. Kern des Produktes ist der so genannte *Manufacturing Hub*. Er dient zur Speicherung und Verwaltung von Prozess-, Produkt- und Ressourcendaten und ist die Datenbasis für die verschiedenen Planungswerkzeuge von *DELMIA*.

Die Produktpalette bietet eine ganze Reihe von Lösungen für die einzelnen Sektoren der Produktionsentwicklung und Planung: (Delfoi, 2014)

- Delmia Process Engineer (Fabrikplanung)
- Delmia Workcell Builder (3D Layoutplanung)
- Delmia Robotics (Robotersimulation)
- Delmia Human (Ergonomiesimulation)
- Delmia Assembly (Montageplanung)
- Delmia Automation (virtuelle Inbetriebnahme)
- Delmia Quest (Fabriksimulation)

Wie aus der Liste zu entnehmen spalten sich die Planungswerkzeuge in viele einzelne Softwarebausteine auf, die untereinander kompatibel sind und über das Manufacturing Hub auf die gleiche Datenbasis zugreifen. Einen ausführlichen Überblick der Funktionen der DELMIA – Lösungen beschreibt (Kiefer, 2003) in seinem akademischen Beitrag zur Erarbeitung einer digitalen Planungsmethodik.

DELMIA wurde aus einem Konsortium von drei Unternehmen gegründet und bietet daher aus historischen Gründen neben dem *DELMIA Process Engineer* eine weitere Lösung für die Produktionsplanung an, *DELMIA V6*. Funktional überschneiden sich beide Planungswerkzeuge teilweise, haben aber dennoch unterschiedliche Einsatzzwecke, da *DELMIA V6* eng an das CAD – System CATIA gekoppelt ist.

Process Engineer stellt das offenere System von beiden dar, daher ist es besser mit dem hier entwickelten Konzept des MPM – Modules vergleichbar. Aus diesem Grund wird es für die spätere Evaluation verwendet.

6.1.2 Tecnomatix

Die Firma *Tecnomatix Technologies Ltd.* wurde im Jahr 2005 durch *UGS* übernommen. Mit der Übernahme wurden die von *UGS* bereits entwickelten MPM – Lösungen in die Software

Tecnomatix integriert. 2007 erfolgte die Übernahme durch Siemens, die wiederum die Softwarekomponenten mit in ihr Produktportfolio *Siemens PLM Software* aufnahmen.

Während bei *DELMIA* der *Manufacturing Hub* die Datenbasis für die verschiedenen Planungswerkzeuge darstellt, verwendet *Tecnomatix* das PLM – System *Teamcenter* als Datenquelle.

Die Kernanwendung der *Tecnomatix* Lösungen ist die Software *Plant Simulation*. Mit ihr können Einrichtungen und Betriebsmittel in einer gemeinschaftlichen Arbeitsumgebung, parallel zum Produktionsprozess geplant werden. Die Ergebnisse der Planung werden als eBOPs (electronic Bill Of Processes – elektronisches Prozessdatenmodell) gespeichert. Dabei werden die Prozesslogik und –abfolge, sowie die Beziehungen zwischen Prozessen, Produkten und Ressourcen erfasst. Mit dem *Plant Simulation Server* werden die Zusammenarbeit und der Austausch mehrerer Informationshersteller gewährleistet. Eine Übersicht der weiteren Funktionen und Werkzeuge finden sich unter (Siemens, 2014).

6.2 Vergleich der Anwendungen

6.2.1 Methodik

Die Evaluation des MPM – Modules soll Rückschlüsse auf die Gültigkeit des erarbeitenden Konzeptes liefern. Dabei stehen zwei Aspekte im Mittelpunkt der Bewertung. Zum Einen die Funktionalität und zum Anderen die Effizienz der Software.

Hierfür werden drei Szenarien definiert und bewertet. Die Szenarien werden von einem *Experten* durchgeführt, der mit der grundlegenden Bedienung der drei Systeme vertraut ist. Er verfügt über langjährige Kenntnisse im PDM – Bereich und hat praktische Erfahrung in der Produktionsplanung. Auf Grund des zeitlichen Rahmens der Diplomarbeit beschränkt sich die Evaluierung auf eine eingeschränkte Anzahl an Aufgaben.

Ein Szenario besteht dabei aus einer Bezeichnung (fett gedruckt) und einer Aufzählung von durchzuführenden Arbeitsschritten. Die Beschreibung der Szenarien bezieht sich auf die Begrifflichkeiten des MPM – Modules. Begriffe für einzelne Elemente in den anderen beiden Softwarekomponenten können abweichen, werden hier aber nicht extra aufgeführt. Der Funktionsumfang der einzelnen Systeme unterscheidet sich, daher werden Szenarien gewählt, die in allen Systemen abbildbar sind:

Erstellen einer Arbeitsplanung:

- Erzeugen eines Arbeitsplanes zu einem Produkt
- Zuordnung von drei Arbeitsfolgen mit jeweils zwei Arbeitsgängen.
- Zuordnung von Stücklistenpositionen zu den einzelnen Arbeitsgängen.

Variantenabhängige Konfiguration des erstellten Arbeitsplanes

- Darstellung bzw. Filterung der durchzuführenden Arbeitsgänge in Abhängigkeit einer Produktvariante

Bearbeitung des Arbeitsplanes für verschiedene Produktversionen

- Erzeugung einer Instanz des Arbeitsplanes
- Entfernen von Stücklistenpositionen aus dem Produkt
- Konsistenzcheck des Arbeitsplanes
- Erzeugung eines konsistenten Arbeitsplanes

Für die Ermittlung der Ergebnisse wird die Durchführung beobachtet und im Nachhinein soll eine Einschätzung zu den folgenden Kriterien abgegeben werden. Dabei wird jedes Szenario einzeln bewertet und im Nachhinein ein Fazit gezogen.

Kriterium	Erläuterung
Effektivität	Ließ sich in angemessener Zeit ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht.
Ergebnisdarstellung	Sind die Ergebnisse einer Aufgabe in übersichtlicher Form einsehbar.
Funktionsvielfalt	Zusätzliche Funktionen die einen Mehrwert mit sich bringen.










Tabelle 5: Kriterien der Evaluation

6.2.2 Auswertung

Die Ergebnisse der in Kapitel 6.2.1 Methodik vorgestellten Szenarien werden in den nachfolgenden Tabellen dargestellt. Die Bewertungen beziehen sich auf Delmia E5 Process Engineer

und Tecnomatix in der Version 11. Für das MPM – Modul wurde die beschriebene prototypische Implementierung verwendet.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Bewertungen in Tabelle 6 bis Tabelle 8 keine allgemeine Beurteilung der Systeme darstellen. Zum Einen ist die dreistufige Bewertung zu allgemein, um die Funktionalitätsunterschiede im Detail zu vergleichen und zum anderen stellt der Vergleich nur eine Momentaufnahme des Funktionsumfanges der Lösungen dar. Darüber hinaus wurde die Evaluierung in einem speziellen Kontext durchgeführt, der sich je nach Anwendungsgebiet oder Unternehmen anders gestalten kann.

Erstellen einer Arbeitsplanung	DELMIA Process Engineer	Tecnomatix	MPM - Modul
Effektivität			
Ergebnisdarstellung			
Funktionsvielfalt			













 erfüllt  teilweise erfüllt  nicht erfüllt

Tabelle 6: Evaluationsergebnis - Erstellen einer Arbeitsplanung

Variantenabhängige Konfiguration des erstellten Arbeitsplanes	DELMIA Process Engineer	Tecnomatix	MPM - Modul
Effektivität			
Ergebnisdarstellung			
Funktionsvielfalt			













 erfüllt  teilweise erfüllt  nicht erfüllt

Tabelle 7: Evaluationsergebnis - Variantenabhängige Konfiguration des erstellten Arbeitsplanes

Bearbeitung des Arbeitsplanes für verschiedene Produktversionen	DELMIA Process Engineer	Tecnomatix	MPM - Modul
Effektivität			
Ergebnisdarstellung			
Funktionsvielfalt			




 erfüllt  teilweise erfüllt  nicht erfüllt

Tabelle 8: Evaluationsergebnis - Bearbeitung des Arbeitsplanes für verschiedene Produktversionen

Bei Betrachtung der in Tabelle 6 bis Tabelle 8 dargestellten Ergebnisse kristallisieren sich drei Faktoren heraus.

Alle Aspekte der Szenarien wurden in allen Systemen erfüllt bzw. teilweise erfüllt. Erklärung dafür liefert die Definition des Evaluationskontextes. Eines der Kriterien bei der Szenarioerstellung war es, dass sie sich in allen drei Systemen abbilden lassen.

Weiterhin wird bei den beiden kommerziellen Anwendungen deutlich, dass deren Funktionsvielfalt im Durchschnitt besser bewertet wurde, als die des MPM – Modules. Das erste Szenario welches vermeintlich das simpelste darstellt, wurde die Funktionsvielfalt noch gleich beurteilt, bei den anderen beiden Szenarien schlechter. Ein ähnliches Ergebnis lässt sich bei der Ergebnisdarstellung ablesen.

Positiv wurde hingegen die Effektivität des MPM – Modules im Vergleich bewertet. Mutmaßlich geht dieser Faktor einher mit der begrenzten Funktionsvielfalt. Das MPM – Modul wurde dafür konzipiert, um möglichst unkompliziert eine Arbeitsplanung zu erstellen und dabei wichtige Aspekte der technischen Produktionsplanung zu berücksichtigen.

Das Ziel der Evaluation war es einen Anhaltspunkt auf die Gültigkeit des Konzeptes zu erhalten. Indem der Prototyp des MPM - Modules mit bestehenden Anwendungen verglichen wurde. Zwar lässt sich in Anbetracht des Umfangs der Evaluation keine allgemeingültige Aussage treffen, dennoch ist auf Grund der Ergebnisse anzunehmen, dass es sich um einen geeigneten Lösungsansatz handelt. Insbesondere die Integration in ein bestehendes PDM – System

erscheint dabei für KMUs sinnvoll zu sein. Kleine und mittelständische Unternehmen haben in der Regel nicht die Ressourcen, um Lösungen wie *Process Engineer* oder *Tecnomatix* umzusetzen. Eine Lösung wie das MPM – Modul kann hingegen im Vergleich mit relativ wenig Aufwand umgesetzt werden und dabei teilweise sogar effektiver sein, indem man sich auf die Kernanforderungen konzentriert.

Auf Grund des beschränkten zeitlichen Rahmens der Ausarbeitung konnte nicht untersucht werden, ob sich das Konzept auf andere PDM – Systeme ebenfalls übertragen lässt. Im Ausblick wird dabei noch einmal auf die Möglichkeiten eingegangen, wie diese Arbeit vorzuführen wäre.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

Verschärfte Wettbewerbsfähigkeit auf den globalen Märkten, sowie die steigenden Anforderungen der Kunden an individualisierbare Produkte stellen die produzierenden Unternehmen vor neue Herausforderungen. Produktionsverlagerungen an verschiedene Standorte erfordern einen erhöhten Aufwand in der Produktionsplanung. Insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen die bereits am Limit ihrer Ressourcen versuchen, dem Wettbewerbsdruck standzuhalten, müssen sich ihren Möglichkeiten entsprechend kostentechnisch und qualitativ verbessern.

Simoultaneous Engineering ist dabei ein geeigneter Ansatzpunkt, um bestehende Produktionsprozesse effizienter zu gestalten. Das Konzept des MPM – Modules verfolgt hierbei den gleichen Grundgedanken, in dem es den Planungsprozess als festen Bestandteil in die Entwicklung verankert. Durch die Synchronisierung dieser, in vielen Betrieben, hintereinander geschalteten Prozesse soll letztendlich nicht nur der Planungsaufwand reduziert, sondern auch die Planungsqualität erhöht werden.

In der vorliegenden Arbeit wird daher ein Konzept für die Implementierung einer Lösung in ein bestehendes PDM – System vorgestellt. Das Konzept ist dabei in drei Phasen eingeteilt, um die Machbarkeit abzuschätzen und die Umsetzung zu erleichtern. Phase eins ist die Schnittstellenanalyse in der das zu Grunde liegende PDM – System auf seine Eignung hin analysiert wird. Die nachfolgende Phase ist die Konzeption selbst. Innerhalb dieser Arbeit wurde das grundlegende Konzept dafür gelegt. Je nach Unternehmen und Anforderungen kann dieses Grundkonzept angepasst und erweitert werden. Die letzte Phase stellt die Integration in das entsprechende PDM – System dar. Hierfür wurde die prototypische Implementierung auf Basis von CIM DATABASE vorgenommen.

Es ist keine Seltenheit, dass ein Großteil der Unternehmen weitestgehend ohne moderne IT – Werkzeuge ihre Produktionsabläufe planen. Andere wiederum arbeiten mit einer inhomogenen Struktur, die von Insellösungen geprägt ist. Das in dieser Arbeit vorgestellte Konzept, trägt diesem Umstand Rechnung und stellt die Basis für eine durchgängige Planung.

Durch die Integration in ein PDM – System können Produktstrukturen und Produktvarianten bereits frühzeitig in der Planung berücksichtigt werden. Es werden Verknüpfungen realisiert, die es bei der Weiterentwicklung des Produktes erleichtern die Planung entsprechend zu synchronisieren. Der Prozess kann durch die Erzeugung von Instanzen, die eine Momentaufnahme der Planung abbilden, verfolgt werden. Die Instanziierung erstellt dabei eine implizite Historie, die den gesamten Vorgang der technischen Produktionsplanung dokumentiert.

Die prototypische Implementierung des MPM – Modules wurde in der Evaluation mit den zwei bestehenden Lösungen *DELMIA Process Engineer* und *Tecnomatix* verglichen, um einen Anhaltspunkt für die Gültigkeit des Konzeptes zu erhalten. Es wurden drei unterschiedliche Szenarien evaluiert. Als Ergebnis kristallisierte sich heraus, dass die zwei kommerziellen Lösungen eine umfangreichere Funktionsvielfalt bieten. In der Effektivität hingegen konnte das MPM – Modul, durch die Konzentration auf die Kernaspekte, überzeugen.

7.2 Ausblick

Es ist von einer steigenden Tendenz in der Verwendung von digitalen Werkzeugen innerhalb des Produktionsentstehungsprozesses auszugehen. Dieser Trend zeichnet sich deutlich in dem stetig steigenden Interesse an der digitalen Fabrik, seitens der Industrie aber auch von der akademischen Seite her ab. Unternehmen, wie die großen Automobilhersteller, setzen heutzutage bereits auf eine durchgängige digitale Planung. Diese Unternehmen sind Vorreiter, die kleineren Firmen hingegen müssen diesem Trend folgen. Zum Einen da sie ihrerseits Kosten sparen wollen aber auch weil sie teilweise als Zulieferer dazu gezwungen sind.

Das Konzept des MPM – Modules ist dabei ein Ansatz für kleine und mittelständische Unternehmen ihre Planung durchgängig zu gestalten und bietet dabei durch die Integration von Schnittstellen die Flexibilität um sich in bestehende Infrastrukturen einzupassen.

Das vorgestellte Konzept stellt bisher nur eine Basis an Grundfunktionalitäten zur Verfügung. Einen Ausbau der Funktionen erscheint daher als logische Konsequenz für eine Weiterentwicklung. Beispielsweise könnte ein Mechanismus für eine automatische Synchronisierung von Stückliste und Arbeitsplan entworfen werden oder eine 3D-Visualisierung des Ortstrukturplanes. Der Ausbau der Schnittstellen für die etablierten ERP – Systeme erscheint ebenfalls als eine sinnvolle Ergänzung. Im Wesentlichen sollte bei einer Erweiterung, jeglicher Art, der Fokus auf der Effektivität liegen. Keine unnützen oder umständlichen Funktionen, die Lösung sollte schlank bleiben und nicht mit Einstellungsmöglichkeiten überladen werden.

8 Literaturverzeichnis

- Allweyer, T. (2009). *BPMN 2.0 - Business Process Model and Notation*. Norderstedt: Books on Demand.
- Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung (AWF) e.V. (1968). *Handbuch der Arbeitsvorbereitung, Teil 1: Arbeitsplanung*. Berlin: Beuth Verlag.
- AWF - Arbeitsgemeinschaft. (2005). *Von der Arbeitsvorbereitung zum Produktivitätsmanagement*. Eschborn: AWF-Selbstverlag.
- Balzert, H. (2009). *Lehrbuch der Softwaretechnik*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Balzert, H. (2011). *Lehrbuch der Softwaretechnik*. Spektrum Akademischer Verlag.
- Bernardi, M. (2005). Gestaltung eines mechatronikorientierten Entwicklungsprozesses für mobile Arbeitsmaschinen und des dazugehörigen Entwicklungsumfeldes. *Schriftenreihe Produktionstechnik*, 32.
- Bley, H., & Zenner, C. (2005). Handling of Process and Resource Variants in the Digital Factory. *CIRP Journal of Manufacturing Systems*, 34(2), S. 187-194.
- Bley, H., & Zenner, C. (2006). Die zwei Seiten der Digitalen Fabrik. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 19-23.
- Bley, H., Fritz, J., & Zenner, C. (2006). Die zwei Seiten der Digitalen Fabrik. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZwF)*, S. 19-23.
- Bracht, U., Wenzel, S., & Geckler, D. (2011). *Digitale Fabrik: Methoden und Praxisbeispiele*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- CIRP. (2004). *Wörterbuch der Fertigungstechnik III - Produktionssysteme*. New York: Springer Verlag.
- Contact Software GmbH. (2014). *Administrationshandbuch*. Bremen.
- Contact Software GmbH. (kein Datum). *Contact Software*. Von <http://www.contact.de> abgerufen
- Delfoi. (10. Oktober 2014). *DELMIA Produkte*. Abgerufen am 10. Oktober 2014 von http://www.delfoi.com/web/web_de/products/Delmia/de_DE/Delmia/

- DIN199-1. (März 2002). DIN 199-1:2002-03 Technische Produktdokumentation - CAD-Modelle, Zeichnungen und Stücklisten. Deutsches Institut für Normung.
- DIN33400. (1983). DIN 33400: Gestaltung von Arbeitssystemen nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen. Begriffe und allgemeine Leitsätze. Berlin: Beuth Verlag.
- Dombrowski, U., Tiedemann, H., & Bothe, T. (2001). Auf dem Weg zur Digitalen Fabrik. *Carolo-Wilhelmina*, 44-49.
- Eigner, M., & Stelzer, R. (2009). *Product Lifecycle Management: Ein Leitfaden für Product Development und Lifecycle Management*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Eversheim, W. (1997). *Organisation in der Produktionstechnik –Arbeitsvorbereitung*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Fiedler, A., & Fiedler, R. (1991). *Mit CIM in die Fabrik der Zukunft? Probleme und Erfahrungen*. Westdeutscher Verlag.
- Gronau, P. D. (2002). *Arbeitsplanung, Fertigung, Montage*. Abgerufen am 21. August 2014 von wi.uni-potsdam.de: [http://wi.uni-potsdam.de/hp.nsf/0/6C4DD337E5B3F9F9C1256CD8004B3FE0/\\$FILE/Arbeitsplanung_Fertigung_Montage.pdf](http://wi.uni-potsdam.de/hp.nsf/0/6C4DD337E5B3F9F9C1256CD8004B3FE0/$FILE/Arbeitsplanung_Fertigung_Montage.pdf)
- <http://www.ensinger-online.com/>. (2009). Abgerufen am 14. August 2014 von Ensinger: <http://www.ensinger-online.com/de/spritzguss/kompetenzen/projektmanagement>
- ISO9126-1. (Januar 2001). ISO/IEC 9126-1:2001. *Software engineering -- Product quality -- Part 1: Quality model*.
- Jonas, C. (2000). *Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen*. München: Herbert Utz Verlag.
- Kiefer, J. (2003). Erarbeitung einer digitalen Planungsmethodik für den Bereich . Saarbrücken, Saarland, Deutschland.
- Klauke, S. (2002). *Methoden und Datenmodell der "Offenen Virtuellen Fabrik" zur Optimierung simultaner Produktionsplanungsprozesse*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Kleineidam, G. (1990). *Rechnergestützte Montagefeinplanung*. München: Hanser.

- Lindemann, U., Reichwald, R., & Zäh, M. (2006). *Individualisierte Produkte - Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion*. München: Springer Science & Business Media.
- Luczak, H., & Everseheim, W. (1998). *Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Marczinski, G. (2004). Digitale Fabrik - anspruchsvolle Technologien sinnvoll einsetzen. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 666-669.
- Mehnert, J. (23. Februar 2004). Gestaltung und Integration von Arbeitsplanungskompetenzen für hierarchielose Produktionsnetze. Chemnitz, Sachsen, Deutschland.
- Menges, R., & Schwarzwälder, R. (2005). Digitale Fabrik - der zentrale Bestandteil einer PLM-Strategie. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZwF)*, S. 10-19.
- Mohr, R. (2007). *Skript: Fertigungswirtschaft 2*. GRIN Verlag.
- Object Management Group. (13. Oktober 2014). <http://www.omg.org/>. Abgerufen am 13. Oktober 2014 von <http://www.omg.org/spec/UML/2.4.1/>
- Oestereich, B., & Bremer, S. (2012). *Analyse und Design mit der UML 2.5*. München: Oldenbourg.
- Pomberger, G., & Dobler, H. (2008). *Algorithmen und Datenstrukturen: Eine systematische Einführung in die Programmierung*. München: Addison-Wesley Verlag.
- ProSTEP, i. e. (2013). *Produktionsplanungsprozesse - Ein Referenzprozess verbindet Konstruktion und Produktion*. Darmstadt.
- REFA. (1978). *Methodenlehre des Arbeitsstudiums, Teil2: "Datenermittlung"*. München: Carl Hanser Verlag.
- Reinfelder, G., & Kotz, T. (2002). 40 Prozent weniger Planungszeit. *Automobilproduktion*, 34-36.
- Ridder, J. (1987). *Zur Wahl des Systems der Fertigungsplanung*. Münster: Lit.
- Robertson, S., & Robertson, J. (2011). *Mastering the Requirements Process*. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley.
- SAP SE. (2014). <http://www.sap.com>. Abgerufen am 21. August 2014 von SAP.com: http://help.sap.com/saphelp_45b/helpdata/de/03/bb1d0ca6e811d189010000e8323492/content.htm

- Schack, R. (2008). *Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik*. München: Herbert Utz Verlag GmbH.
- Schuh, G. (2005). *Produktkomplexität managen*. München: Hanser.
- Selke, C. (2005). *Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung*. München: Herbert Utz Verlag.
- Siemens. (10. Oktober 2014). *Siemens Tecnomatix*. Abgerufen am 10. Oktober 2014 von http://www.plm.automation.siemens.com/de_de/products/tecnomatix/manufacturing-planning/index.shtml
- Silber, H., Blohm, H., Beer, T., & Seidenberg, U. (2008). *Produktionswirtschaft*. Herne: Verl. Neue Wirtschafts-Briefe.
- Simon, M. (1994). *Rechnergestützte Planung von Anlagen für die variantenreiche Serienmontage*. Düsseldorf: VDI.
- Šmidrkalová, J. (2005). *Logistik - eine systematische terminologische Untersuchung Deutsch und Englisch*. diplom.de.
- Spur, G., & Krause, F. (1997). *Das virtuelle Produkt. Management der CAD-Technik*. München: Carl Hanser.
- Steinwasser, P. (1997). *Modulares Informationsmanagement in der integrierten Produkt- und Prozeßplanung*. Bamberg: Meisenbach.
- VDI2219. (1999). VDI-Richtlinie 2219: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung - Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen. Düsseldorf.
- VDI4499. (Februar 2008). VDI-Richtlinie: VDI 4499 Blatt 1 Digitale Fabrik - Grundlagen.
- V-Modell XT. (2014). Abgerufen am 24. März 2014 von <http://v-modell.iabg.de/v-modell-xt-html/14794f684e963e8.html>
- Volker, A., Dettmering, H., Engel, T., & Karcher, A. (2005). *Product Lifecycle Management beherrschen*. Berlin: Springer-Verlag.
- Wiendahl, H.-P. (2005). *Betriebsorganisation für Ingenieure*. Wien: Carl Hanser Verlag.
- Wöhe, G. (1996). *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. München: Vahlen Verlag.

- Zagel, M. (2006). *Übergreifendes Konzept zur Strukturierung variantenreicher Produkte und Vorgehensweise zur iterativen Produktstruktur-Optimierung*. Kaiserslautern: VPE Schriftenreihe.
- Zäh, M. F., Patron, C., & Fusch, T. (März 2003). Die Digitale Fabrik - Definition und Handlungsfelder. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, S. 75-77.
- Zenner, C. (09. August 2006). Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung. Saarbrücken, Saarland, Deutschland.